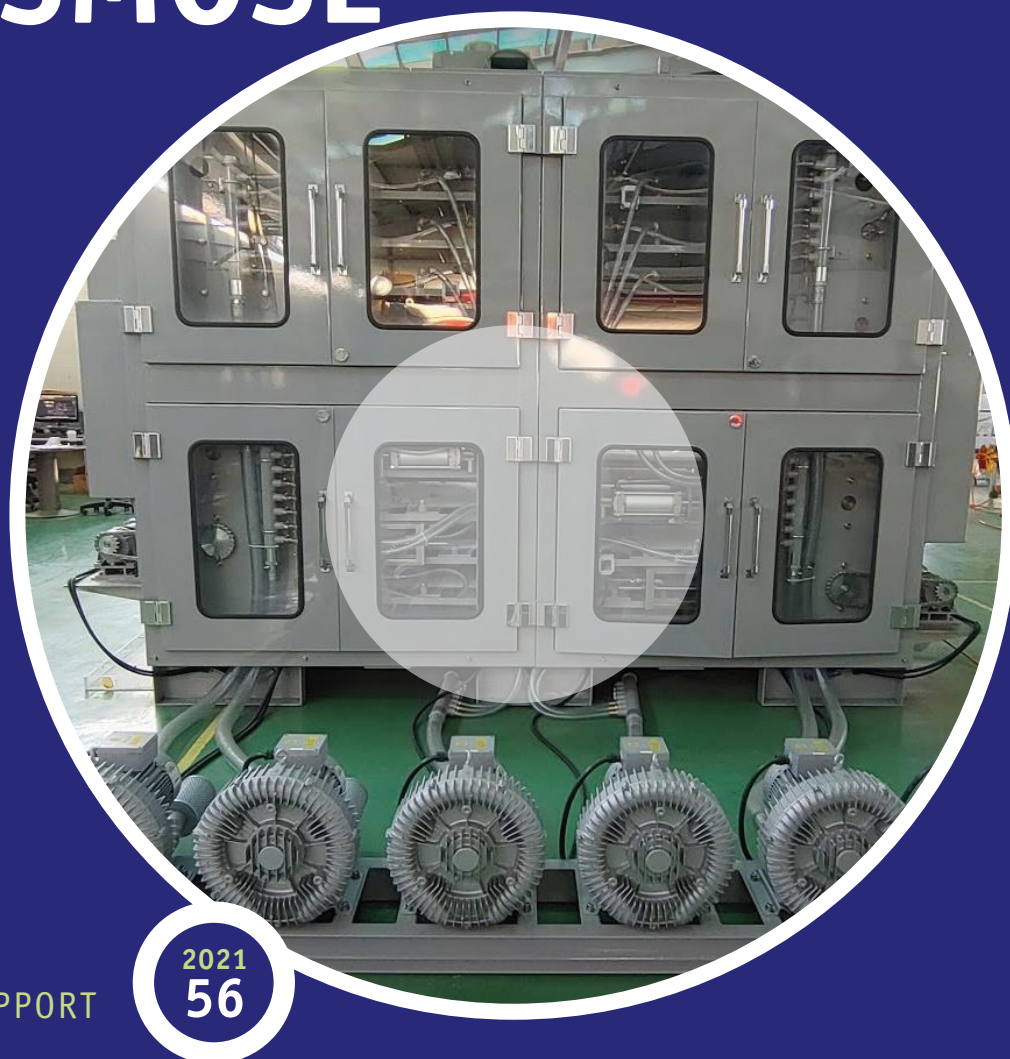


SLIBONTWATERING MET ELEKTRO OSMOSE



RAPPORT

2021
56

SLIBONTWATERING MET ELEKTRO OSMOSE
PRAKTIJKTESTEN

RAPPORT

2021

56

ISBN 978.90.5773.962.0



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Joost van den Bulk (TAUW)
Hielke van den Berg (TAUW)
Mirit Hoek (TAUW)
Alex Hamhuis (Nijhuis Industries)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Remmie Neef (Waterschap Zuiderzeeland)
Sabrina Koning (Waternet)
Alexander Hendriks (Waterschap Rijn en IJssel)
Maarten Schaafsma (Waterschap Rijn en IJssel)
Ad de Man (Waterschapsbedrijf Limburg)
Giel Geraeds (Waterschapsbedrijf Limburg)
Paul Timmerman (Waterschap Vallei en Veluwe)
Frank van de Grootevheen (Waterschap Vallei en Veluwe)
Cora Uijterlinde (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2021-56
ISBN 978.90.5773.962.0

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

ELEKTRO OSMOSE MOGELIJK DUURZAME OPLOSSING VOOR SLIBONTWATERING

In dit onderzoek zijn de resultaten beschreven van een pilot onderzoek naar de elektro osmose van ontwaterd slib op de RWZI Nieuwgraaf. Hieruit komt naar voren dat elektro osmose een technisch haalbare en duurzame route kan zijn voor de verwerking van slib en een droge stof gehalte bereikt van 40%. Om conclusies te kunnen trekken over de capaciteit, financiële haalbaarheid en duurzaamheid van elektro osmose moet met een grotere installatie een duurtest worden uitgevoerd.

In Nederland is er onvoldoende verwerkingscapaciteit om al het ontwaterd slib binnen de Nederlandse grenzen te verwerken. Een deel van het slib wordt in België en in Duitsland verwerkt. Door de Unie van Waterschappen is het zogenaamde “Robuust plan” ontwikkeld om te voorkomen dat bij een langdurige uitval van een slibeindverwerker het slib gestort zou moeten worden.

Het zuiveringsslib in Nederland wordt verwerkt via een aantal routes: voornamelijk mono-verbranden maar ook multi-verbranding, compostering plus biogranulaatverwerking en thermische droging en granulaatverwerking. Mono-verbranden is nagenoeg energie-neutraal wat betekent dat er na verbranding geen energie resteert. De calorische waarde van het slib is nodig om het aanwezige water in de slibkoek te verdampen.

Een techniek die zowel een oplossing kan leveren voor een capaciteitsprobleem als de duurzaamheid van de slibeindverwerking verbetert, is het verdergaand ontwateren van slib via elektro osmose. Deze techniek vereist enkel elektriciteit om aanzienlijk hogere drogestofgehaltes te bereiken waardoor het volume aan slib fors wordt gereduceerd. In deze studie is de innovatieve NEO techniek getest om slib verdergaand te ontwateren. NEO staat voor de Nijhuis Electro Osmosis Dehydrator welke geleverd wordt door de Koreaanse firma Fine inc. De NEO is op pilotschaal getest op twee soorten Nederlands zuiveringsslib; uitgegist slib van RWZI Nieuwgraaf en niet vergist surplusslib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo. De NEO is in staat gebleken om hoge drogestofgehaltes te bereiken (35-60%) met een gemiddelde van 43%. Hiermee is het doel om een drogestofgehalte van minimaal 40% te halen bereikt.

De installatie zoals die in de periode februari tot en met april 2020 getest is op RWZI Nieuwgraaf bleek niet in staat om de door de leverancier (Fine inc) opgegeven capaciteit en energiegebruik te behalen. Bovendien viel het afscheidingsrendement van de installatie te laag uit. Het gemiddelde energieverbruik tijdens de pilot was twee keer zo hoog als door de leverancier opgegeven. Ook de capaciteit van de machine bleef achter bij de opgegeven capaciteit. Deze mindere prestaties hangen volgens de leverancier samen met de aard van de pilot installatie die niet continu bedreven kan worden. Een duurtest met een full scale NEO is noodzakelijk om vast te stellen of de NEO daadwerkelijk in staat is om de opgegeven capaciteit te realiseren tegen het opgegeven energieverbruik.

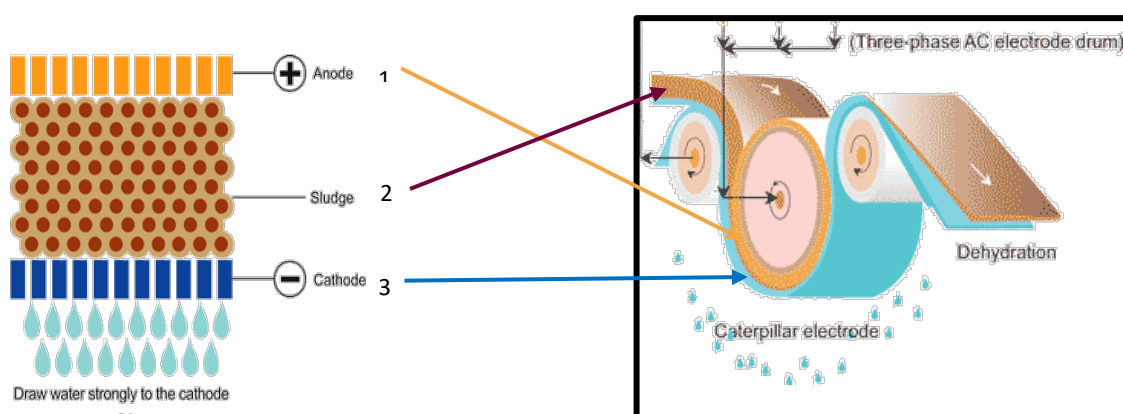
Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

In deze studie is de innovatieve NEO techniek van Nijhuis Industries B.V. om slib te ontwateren getest. NEO staat voor de Nijhuis Electro Osmosis Dehydrator welke geleverd wordt door de Koreaanse firma Fine inc. Volgens Fine inc kan met deze techniek zuiveringsslib ontwaterd worden tot circa 50 % drogestof. De ontwatering van zuiveringsslib gebeurt in Nederland vooral met technieken die gebruik maken van chemicaliën (polymeer). NEO zou met elektriciteit, zonder hulpstoffen (zoals PE), zuiveringsslib vergaand moeten kunnen ontwateren van 10-25 % drogestof naar 40-50 %. Daarmee zou deze techniek een waardevolle aanvulling zijn op de (thermische) routes van slib(eind)-verwerking.

In dit project is de NEO techniek op kleine schaal getest op twee soorten ontwaterd zuiveringsslib; uitgestist slib van RWZI Nieuwgraaf en niet vergist surplusslib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo (de meeste testen zijn gedaan met het uitgestist slib van RWZI Nieuwgraaf). Het gemiddelde drogestofgehalte van het toegevoerde ontwaterde slib bedroeg 26,1%. De testen zijn uitgevoerd met de NEO-500 wat een demo installatie betreft. Aanvankelijk was de doelstelling om op twee of drie RWZI's een pilot uit te voeren maar uiteindelijk is alleen op de RWZI Nieuwgraaf een pilot uitgevoerd.

De NEO installatie werkt als een zeefbandpers in combinatie met elektro osmose, waarin de caterpillar (metalen transportband waar de ontwateringsband op ligt) fungeert als kathode en de drum als anode. Slib wordt naar de NEO getransporteerd waar het via een verdeelsysteem op de band valt. De band wordt vervolgens tussen de drum en de caterpillar (metalen transportband) geleid waar elektro osmose plaatsvindt. Het water valt door de band in een bak onder het systeem van waar uit het gravitair afgevoerd wordt. Het uitgaande slib wordt van de band geschraapt nadat het verregaand ontwaterd is. De band wordt vervolgens met bedrijfswater gereinigd via een ingebouwd sproeisysteem waarna de band naar het verdeelsysteem draait. Het geheel bevindt zich in een afgesloten systeem met afzuiging om damp en eventuele geur, afhankelijk van het te behandelen slib, af te kunnen voeren.



Gemiddeld werd er per test 48 kg slibkoek verwerkt door de NEO. De gemiddelde capaciteit van de NEO bedroeg 99 kg slibkoek per uur wat neerkomt op circa 27 kg drogestof per uur. Tijdens de testen werd duidelijk dat hoge drogestofgehaltes, tot 59% drogestof, te behalen zijn met de NEO. Gemiddeld werd een drogestofgehaltes bereikt van 43% (35-59%). Dit voldoet

aan het doel van dit onderzoek om een drogestofgehalte van minimaal 40% te halen. Er is te sturen op drogestofgehalte via de bandsnelheid en het voltage.

Het systeem is volledig automatisch en normaliter door één persoon te bedienen. Doordat het slib tijdens de duurtest handmatig toegevoerd moest worden aan de transportschroef was er tijdens de testen meer bemensing.

Er werd tijdens de testen een significante geurvermindering opgemerkt van het slib na behandeling met de NEO. Dit werd ook beaamd door de operators en de bestuurders die het gebruikelijke slib kwamen afhalen.

Het spoelsysteem was voldoende om de band doorlaatbaar te houden. Echter het bleek dat er slibdeeltjes in het filtraat achterbleven die handmatig weggespoeld moesten worden. Daarnaast bleek dat er meer water verbruikt werd dan verwacht. Ook was het stroomverbruik van de NEO-500 hoger dan verwacht. Het hogere stroomverbruik is (deels) te wijten aan de opstartpiek die een relatief grote invloed heeft op de korte testen. Tot slot was ook de doorvoer van de NEO lager dan verwacht. In overleg met de leverancier is vastgesteld dat de schaalgrootte niet representatief gebleken is om het specifieke energieverbruik en de drogestofbalans vast te stellen. Een full-scale test met een volledig geautomatiseerde NEO-1000 welke een capaciteit heeft van 520 kg slibkoek per uur zou moeten plaatsvinden om een volledig beeld te geven van de mogelijkheden met de NEO.

Op basis van de resultaten van de duurtest zijn balansen opgesteld over de installatie. De waterbalans is sluitend maar de drogestof balans niet. Een deel van het slib mist. Deels is dit slib gemeten als TSS in filtraat en deels ontbreekt het. Ook de balansen van stikstof en fosfaat zijn niet sluitend als gevolg van het 'missende' slib.

Tijdens de pilot is een gemiddeld energieverbruik van 0,9 kWh elektrisch / liter water verwijderd gemeten, dit is een stuk hoger dan de (gemiddeld) 0,45 kWh uit de wetenschappelijke literatuur (H. Saveyn, 2006) (S. Gazbar, 1994) (J. Olivier, 2015) en de praktijkgegevens van full scale NEO's in Bijlage 2.

Voor een full scale NEO installatie is een verbruik van 0,45 kWh/liter water verdamping aangenomen. Bij dit energieverbruik zal, gerekend over de gehele slibketen de energiebalans positief uitvallen. Specifiek voor RWZI Nieuwgraaf is berekend dat het energieverbruik van de RWZI met 1,9 miljoen kWh/j toeneemt wat gelijk staat aan circa 20% van het totale verbruik van de RWZI Nieuwgraaf. Daar tegenover staat dat de NEO een aanzienlijk droger slib produceert waardoor het slibgranulaat netto als brandstof kan worden toegepast. Het slib van de RWZI Nieuwgraaf levert in een mono verbrander op jaarbasis 26.800 GJ aan thermische energie wat overeen komt met 7,4 miljoen kWh/j aan warmte. In vergelijking met de huidige situatie waarbij ontwaterd slib direct verbrand wordt blijft er dus veel meer energie over in de vorm van warmte die nuttig kan worden ingezet. De combinatie van NEO met een door de zelfde firma ontwikkelde ventilatiedroger (NVD) valt energetisch nog gunstiger uit. Deze droger wordt in de praktijk vaak gekoppeld aan de NEO. De NVD vereist enkel elektriciteit en droogt het NEO slib na door ventilatielucht te verwarmen met de warmte die vrijkomt in het NEO proces. De NEO route is daarmee duurzamer dan andere verwerkingsroutes voor slib zoals mono verbranding. Daarbij heeft NEO nog als extra voordeel dat er geen chemicaliën nodig zijn.

Voor de situatie zoals uitgewerkt voor de RWZI Nieuwgraaf bedragen de exploitatiekosten voor de NEO 4 ton per jaar, wat resulteert in een bedrag van (orde-grootte) 98 euro per ton slibkoek. In het geval van een NEO met een nageschakelde NVD lopen de exploitatiekosten op

tot 5,5 ton en bedragen de kosten per ton slibkoek 82 euro. In het geval van RWZI Nieuwgraaf zijn geen kosten opgenomen voor het verzwaren van de elektriciteitsaansluiting, uitbreiding bedrijfswaternet, een extra slibbuffer of een gebouw omdat deze voorzieningen al aanwezig zijn op RWZI Nieuwgraaf. Op andere RWZI's kunnen deze maatregelen wel nodig zijn waardoor de kosten van NEO daar hoger uitvallen.

Uit interviews met slibeindverwerkers komt naar voren dat zij weliswaar geïnteresseerd zijn in drogere slibben maar dat de huidige ovens niet ingericht zijn op het verwerken van slibben met drogestofgehaltes hoger dan 35% waardoor de afzet van deze slibben in hoge tarieven resulteert. Een verwerkingsroute die ook ingericht is op de verwerking van drogere slibben zou de financiële haalbaarheid van het NEO concept sterk verbeteren.

Om te beoordelen of NEO haalbaar is voor Nederlandse RWZI's bevelen we aan een full scale duurtest uit te voeren om een representatief beeld te schetsen van de prestaties van de NEO.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

SLIBONTWATERING MET ELEKTRO OSMOSE PRAKTIJKTESTEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	ACHTERGRONDINFORMATIE EN WERKINGSPRINCIPE	2
2.1	Wat is elektro osmose	2
2.2	Elektro osmose van slib	3
2.3	Beschrijving NEO installatie	4
3	ONDERZOEKSMETHODIEK	6
3.1	Testlocaties	6
3.2	Beschrijving testinstallatie	6
3.3	Doel en onderzoeksvragen	8
3.4	Monitoringsprotocol	8
4	RESULTATEN PRAKTIJKTESTEN	10
4.1	Inleiding	10
4.2	Testduur en behandelde slibben	10
4.3	Ervaringen met de installatie	11
4.4	Capaciteit van de installatie	13
4.5	Debieten filtraat en spoelwater	14
4.6	Drogestofgehalte	15
	4.6.1 Relatie drogestofgehalte en proces instellingen	15
	4.6.2 Drogestofbalans en afscheidingsrendement	18
4.7	Stikstof en fosfor	19
4.8	Energieverbruik	20
4.9	Emissies	22
4.10	Vergelijking slibben	22
4.11	Samenvatting resultaten	24

5	DUURZAAMHEID EN CIRCULARITEIT	26
5.1	Inleiding	26
5.2	Uitgangspunten	26
5.3	Uitwerking	27
6	KOSTEN EN DOORVERTALING NAAR DE PRAKTIJK	30
6.1	Inleiding	30
6.2	Uitgangspunten	30
6.3	Kosten	31
6.4	Beschouwing eindverwerking NEO slib	33
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	35
7.1	Conclusies	35
7.2	Aanbevelingen	36
8	LITERATUURLIJST	37
BIJLAGE 1	MONITORINGSPROTOCOL	38
BIJLAGE 2	ACHTERGROND ELEKTRO OSMOSE	40

1

INLEIDING

Er is in Nederland een capaciteitstekort bij slibeindverwerkers waardoor de verwerking van slib steeds duurder wordt en ook duurzaamheidsdoelstellingen in het geding komen omdat slib nu soms opgeslagen moet worden. In deze studie wordt de innovatieve NEO techniek van Nijhuis Industries B.V. om slib te ontwateren getest. NEO staat voor de Nijhuis Electro Osmosis Dehydrator (NEO) welke geleverd wordt door de Koreaanse firma Fine Inc. Volgens Fine Inc kan met deze techniek zuiveringsslib ontwaterd worden tot circa 50 % droge stof (DS). Er wordt in de studie gekeken of de NEO ook in praktijk een veelbelovende techniek is. De ontwatering van zuiveringsslib gebeurt in Nederland vooral met centrifuges en zeefbandpersen die gebruik maken van chemicaliën (polymeer). NEO zou met elektriciteit, zonder hulpstoffen zuiveringsslib vergaand moeten kunnen ontwateren van 10-20 % drogestof naar 40-50 % drogestof, daarmee zou deze techniek een waardevolle aanvulling zijn op de (thermische) routes van slib(eind)-verwerking.

In dit project hebben TAUW en Nijhuis Industries de NEO techniek op kleine praktijkschaal getest op twee soorten Nederlands zuiveringsslib, uitgegist slib van RWZI Nieuwgraaf en niet vergist surplusslib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo (de meeste testen zijn gedaan met het uitgegist slib van RWZI Nieuwgraaf). Aanvankelijk was de doelstelling om op twee of drie RWZI's de pilot te plaatsen maar uiteindelijk is alleen op de RWZI Nieuwgraaf een pilot uitgevoerd. In dit onderzoek is gekeken naar de capaciteit van de machine, het drogestofgehalte wat gehaald kan worden, het energiegebruik in vergelijking met alternatieven (zoals drogen met lage temperatuur droging), kosten en inzicht in het benodigde beheer en onderhoud. In dit rapport worden de resultaten van de pilot bij RWZI Nieuwgraaf met de NEO beschreven voor de periode februari - april 2020.

Hoofdstuk 2 bevat de achtergrond van het proces waarna in hoofdstuk 3 een beschrijving van de pilot installatie en het monitoringsprotocol opgenomen zijn. In hoofdstuk 4 volgen de resultaten van de pilot testen. Hoofdstuk 5 gaat in op de duurzaamheid en circulariteit bij de toepassing van NEO. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de pilot testen doorvertaald naar een full scale installatie. In hoofdstuk 7 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2

ACHTERGRONDINFORMATIE EN WERKINGSPRINCIPE

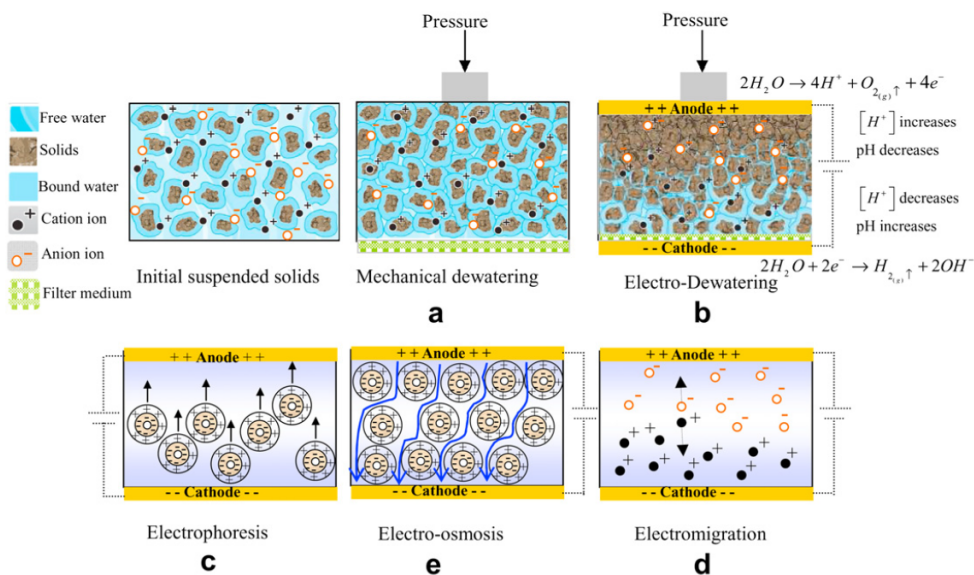
Dit hoofdstuk beschrijft het proces van elektro osmose en de werking van de NEO. Meer informatie over elektro osmose en de toepassing van dit proces voor het ontwateren van slib is opgenomen in Bijlage 2.

2.1 WAT IS ELEKTRO OSMOSE

De belangrijkste elektrische en elektrochemische processen die plaats vinden bij het Electro-Dewatering (EDW) proces worden in de literatuur omschreven als “elektroforese”, “elektromigratie” en “elektro-osmose”. Deze stappen zijn weergegeven in Figuur 2.1 en beknopt toegelicht.

FIGUUR 2.1

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN MECHANISCH ONTWATEREN (A), EN EDW (B) MET DE VERSCHILLENDE MECHANISMEN DIE BIJ EDW PLAATS VINDEN WANNEER NEGATIEF GELADEN DEELTJES IN EEN ELEKTRISCH VELD AANWEZIG ZIJN (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRICAL FIELD: A HISTORICAL REVIEW OF ITS APPLICATION AND CONTRIBUTIONS IN WASTEWATER SLUDGE DEWATERING, 2010)



ELEKTROFORESE

De elektroforese stap betreft het bewegen van de vaste deeltjes naar een elektrode. De vaste deeltjes verzamelen zich bij de ene elektrode, terwijl het water naar de andere elektrode getrokken wordt. Hierdoor kan een deel van het water onttrokken worden aan het slib (A. Mahmoud, 2010).

ELEKTROMIGRATIE

Bij elektromigratie bewegen de ionen die aanwezig zijn in de oplossing richting de anode of kathode, afhankelijk van de lading van het ion. Deze stap is alleen mogelijk als er een onbalans over de oplossing aanwezig is. Deze onbalans kan gecreëerd worden door het aanbrengen van een spanning over de “vloeistof” zoals plaats vindt in het EDW proces. Indien de spanning over de vloeistof is aangebracht gaan de negatief geladen ionen richting de anode bewegen en positief geladen ionen richting de kathode (A. Mahmoud, 2010).

ELEKTRO-OSMOSE

Als er een elektrisch veld is aangebracht over de vloeistof kan elektro-osmose plaats vinden. Hierdoor zullen spanningsverschillen in de vloeistof optreden. Om de elektroneutraliteit van de vloeistof te behouden zal het aanwezige (bulk)water zich richting de kathode verplaatsen (A. Mahmoud, 2010).

ELEKTROCHEMISCHE PROCESSEN

Door het aanbrengen van een spanning over de vloeistof zullen elektrochemische reacties plaats vinden. Voor een uitvoerigere omschrijving zie Bijlage 2.

2.2 ELEKTRO OSMOSE VAN SLIB

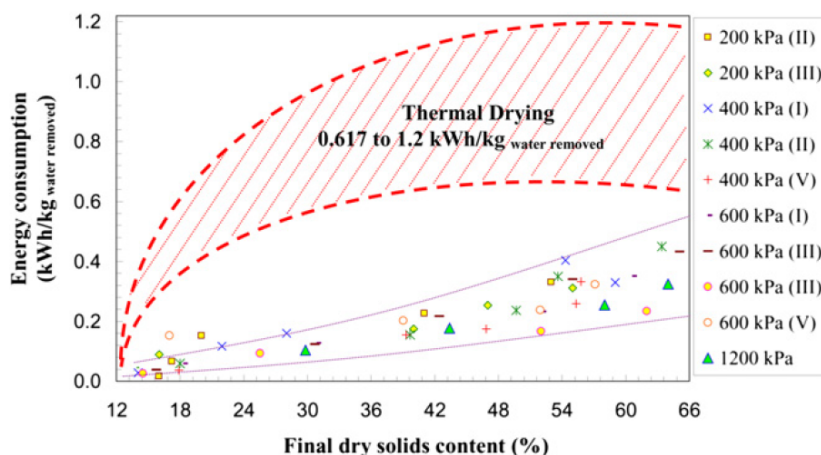
Ontwatering van slib met elektro osmose is in nagenoeg alle gevallen gekoppeld met een voorbehandeling bestaande uit mechanische ontwatering. Het gaat dan om ontwatering middels een centrifuge, schroefpers, bandfilterpers of een kamerfilterpers. De schakeling van mechanisch ontwateren met elektro osmose is getest op zowel lab-, pilot-, als full-scale. Belangrijke parameters van het elektro osmose ontwateringsproces zijn energie-input, toepassing van gelijk- of wisselstroom, type slib en electrode-materiaal.

Uit Bijlage 2 volgt dat om van elektro osmose een economisch rendabele techniek te maken voor het ontwateren van slib het toepassen van een mechanische voorontwatering een vereiste is. De mechanische voorontwatering is erop gericht om het meeste vrije water te verwijderen tegen een zo laag mogelijk energieverbruik. Na de mechanische ontwatering volgt de compressie fase waarbij het elektrisch veld van het elektro osmose proces wordt ingeschakeld. Uit Bijlage 2 volgt verder dat het toegepaste voltage een grote invloed heeft op de ontwateringskinetiek en de hoeveelheid verwijderd water. Hoe hoger het toegepaste voltage hoe hoger het drogestofgehalte van het eindproduct.

Figuur 2.2 laat zien dat de maximale te behalen drogestofgehalte waarbij het elektro osmose proces in het voordeel is ten opzichte van thermisch drogen circa 60-70% bedraagt. Bij hogere drogestofgehalten nadert de energieconsumptie van elektro osmose die van thermisch drogen waardoor eventuele investeringskosten niet terug verdiend kunnen worden.

FIGUUR 2.2

ENERGIEVERBRUIK TIJDENS EDW ALS FUNCTIE VAN DROGE STOF CONCENTRATIE ONDER VERSCHILLENDE PROCESCONDITIES (DRUK 200 – 1.200 KPA EN SPANNING 10 – 50 V) VERGELEKEN MET HET ENERGIEVERBRUIK VAN THERMISCHE DROGING. (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRO-DEWATERING OF WASTEWATER SLUDGE: INFLUENCE OF THE OPERATING CONDITIONS AND THEIR INTERACTIONS EFFECTS, 2011)

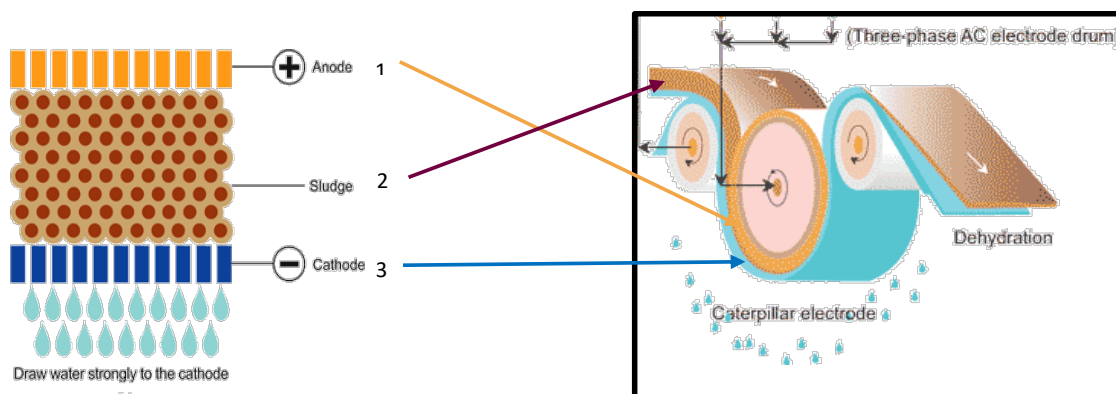


2.3 BESCHRIJVING NEO INSTALLATIE

De NEO installatie werkt als een zeefbandpers in combinatie met elektro osmose, waarin de caterpillar (metalen transportband) fungeert als kathode en de drum als anode, zie Figuur 2.3. Slib wordt naar de NEO getransporteerd waar het via een verdeelsysteem op de band valt. De band wordt vervolgens tussen de drum en de caterpillar geleid waar elektro osmose plaatsvindt. Het water valt door de band in een bak onder het systeem waar het gravitair weg kan spoelen. Het uitgaande slib wordt van de band geschraapt nadat het verregaand ontwaterd is. De band gaat vervolgens naar een ingebouwd sproeisysteem waar deze continue gespoeld wordt en weer naar het verdeelsysteem draait. De band wordt gespoeld met bedrijfswater. Continue spoelen van de band is noodzakelijk voor een efficiënte energie overdracht naar het slib en om resterend slib uit de band te verwijderen. De NEO bevindt zich in een afgesloten systeem met afzuiging om damp en eventuele geur, afhankelijk van het te behandelen slib, af te kunnen voeren.

FIGUUR 2.3

WERKINGSPRINCIPE NEO



De installatie is een geautomatiseerd systeem en verbruikt geen chemicaliën. Hierdoor is er weinig beheer nodig. Alle elektrische componenten zijn afgeschermd en geïsoleerd waar nodig. De spanning wordt continu gemeten en het systeem bevat onderdelen om hoogspanning of mogelijke vonkvorming te detecteren. Het systeem voldoet aan de ATEX richtlijn.

Na behandeling van slib met de NEO is het mogelijk om het slib verder te drogen doormiddel van de "NVD". De "NVD" ,Natural Ventilation Dryer, is een ventilatiedroger die met behulp

van luchtaanzuiging en overgebleven warmte in het slib, het slib verder droogt. Door dit laatste is er geen extra opwarming nodig.

De NVD is weergegeven in Figuur 2.4. Het systeem bestaat uit een meerlaagse lopende band die het slib van boven naar onder transporteert terwijl er lucht van onder naar boven door het systeem geblazen wordt. De lucht kan opgewarmd worden voor extra droging, maar over het algemeen voldoet de restwarmte van de NEO. Met behulp van de NVD kan een drogestofgehalte van 60-90% bereikt worden.

FIGUUR 2.4

NVD INSTALLATIE MET LUCHTAANZUIGING



De leverancier van de NEO en NVD installatie heeft in de periode 2003 tot 2017 een 14 tal praktijkinstallaties gerealiseerd. Deze installaties staan hoofdzakelijk in Azië bij de behandeling van slibstromen afkomstig van diverse sectoren waaronder rioolwaterzuiveringen, petrochemische-industrie en de papierindustrie. Alle 14 referenties van full-scale installaties en indien bekend het elektriciteitsverbruik zijn opgenomen in Bijlage 2.

Van de drie NEO installaties waarvan het elektriciteitsverbruik in kWh per liter verwijderd water beschikbaar is bedroeg het gemiddelde drogestofgehalte van de uitgaande slibkoek 30-35 %. De absolute toename in het drogestofpercentage tussen toepassing van elektro osmose in vergelijking met alleen mechanisch ontwateren bedraagt circa 20-28 %. De gegevens laten tevens zien dat het elektriciteitsverbruik voor aerob organisch slib hoger lijkt in vergelijking met slib van chemische oorsprong met een hoog organische stof gehalte. De oorsprong en daarmee de waterbindingseigenschappen van het te behandelen slib lijkt daarmee van invloed te zijn op het elektriciteitsverbruik.

Wanneer de referenties vergeleken worden met het in de literatuur vermelde elektriciteitsverbruik van elektro osmose is het verbruik van de praktijkinstallaties aan de hoge kant. Echter zijn in de praktijkinstallaties de elektriciteit verbruiken van het elektro osmose proces per liter verwijderd water lager dan de verdampingsenthalpie van water. Dit geeft weer dat het toepassen van elektro osmose energetisch gezien voordelig is ten opzichte van thermisch drogen met fossiele brandstof.

3

ONDERZOEKSMETHODIEK

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksmethodiek beschreven. Dit hoofdstuk gaat in op de testlocaties, de testinstallatie, onderzoeksvragen en het monitoringsprotocol.

3.1 TESTLOCATIES

In overleg met de deelnemende waterschappen zijn testlocaties geselecteerd voor de NEO. Een voorwaarde voor de testlocaties was de aanwezigheid van ontwaterd slib, voldoende ruimte voor het opstellen van de installatie en een stroomaansluiting van minimaal 100 Ampère. De volgende drie locaties zijn voorafgaand aan de testen geselecteerd als testlocatie voor de NEO pilot:

- RWZI Nieuwgraaf (Waterschap Rijn en IJssel)
- RWZI Almere (Waterschap Zuiderzeeland) → afgefallen als testlocatie
- RWZI Hoensbroek (Waterschapsbedrijf Limburg) → afgefallen als testlocatie

Aanvankelijk was het idee om de NEO op elk van de drie testlocaties ongeveer een maand te laten draaien. Vanwege tegenvallende testresultaten op de RWZI Nieuwgraaf en vanwege Corona beperkingen heeft de NEO uiteindelijk 12 weken gedraaid op de RWZI Nieuwgraaf en niet op de RWZI's Almere en Hoensbroek. Hier wordt in paragraaf 4.2 verder op ingegaan. In deze 12 weken zijn verschillende procesinstellingen van de NEO pilotinstallatie getest evenals verschillende types slib. Deze verschillende testen hadden tot doel om inzicht te krijgen in onder andere het ontwateringsresultaat, het energieverbruik, de (slib)doorzet per uur en de betrouwbaarheid van de machine.

3.2 BESCHRIJVING TESTINSTALLATIE

De NEO-500 pilotinstallatie is op een “flat rack” geplaatst. Zodoende kan de installatie relatief eenvoudig en snel getransporteerd worden. Het ‘flat rack’ kan zowel buiten in een (verwarmde) tent als binnen worden opgesteld. De duur van de test is 12 weken. Voor het uitvoeren van een goede test is een constante aanvoer van slib naar de NEO pilotinstallatie van belang. De opstelling is voorzien van een transportschroef om van grondniveau het slib naar de inlaatopening (boven op de NEO pilotinstallatie) te transporteren.

De NEO pilotinstallatie meet het elektriciteitsverbruik van alle aangesloten procesonderdelen. Dit omvat dus naast de NEO installatie ook de transportschroef, koeling van de band en anode en blower. In de huidige installaties dienen deze waarden manueel afgelezen en gerapporteerd te worden. De verschillende onderdelen van de pilot installatie zijn weergegeven in Figuur 3.1 en Figuur 3.2.

FIGUUR 3.1

ONDERDELEN TESTINSTALLATIE; SCHACHT EN TOEVOERSCHROEF (BOVEN); BINNENKANT NEO (ONDER)



FIGUUR 3.2

OPSTELLING NEO PILOT IN TENT OP RWZI NIEUWGRAAF



3.3 DOEL EN ONDERZOEKSVRAGEN

Het doel van het pilotonderzoek is de verdere ontwatering van ontwaterd slib tot minimaal 40% droge stof. Hierbij is de verwachting dat de pilot installatie tussen de 130-250 kg per uur ontwaterd slib kan verwerken en dat daar tussen de 40-60% drogestof uit komt. Met de leverancier van de pilot installatie is besproken dat aangenomen mocht worden dat de water hoeveelheid in het slib gehalveerd kon worden. Het beoogde afscheidingsrendement van de installatie is 95%.

De volgende onderzoeksvragen zijn opgesteld:

1. Welk ontwateringsresultaat kan worden gerealiseerd op de geteste slibben?
 - a. Is ontwatering tot 40-60 % DS haalbaar bij een energieverbruik van 0,3-0,4 kWh/l water verwijderd?
 - b. Welk ontwateringsresultaat wordt gehaald bij een energieverbruik van 1 kWh/l water verwijderd?
 - c. Wat is de concentratie van zwevend stof in het filtraat?
 - d. In welke mate hebben schommelingen in het drogestofgehalte van het ingaande slib effect op het drogestofgehalte van het uitgaande slib?
2. Wat is de capaciteit van de NEO (pilot)installatie?
 - a. Doorzet ontwaterd slib (kg/uur) en effect op ontwateringsresultaat
 - b. Maximale dikte van sliblaag op de band en effect op ontwateringsresultaat
 - c. Effect van bandsnelheid (m/min) op ontwateringsresultaat
3. Operationele kosten
 - a. Wat is het energieverbruik van de NEO (pilot)installatie (kWh/l water verwijderd)?
 - b. Wat is het waterverbruik van het reinigingssysteem van de NEO (pilot)installatie (l/uur)?
 - c. Wat zijn de onderhoudskosten (euro per jaar)?

3.4 MONITORINGSPROTOCOL

De onderzoeksvragen zijn vertaald naar te monitoren parameters. Deze parameters zijn in overleg met betrokken partijen vertaald naar een monitoringsprotocol. Het monitoringsprotocol en daarmee ook de instellingen zijn gedurende de testperiode steeds verder geoptimaliseerd en zijn opgenomen in Bijlage 1.

De volgende parameters liggen aan de basis van het opgestelde monitoringsprotocol:

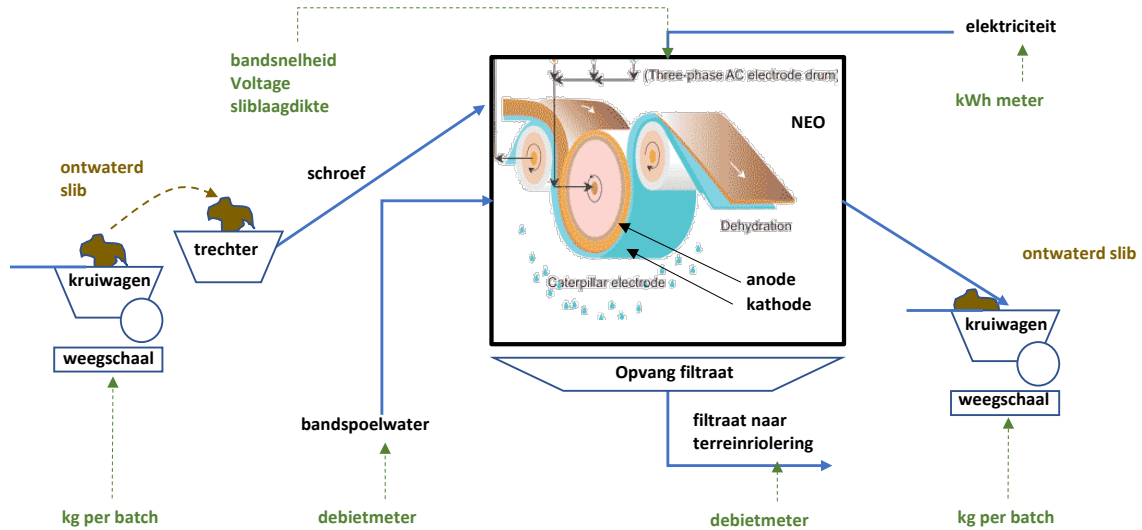
- In- en uitgaande slibvrachten
- In- en uitgaand drogestofgehalte (steekmonsters van het in- en uitgaande slib voor de bepaling van het drogestofgehalte, de asrest en de conductiviteit van het slib voor eerste ontwatering)
- In- en uitgaande waterdebieten (reinigingswater mogelijk aangevuld met filtraat)
- Concentratie onopgeloste bestanddelen in het filtraat
- Bandsnelheid en sliblaagdikte
- Energieverbruik NEO pilotinstallatie en benodigde randapparatuur (kWh/l water verwijderd)
- Effect van slibtype op ontwateringsresultaat en energieverbruik
- Stabiliteit van het proces (toevoer slib, storingen, droge stof gehalte ontwaterd slib, doorzet)
- Bedrijfsuren NEO pilotinstallatie per testdag (handmatig bijhouden in logboek)

- Benodigde reiniging van het apparaat
- Effect van piekaanvoeren
- Instellingen, datum, tijd, bijzonderheden

In Figuur 3.3 is een schematische weergave opgenomen van de pilot installatie met de gemonitorde parameters. Ontwaterd slib wordt per batch met kruiwagens aangevoerd. De kruiwagens worden gewogen waarna het slib handmatig in de trechter van de toevoerschroef wordt geschept. Het ontwaterde slib doorloopt de NEO en komt er als verdergaand ontwaterd slib uit. Het verdergaand ontwaterd slib wordt eveneens in kruiwagens gewogen. Het bandspoelwater en het filtraat worden gemeten met debietmeters die handmatig afgelezen worden. Per batch worden de bandsnelheid, het Voltage en de sliblaagdikte genoteerd. Ook het elektriciteitsverbruik van de NEO wordt handmatig genoteerd.

FIGUUR 3.3

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN PILOT INSTALLATIE MET GEMONITORDE PARAMETERS



4

RESULTATEN PRAKTIJKTESTEN

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk bespreekt de resultaten van de testen op de RWZI Nieuwgraaf over de periode februari tot en met april 2020. Paragraaf 4.2 gaat in op de testduur en behandelde slibben. Paragraaf 4.3 bespreekt de opgedane ervaringen tijdens de pilottesten waarna in paragraaf 4.5 de debietgegevens van het filtraat en spoelwater opgenomen zijn. Paragraaf 4.6 gaat in op de drogestofgehaltes van de afzonderlijke stromen waarna in paragraaf 4.7 concentraties stikstof en fosfaat volgen. In paragraaf 4.8 wordt ingegaan op het energieverbruik en in 4.9 op de emissies. In 4.10 wordt tot slot een vergelijking gemaakt tussen de resultaten van de verschillende slibben waarna in paragraaf 4.11 een samenvatting van de resultaten volgt.

4.2 TESTDUUR EN BEHANDELDE SLIBBEN

De aanvankelijke doelstelling van dit onderzoek was om op twee of drie RWZI's een kleinschalige test uit te voeren van vier weken. Hiervoor waren de RWZI's Nieuwgraaf, Almere en Maastricht-Limmel in beeld. De geleidbaarheid van het slib is volgens de leverancier een indicator voor de effectiviteit van de NEO. Als richtlijn voor een goede geleidbaarheid geldt een bandbreedte van 3.000 – 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Om deze reden is de geleidbaarheid van het slib van Nieuwgraaf, Almere en Maastricht-Limmel gemeten. Voor Almere leverde dit een geleidbaarheid op van 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, wat aan de lage kant is voor de NEO. Het slib van Maastricht-Limmel had een vergelijkbare geleidbaarheid. Het slib van RWZI Nieuwgraaf had een geleidbaarheid die binnen de voor de NEO gestelde bandbreedte van 3.000 – 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ viel. Uiteindelijk is de NEO als eerste geplaatst op RWZI Nieuwgraaf omdat de NEO op deze locatie het eenvoudigste geplaatst kon worden (aanwezigheid stroomaansluiting, beschikbaar oppervlak, vergunningen).

Al snel na de opstart van de installatie op RWZI Nieuwgraaf werd duidelijk dat een testduur van vier weken niet voldoende was. De installatie functioneerde niet goed waardoor instellingen moesten worden veranderd en er overgeschakeld is op een andere band. De gebruikte filterbanden zijn van een gewoven PP en PE materiaal. De toegepaste rode band wordt gebruikt voor slib welke meer viskeus is (zoals municipaal slib) en de witte band wordt gebruikt voor slib met veel fijne deeltjes. De rode band functioneerde het best. Uiteindelijk is de testduur verlengd naar 12 weken (week 7 tot en met week 18, waarvan in de eerste en laatste week geen metingen zijn gedaan) en is alleen op RWZI Nieuwgraaf getest. Naast de technische complexiteit stonden ook de Corona beperkingen die in bedrijf name van de NEO op een andere RWZI in de weg. De instellingen die per dag bepaald zijn, zijn spanning (volt), bandsnelheid (m/min) en dikte van de sliblaag (mm). De NEO-500 vereist een stroomaansluiting van minimaal 100 Ampère.

Er zijn twee types slib getest: uitgegist slib van RWZI Nieuwgraaf en niet vergist surplusslib van RWZI's Ruurlo en Winterswijk (3 van de 61 tests zijn gedaan met slib van de RWZI's Ruurlo en Winterswijk, alle overige tests zijn gedaan met het uitgegist slib van RWZI Nieuwgraaf). Op RWZI Nieuwgraaf wordt P in de sliblijn chemisch verwijderd middels ijzer dosering. Op RWZI's Winterswijk en Ruurlo wordt P veelal biologisch verwijderd.

4.3 ERVARINGEN MET DE INSTALLATIE

Gezamenlijk met de leverancier van het systeem (Fine Inc) werd het systeem opgestart en ingesteld. Gedurende de opstart leek het slib goed ontwaterbaar en werden resultaten bereikt van 45-59% drogestof.

De parameters die direct in te stellen zijn; voltage, bandsnelheid en sliblaagdikte, worden navolgend toegelicht. Het voltage en de bandsnelheid worden eenvoudig via de schakelkast aangepast. De sliblaagdikte wordt ingesteld door de hoogte in het verdeelsysteem aan te passen. Dit laatste gebeurt handmatig, maar is doorgaans een kleine aanpassing.

Omdat het niet mogelijk was om de aanvoer van ontwaterd slib naar de pilot te automatiseren is ontwaterd slib tijdens de pilot handmatig met kruiwagens toegevoerd naar de NEO. Het toe- en afgevoerde slib is regelmatig gewogen op een weegschaal om balansberekeningen uit te kunnen voeren over de pilot. De hoeveelheid slibkoek die per test verwerkt werd door de NEO-500 bedroeg gemiddeld 48 kg en liep uiteen van 15 tot 75 kg per test. De verschillen in doorvoer waren afhankelijk van welke test er uitgevoerd werd (toevoer met emmers of kruiwagens). In Figuur 4.1 is het met kruiwagens toegevoerde slib en het door de NEO verwerkte slib te zien. Afgezien van deze handmatige handelingen en de sliblaagdikte aanpassing functioneerde het systeem volledig automatisch. Monsters van invoer en uitvoer werden handmatig genomen en op locatie geanalyseerd op drogestof. Het filtraat werd opgestuurd naar een extern lab.

FIGUUR 4.1 INGAAND SLIB OP WEEGSCHAAL (LINKS)- EN UITVOER NEO (RECHTS)



De NEO is zelfreinigend, hogedruk reinigers spoelen de band continue bij het roteren van de band. Dit bleek voldoende om de band doorlaatbaar te houden.

Het systeem is goed te bedienen door één persoon, maar door het handmatig toevoeren van het slib bleek het lastig om tegelijkertijd goede observaties van het systeem te maken. Daarom is de pilot uiteindelijk bemand door twee personen.

Er zijn diverse beveiligingen ingebouwd. De deuren van het systeem zijn beveiligd met een slot welke inschakelt zodra er stroom op het systeem staat. Daarnaast is er een limiet ingesteld voor het voltage. Wanneer er een piekbelasting is, bijvoorbeeld door een hoge weerstand in het systeem, schakelt het systeem uit om kortsluiting te voorkomen.

Een enkele maal trad er een storing op door overbelasting van het systeem. Dit veroorzaakte teveel weerstand waardoor de beveiliging activeerde en de pilot afgeschakeld werd. Dit werd eenvoudig verholpen door de het systeem leeg te laten draaien, te reinigen en met een lagere belasting verder te gaan. Daarnaast zijn er een aantal momenten geweest waarop er geen slib aanwezig was door storing bij de slibontwatering op locatie.

De eerste 2 weken is veel slib in het filtraat terecht gekomen doordat het ontwaterde slib niet goed van de band geschraapt werd. Op 12 maart 2020 is voor het spoelwater overgeschakeld van bedrijfswater naar leidingwater in verband met verhoogde concentraties onopgeloste bestanddelen in het effluent van de RWZI. Het bedrijfswater bevatte veel deeltjes waardoor het filter voor de sproeikoppen verstopte en gereinigd moest worden. Op 2 april was het slib erg plakkerig en is daarom de decanter op een lager drogestofgehalte ingesteld. Het PE verbruik van de RWZI Nieuwgraaf bedraagt gemiddeld 25 gram PE per kilo drogestof, wat relatief hoog is. Mogelijk heeft dit gevolgen voor het functioneren van de NEO. In een vervolgonderzoek is het daarom van belang om ook slib te verwerken waar minder PE aan toegevoegd is.

Na de originele testperiode van 4 weken zijn de resultaten geëvalueerd. Uit deze evaluatie bleek de doorvoer aan de lage kant, het waterverbruik aan de hoge kant en het energieverbruik aan de hoge kant. Daarom is besloten langer door te gaan om optimalisaties door te voeren. Daarnaast kwam naar voren dat de slibbalans niet klopte en zijn aanpassingen doorgevoerd voor een betere sluiting van de slibbalans. De daaropvolgende periode is er gekeken naar aanpassingen om de slibbalans te kunnen sluiten en optimalisatie van doorvoer en energieverbruik te realiseren.

Om het slibverlies via het filtraat aan te pakken is gekeken naar een aantal aanpassingen. In eerste instantie werd het verlies gewijd aan het gebruik van de verkeerde band. Deze werd daarop vervangen door een band met een kleinere doorlaatgrootte. Echter bleef er bij deze band zichtbaar veel slib op de band hangen wat niet afgeschraapt werd en welke vervolgens (deels) in het filtraat gespoeld werd. Door deze overbelasting moest het filtraat compartiment onder in de pilot regelmatig handmatig gereinigd worden. De originele band werd weer geïnstalleerd om andere verbeteringen door te voeren ten opzichte van de slibverwijdering.

Een volgende aanpassing om het systeem te verbeteren was om de verdeling van het slib te optimaliseren. In het distributie systeem zit een verdeelschroef die het slib over de band verdeelt, waarna het op een bepaalde dikte geperst wordt. Een goede verdeling van het slib is belangrijk om een evenredig energieverbruik te leveren, wat op zijn beurt een lager energieverbruik oplevert.

Het aanpassen van de verdeelschroef leverde verbetering op, maar nog niet voldoende om de filtraatkwaliteit op peil te houden. Er zijn enkele testen uitgevoerd met handmatig verdelen van het slib welke eenzelfde resultaat gaven als het automatisch systeem.

Daarop is de snelheid van de band aangepast, net als de snelheid van de roller die de slibdikte bepaalt. Dit leverde verdere verbetering op, maar nog niet het gewenste resultaat qua energieverbruik en capaciteit.

Na de aanpassingen bleek de doorvoer lager en het energie- en spoelwaterverbruik hoger dan verwacht. Het hogere energieverbruik is (gedeeltelijk) te wijten aan de opstartpiek die een relatief grote invloed heeft op de korte testen. In overleg met de leverancier is vastgesteld dat de pilottesten niet volledig representatief zijn voor de doorvoer, energieverbruik en spoelwaterverbruik. Daarop is onderzocht of een full-scale test mogelijk zou zijn met een grotere capaciteit machine. Dit bleek vanwege de kosten en de benodigde stroomaansluiting op de RWZI echter niet haalbaar.

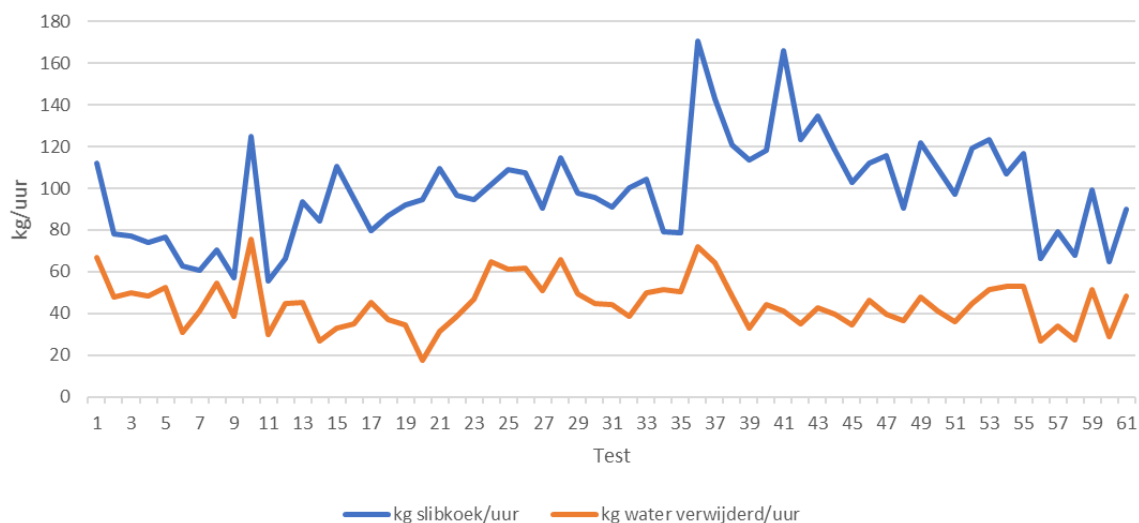
Er zijn 58 testen uitgevoerd met uitgegist slib van RWZI Nieuwgraaf en 3 testen met niet vergist surplusslib van RWZI's Ruurlo en Winterswijk. De NEO haalde hogere drogestofgehaltes op het slib van Nieuwgraaf maar omdat slechts 3 van de 61 tests zijn gedaan met slib van de RWZI's Ruurlo en Winterswijk is het moeilijk om hier conclusies over te trekken.

Vanaf maart 2020 was een duidelijke verandering te merken in het functioneren van de NEO op het slib van Nieuwgraaf. Het energieverbruik nam toe. Een mogelijke verklaring is de verandering in slibsamenvorming door de corona ontwikkelingen. De afvalwatersamenstelling kan veranderd zijn doordat de werksituaties veranderden.

4.4 CAPACITEIT VAN DE INSTALLATIE

De belasting van de NEO is opgenomen in Figuur 4.2. Gemiddeld werd er per test 48 kg slibkoek verwerkt door de NEO. De gemiddelde capaciteit van de NEO bedroeg 99 kg slibkoek per uur wat neerkomt op circa 27 kg drogestof per uur. De verwijderde hoeveelheid water bedroeg gemiddeld 45 kg per uur. Dit is aanzienlijk lager dan de verwachte capaciteit van 130-250 kg nat slib per uur.

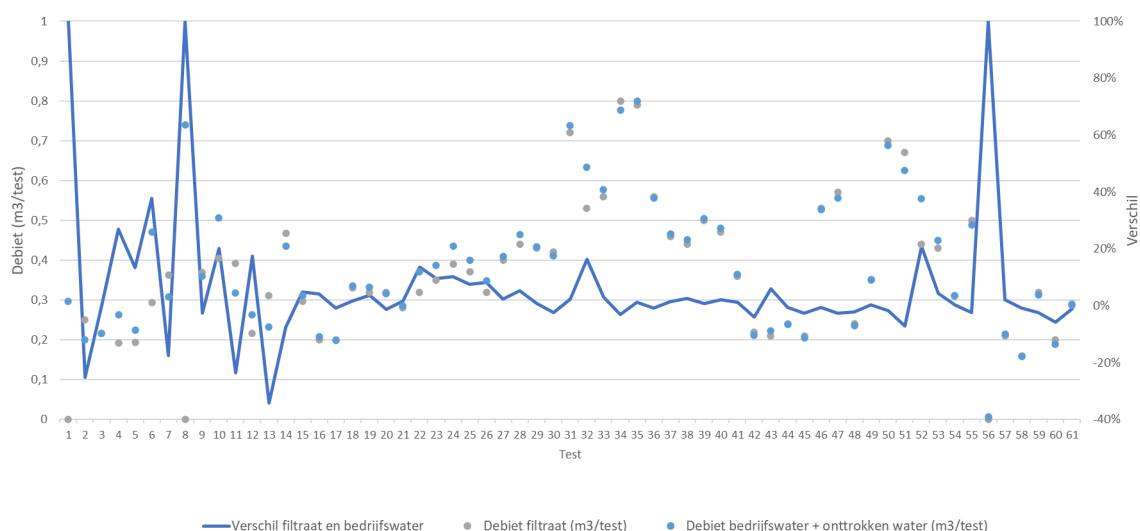
FIGUUR 4.2 CAPACITEIT VAN DE NEO PER TEST



4.5 DEBIETEN FILTRAAT EN SPOELWATER

In Figuur 4.3 is het debiet van het filtraat opgenomen (effluent NEO) en het gecombineerde debiet van toegevoerd bedrijfswater (spoelwater) en het aan het slib onttrokken water. De debieten van filtraat en bedrijfswater zijn gemeten met debietmeters, zoals weergegeven in Figuur 3.3. Het onttrokken water is het berekende verschil tussen de ingaande en uitgaande slibvracht per test op basis van het ingaande gewicht en het in- en uitgaande drogestofgehalte. Voor de berekening van het onttrokken water is niet uitgegaan van de drogestof balans van het slib omdat er tijdens de testperiode ontwaterd slib terug gevoerd is naar het filtraat. In Figuur 4.3 is te zien dat tijdens de opstartperiode nog een paar uitschieters te zien zijn, maar bij de latere metingen is het verschil tussen het debiet van het filtraat en het bedrijfswater nagenoeg 0.

FIGUUR 4.3 DEBIET BEDRIJFSWATER (SPOELWATER) + ONTTROKKEN WATER, DEBIET FILTRAAT EN VERSCHIL



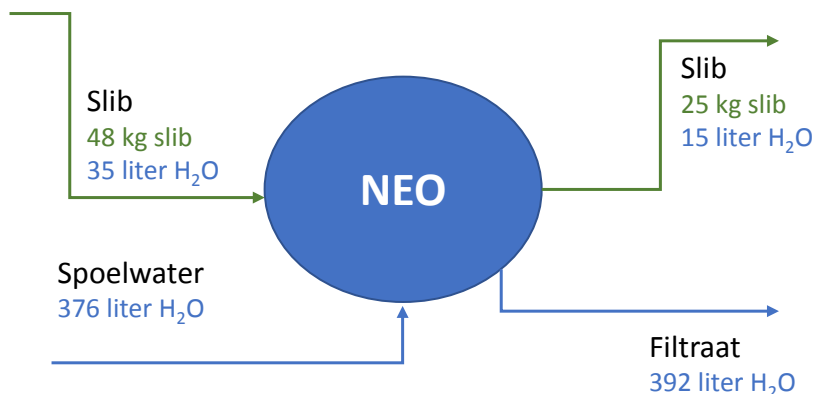
Tabel 4.1 bevat de gemiddelde waterbalans over alle testen. De waterbalans is op 2,5 liter per test nauwkeurig. Dit komt overeen met 0,65% wat verwaarloosbaar is.

TABEL 4.1 GEMIDDELTE WATERBALANS OVER ALLE TESTEN

Aspect	Bedrijfswater (spoelwater)+ onttrokken water l/test	Filtraat l/test	Verschil l/test	% Verschil
Debiet	394	392	2,6	0,65%

De waterbalans is gevisualiseerd in Figuur 4.4.

FIGUUR 4.4 WATERBALANS GEMIDDELD OVER ALLE TESTEN

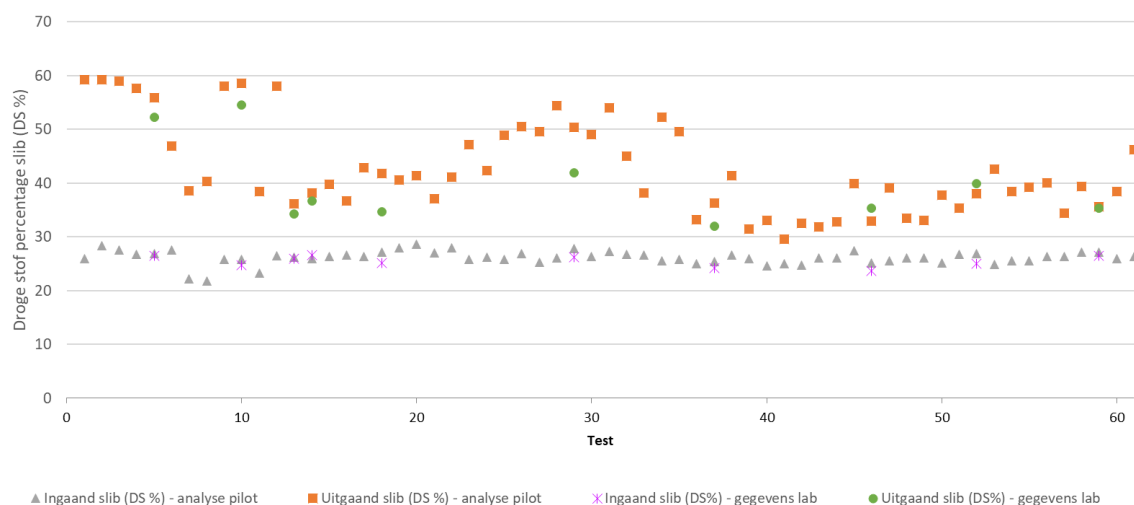


4.6 DROGESTOFGEHALTE

Het doel van het praktijkonderzoek is de verdere ontwatering van ontwaterd slib tot minimaal 40% drogestof. In deze paragraaf is het drogestofgehalte van de verschillende testen opgenomen en is de relatie tussen het drogestofgehalte en de ingestelde parameters onderzocht.

Naast metingen op locatie zijn er ook analyses uitgevoerd door een extern laboratorium. In totaal zijn 10 analyserondes uitgevoerd door een extern laboratorium. Figuur 4.5 laat de in- en uitgaande percentages drogestof zien voor pilot metingen en lab metingen. Dit figuur laat zien dat het drogestofgehalte van het ingaand slib stabiel is. Ook is te zien dat het uitgaande drogestofgehalte varieert tussen de 30% en 60% (gemiddeld 43%). De externe analyseresultaten op drogestof komen goed overeen met de on-site metingen, voor 85% van de uitgevoerde analyses bedraagt de afwijking 10% of minder t.o.v. on-site metingen.

FIGUUR 4.5 INGAANDE EN UITGAANDE PERCENTAGES DROGESTOF VAN ON-SITE EN LAB ANALYSES

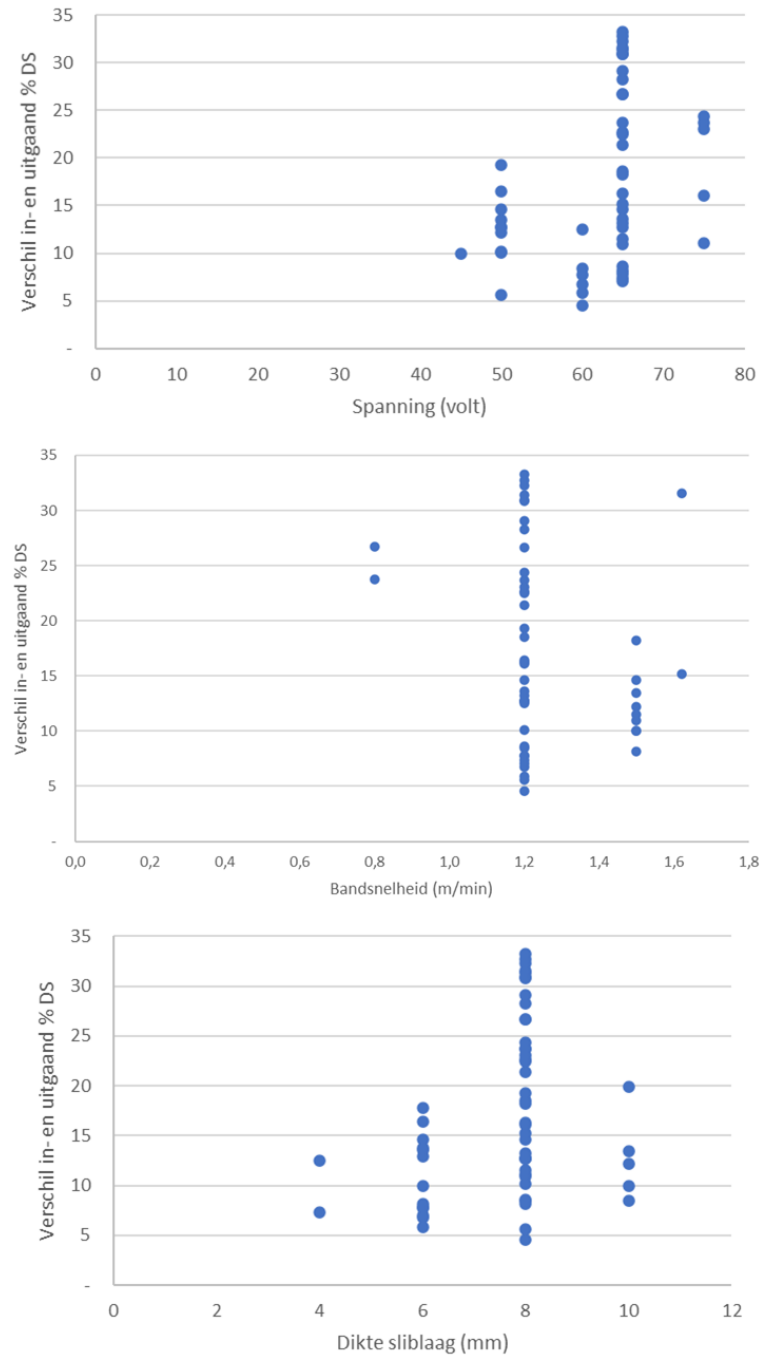


4.6.1 RELATIE DROGESTOFGEHALTE EN PROCES INSTELLINGEN

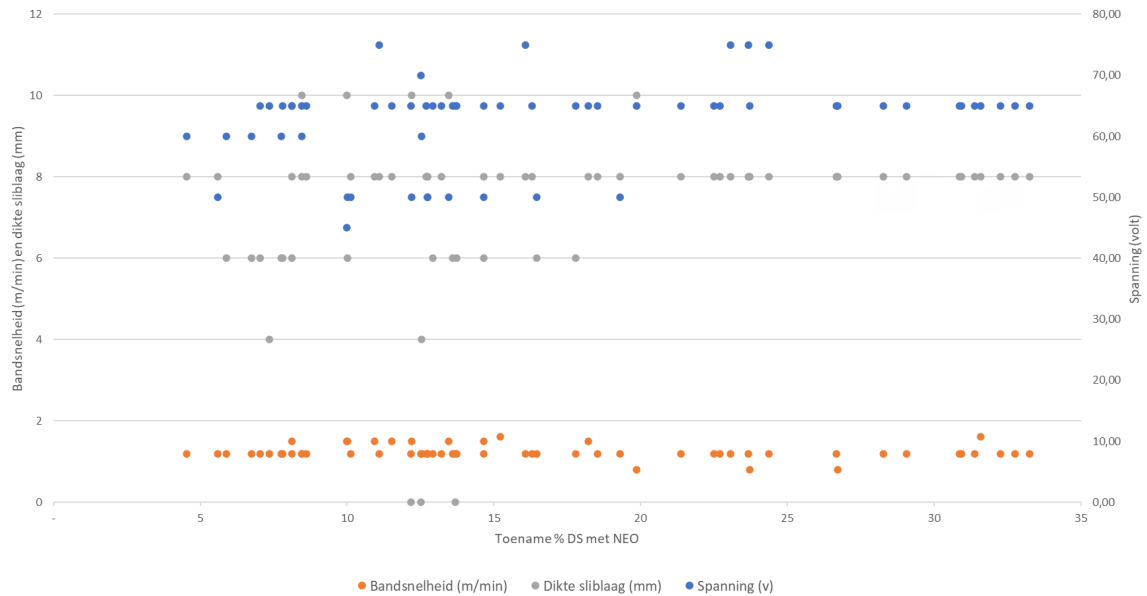
Figuur 4.6 laat het verband zien tussen de instellingen spanning, bandsnelheid en sliblaagdikte met het toegenomen drogestofgehalte door het NEO proces. Alle drie de instellingen lijken weinig relatie te hebben met het drogestofgehalte dat is gemeten. Een hoger voltage lijkt te leiden tot een beperkte toename in het drogestofgehalte en ook bij een dikkere sliblaagdikte lijken hogere drogestofgehaltenes gehaald te worden dan bij een dunnere sliblaagdikte.

FIGUUR 4.6

BOVEN: EFFECT SPANNING OP TOENAME IN DROGESTOF NA HET NEO PROCES (BIJ VASTE CONDITIES 1,2M/MIN EN 8MM). MIDDEN: EFFECT BANDSNELHEID OP TOENAME DROGESTOF NA HET NEO PROCES (BIJ VASTE CONDITIES 65V EN 8MM). ONDER: EFFECT DIKTE SLIBLAAG OP TOENAME IN DROGESTOF NA HET NEO PROCES (BIJ VASTE CONDITIES 65V EN 1,2M/MIN)



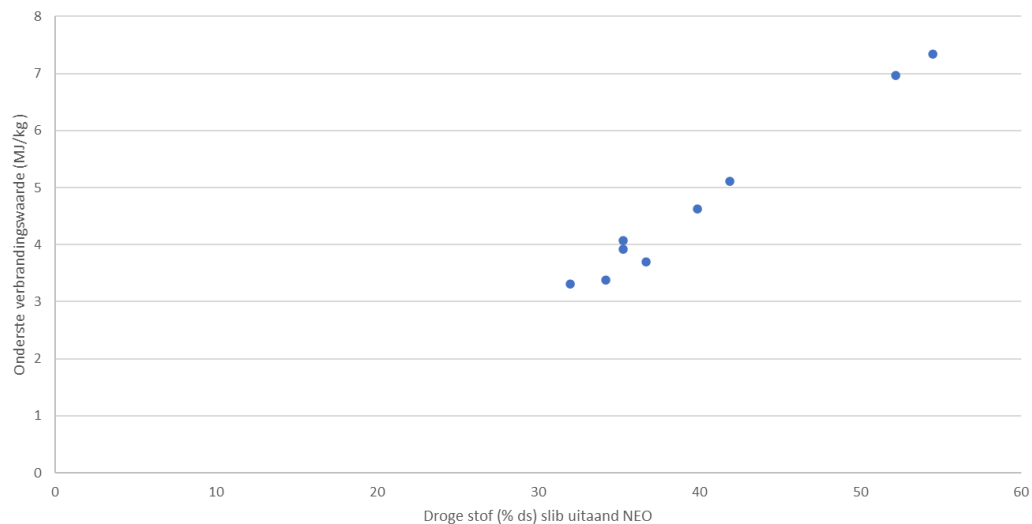
In Figuur 4.7 zijn de afzonderlijke figuren uit Figuur 4.6 samengevoegd tot één figuur. Te zien is dat bij hogere voltages en een grotere sliblaagdikte de hoogste drogestofgehaltes gehaald worden. De invloed van spanning komt overeen met de literatuur waarbij een toename in spanning leidt tot een toename in drogestof (A. Mahmoud, 2010).

FIGUUR 4.7 EFFECT INSTELLINGEN OP TOENAME IN DROGESTOF MET HET NEO PROCES

Figuur 4.8 geeft de relatie tussen het drogestofgehalte en de gemeten onderste verbrandingswaarde van het NEO slib (LHV). Hoe hoger het drogestofgehalte van uitgaand NEO slib, hoe hoger de onderste verbrandingswaarde. Dit is van belang voor de eindverwerking van het ontwaterde slib. Ontwaterd slib heeft over het algemeen een drogestofgehalte lager dan 30% wat in een verbrandingswaarde < 3 MJ/kg resulteert. Slib met een drogestofgehalte van 40% heeft een verbrandingswaarde van 4,5 MJ/kg terwijl slib van 50% drogestof een verbrandingswaarde van 6,2 MJ/kg geeft. Het organische stof gehalte van het slib bedroeg gemiddeld 69,4% en liep uiteen van 66,9% tot 71,3%.

FIGUUR 4.8 RELATIE DROGESTOF EN ONDERSTE VERBRANDINGSWAARDE SLIB (MJ/KG)

Verloop droge stof t.o.v. onderste verbrandingswaarde (MJ/kg)

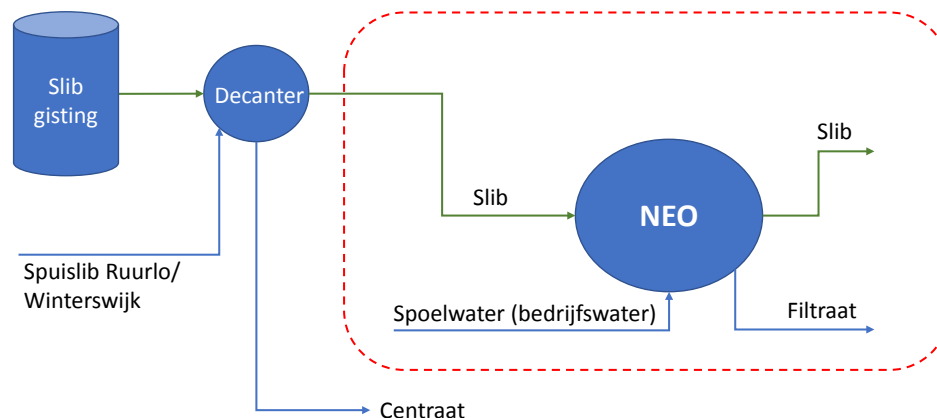


4.6.2 DROGESTOFBALANS EN AFSCHEIDINGSRENDEMENT

Om het afscheidingsrendement van de NEO te bepalen is een drogestofbalans opgesteld. De scope van de balans is opgenomen in Figuur 4.9. De balans geeft de verschillende stromen weer die de NEO in en uit gaan. De toevoer bestaat uit ontwaterd slib met een drogestofgehalte van circa 25% en er komt verdergaand ontwaterd slib uit (bijvoorbeeld 40% drogestof). Verder wordt er spoelwater (bedrijfswater) toegevoerd, dit is gefilterd effluent van RWZI Nieuwgraaf en wordt filtraat afgevoerd. Het filtraat is een mengsel van spoelwater en aan het slib onttrokken water.

FIGUUR 4.9

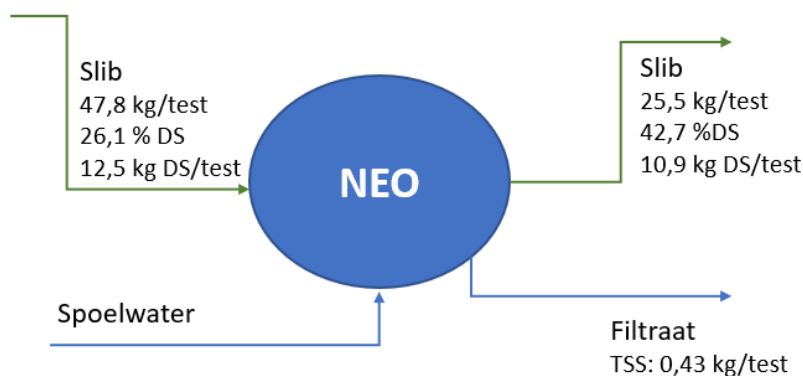
SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SCOPE MASSABALANS DROGESTOF (BINNEN RODE KADER)



Figuur 4.10 geeft nogmaals de drogestofbalans weer waarbij schematisch de in- en uitgaande drogestofvrachten inzichtelijk zijn gemaakt. Hiervoor zijn gemiddelde waarden over alle uitgevoerde testen gebruikt.

FIGUUR 4.10

SCHEMATISCHE DROGESTOFBALANS

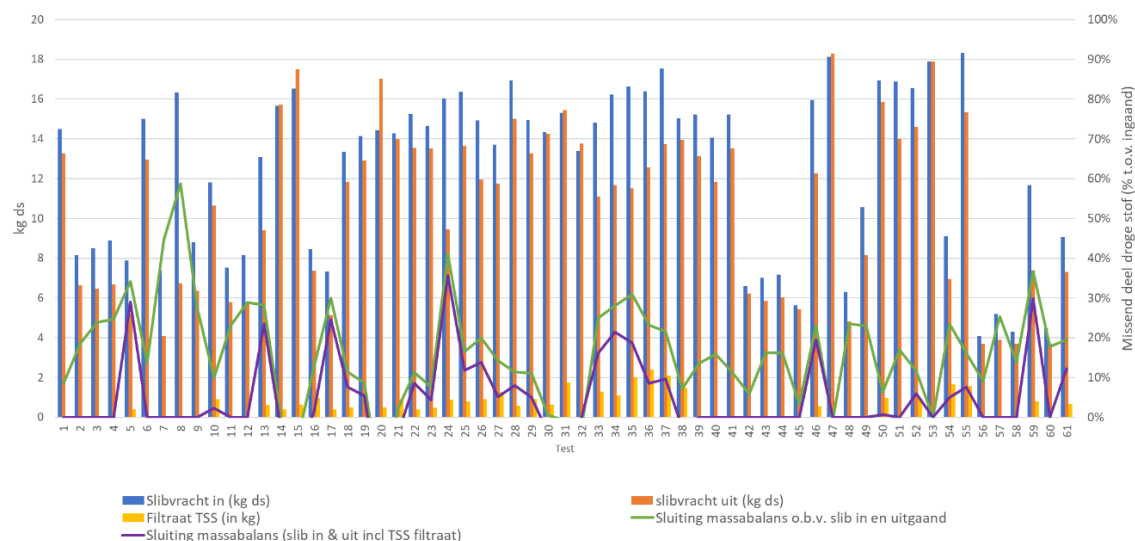


Uit Figuur 4.10 kan worden afgeleid dat het afscheidingsrendement over de NEO $(10,9/12,5 =)$ 87% bedraagt. De totale drogestofbalans is voor $((10,9+0,43)/12,5 =)$ 91% sluitend wat betekent dat 9% van de drogestof 'mist'. Het 'missende' deel betreft slib wat na ontwatering niet goed van de band af komt en via het bandspoelwater in het filtraat terecht komt en vervolgens in de opvangbak bezinkt. Vooral de eerste weken is veel slib in het filtraat terecht gekomen doordat het ontwaterde slib niet goed van de band geschraapt werd. Ook in de laatste weken van de test waar optimalisaties zijn ingevoerd om de balans te sluiten blijft er een missend deel bestaan. Praktijkervaring leert dat een deel van het slib in de pilot achterblijft (o.a. in de band) en bij het spoelen van de band niet in het filtraat als TSS wordt terug gevonden.

In Figuur 4.11 zijn de in- en uitgaande drogestofvrachten over alle individuele testen weergegeven. Het procentuele verschil tussen de in- en uitgaande vracht zijn met een groene en een

paarse lijn weergegeven. De groene lijn betreft enkel de drogestof in het verdergaand ontwa-terde slib terwijl de paarse lijn ook de drogestof in het filtraat meeneemt.

FIGUUR 4.11 IN- EN UITGAANDE DROGESTOFVRACHTEN PER TEST



Tabel 4.2 geeft een samenvattend beeld van de drogestofbalans over alle testen exclusief en inclusief TSS in filtraat.

TABEL 4.2 DROGESTOFBALANS

	Slib	Ingaand	Uitgaand	Vershil	% Verschil
Exclusief TSS filtraat	kg DS/test	12,5	10,9	1,6	13
Inclusief TSS filtraat	kg DS/test	12,5	11,3	1,2	9

4.7 STIKSTOF EN FOSFOR

Tijdens de testperiode zijn er een aantal monsters genomen van ingaand slib, uitgaand slib en filtraat, die in een extern laboratorium zijn geanalyseerd. Deze monsters zijn onder andere geanalyseerd op N-Kj, nitriet, nitraat en P-totaal. De resultaten van deze analyses zijn weergegeven in Tabel 4.3. Nitriet en nitraat waren verwaarloosbaar.

TABEL 4.3 ANALYSERESULTATEN N-KJ EN P-TOTAAL

Datum monstername	Slib ingaand		Slib uitgaand		Filtraat (verdund met spoelwater)	
	NKj (g/kg ds)	P (g/kg ds)	NKj (g/kg ds)	P (g/kg ds)	NKj (mg/l)	P (mg/l)
21-2-2020	60	31	56	32	129	
27-2-2020	65	77	55	75	74	
9-3-2020	62	85	53	91	80,8	
12-3-2020	56	83	49	71	96,4	
19-3-2020	59	86	55	86	156	49
26-4-2020	65	88	53	81	86,3	40
2-4-2020	66	79	50	75	266	83
9-4-2020	72	93	62	82	136	36
16-4-2020	64	96	45	78	164	60
23-4-2020	64	83	59	85	125	44

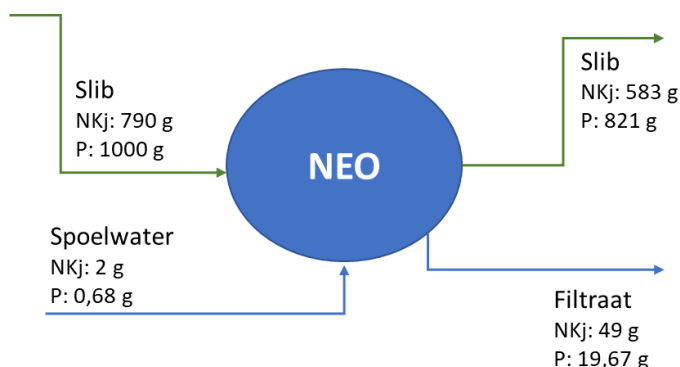
Daarnaast heeft Waterschap Rijn en IJssel NKj en P-totaal concentraties van de RWZI Nieuwgraaf verstrekt, zie Tabel 4.4.

TABEL 4.4 NKJ EN P CONCENTRATIES VAN HET EFFLUENT VAN RWZI NIEUWGRAAF

Datum monstername	NKj (mg/l)	P-tot (mg/l)
21-2-2020	4,20	0,77
27-2-2020	4,20	0,62
4-3-2020	5,70	0,72
11-3-2020	7,20	0,73
17-3-2020	4,90	1,20

Figuur 4.12 laat de nutriëntenbalans zien, met nutriënten in vrachten (gram per test als gemiddelde van de 61 uitgevoerde testen).

FIGUUR 4.12 NUTRIËNTENBALANS PER GEMIDDELTE TEST



Ook de nutriëntenbalans is niet kloppend. Er ‘verdwijnt’ een deel N-Kj en P. Tabel 4.5 laat zien dat er ongeveer 160 gram aan N-Kj en P-totaal per test mist in de uitgaande stromen. Voor N-Kj komt dit overeen met 20% van de ingaande stroom en voor P-tot met 16%.

TABEL 4.5 NUTRIËNTENBALANS

		Ingaand	Uitgaand	Verschil	% Verschil
Stikstof Kjeldahl	g N/test	792	633	159	20
Totaal fosfaat	g P/test	1001	841	160	16

Om het verschil voor N-Kj en P-totaal te verklaren kijken we terug naar de drogestofbalans (Figuur 4.11). Deze balans is niet kloppend, er mist een deel drogestof, wanneer wordt gekeken naar de in- en uitgaande slibvrachten. Over alle tests is het gemiddelde missende deel 9% (Tabel 4.2). Voor stikstof en fosfaat is het verschil groter. Deels kan dit veroorzaakt zijn doordat er minder metingen uitgevoerd zijn voor stikstof en fosfaat. In het geval van stikstof kan een deel als ammoniak vervluchtigd zijn in de NEO.

4.8 ENERGIEVERBRUIK

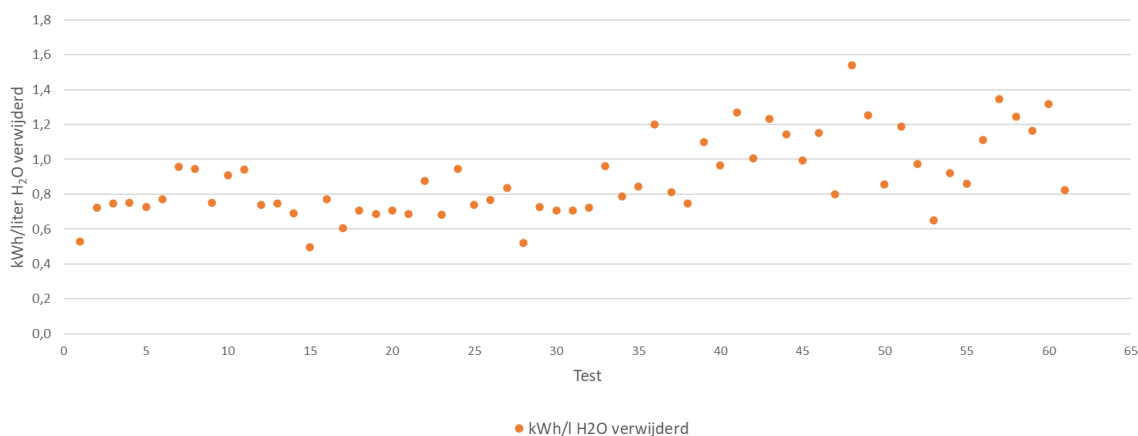
Het energieverbruik is uitgedrukt als kWh per liter water verwijderd. Zoals beschreven in paragraaf 4.5 is het onttrokken water berekend op basis van het in- en uitgaande drogestofgehalte.

In Figuur 4.13 wordt het energieverbruik per liter verwijderd water weergegeven. De energieconsumptie varieert grofweg tussen de 0,4 – 1,6 kWh per liter water verwijderd, met een gemiddelde van 0,9 kWh per liter water verwijderd. Er is echter ook te zien dat het energieverbruik in de eerste helft van de testen vrij stabiel is waarna de spreiding in het energie-

verbruik toeneemt en het verbruik gemiddeld stijgt. Een mogelijke verklaring is de verandering in slibsamenvatting door de corona ontwikkelingen. De afvalwatersamenstelling kan veranderd zijn doordat de werksituaties veranderden. Dit werkt vervolgens weer door in de slibsamenvatting. Kijkend naar de stabiele eerste periode is de energieconsumptie tussen de 0,4-1,0 kWh per liter water verwijderd.

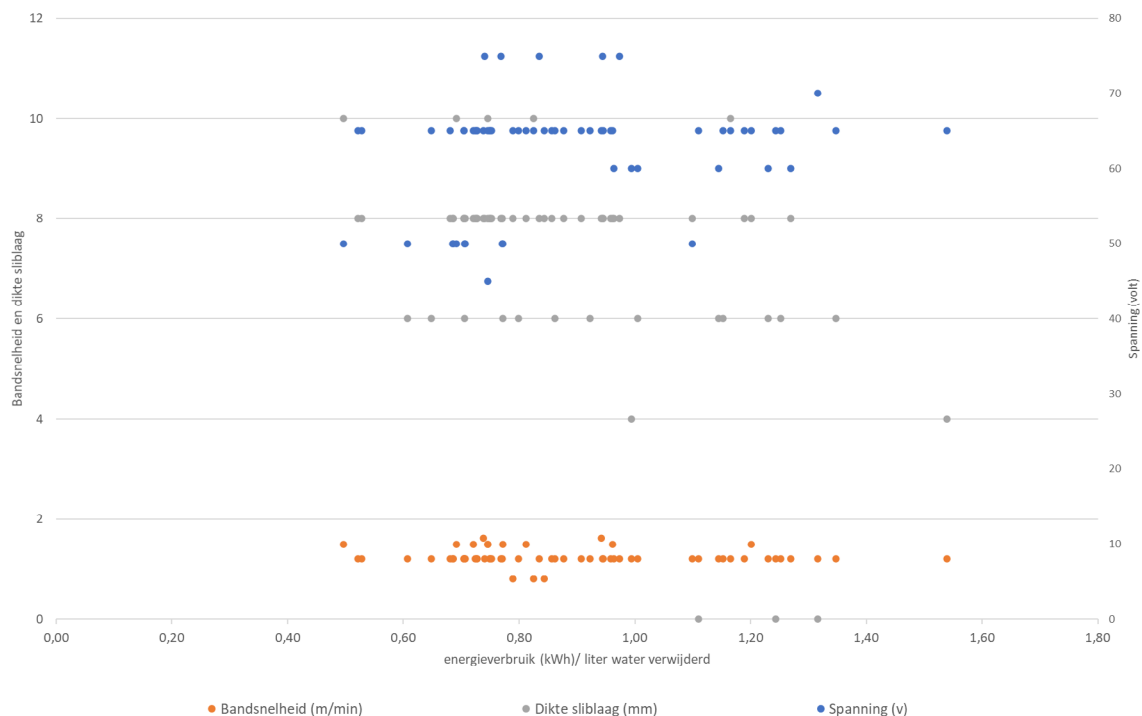
Literatuur geeft een energieconsumptie voor het elektro osmose proces tot circa 0,45 kWh per liter water verwijderd, een stuk lager dan hier is gemeten (H. Saveyn, 2006), (S. Gazbar, 1994), (J. Olivier, 2015). Energieconsumptie van thermisch drogen bedraagt conform de literatuur 0,62 – 1,20 kWh per liter water verwijderd en ligt dus iets hoger dan de resultaten van de NEO.

FIGUUR 4.13 ENERGIEVERBRUIK PER LITER VERWIJDERD H₂O NEO-500



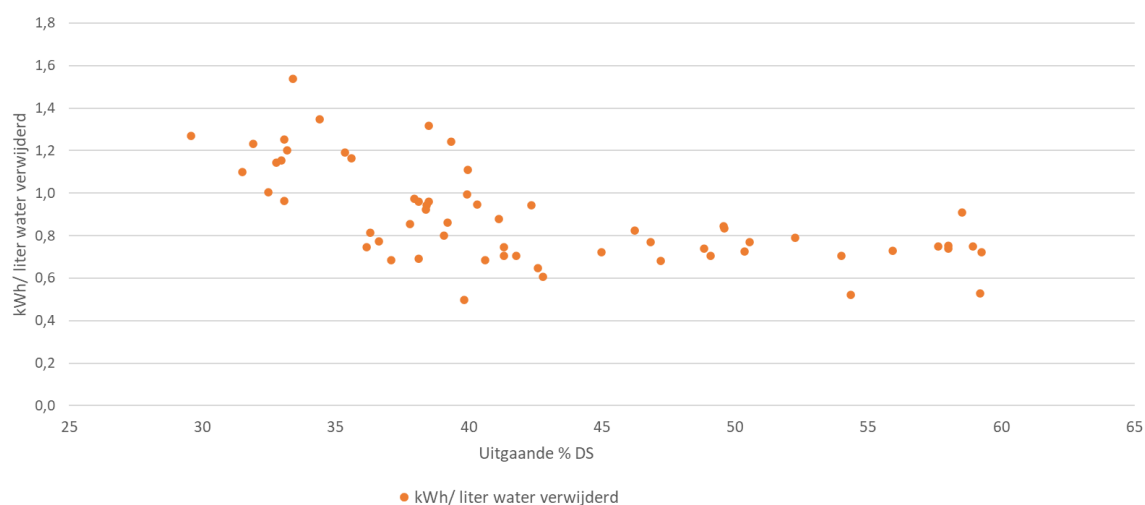
Figuur 4.14 laat het effect van de ingestelde waardes (spanning, bandsnelheid en dikte sliblaag) op het energieverbruik per liter water verwijderd zien. De instellingen lijken geen correlatie te hebben met energieverbruik. Met andere woorden, het variëren van de instellingen leidt niet tot een verschil in energieverbruik.

FIGUUR 4.14 HET EFFECT VAN DE INSTELLINGEN SPANNING, BANDSNELHEID EN DIKTE SLIBLAAG OP HET STROOMVERBRUIK PER LITER WATER VERWIJDERD



Figuur 4.15 laat zien dat er een relatie is tussen het energieverbruik per liter water verwijderd en het uitgaande percentage drogestof. Het lijkt erop dat wanneer er een hoger percentage drogestof gehaald wordt, en er dus meer liters water verwijderd worden, het energieverbruik per liter water dat verwijderd wordt relatief minder is. De operator van de NEO geeft op basis van zijn ervaring aan dat wanneer het systeem stabiel draait, het energieverbruik optimaler is en een hoger drogestofgehalte wordt bereikt (>40%). In de stabiele periode is het energieverbruik ook vrij constant rond de 0,7 kWh per liter water verwijderd onafhankelijk van de uitgaande drogestof gehalten. Er is geen duidelijke oorzaak aan te wijzen voor de minder stabiele bedrijfsvoering vanaf eind maart 2020. Opvallend is dat de bedrijfsvoering minder stabiel werd vanaf het moment dat de Coronamaatregelen, zoals thuiswerken, van kracht werden.

FIGUUR 4.15 DE RELATIE VAN KWH/ LITER WATER VERWIJDERD OP HET UITGAANDE PERCENTAGE DS



4.9 EMISSIES

De NEO stond tijdens de duurtest op RWZI Nieuwgraaf buiten in een tent opgesteld. Tijdens de testen is er continue met een persoonlijke gasmeter gewerkt. Deze meet H_2S , NH_3 , CH_4 , CO_2 en O_2 . Er kon altijd onder veilige omstandigheden gewerkt worden.

Uit contact met de chauffeurs die slib kwamen afhalen en uit gesprekken met de operators van de RWZI bleek dat er meer geur overlast gemerkt werd bij het ophalen van het normale slib, geproduceerd door de decanters, dan van de experimenten bij de NEO.

Daarnaast leidde behandeling met de NEO tot een significante geur reductie ten opzichte van het ingaande slib. Ook dit werd beaamd door de operators van de RWZI.

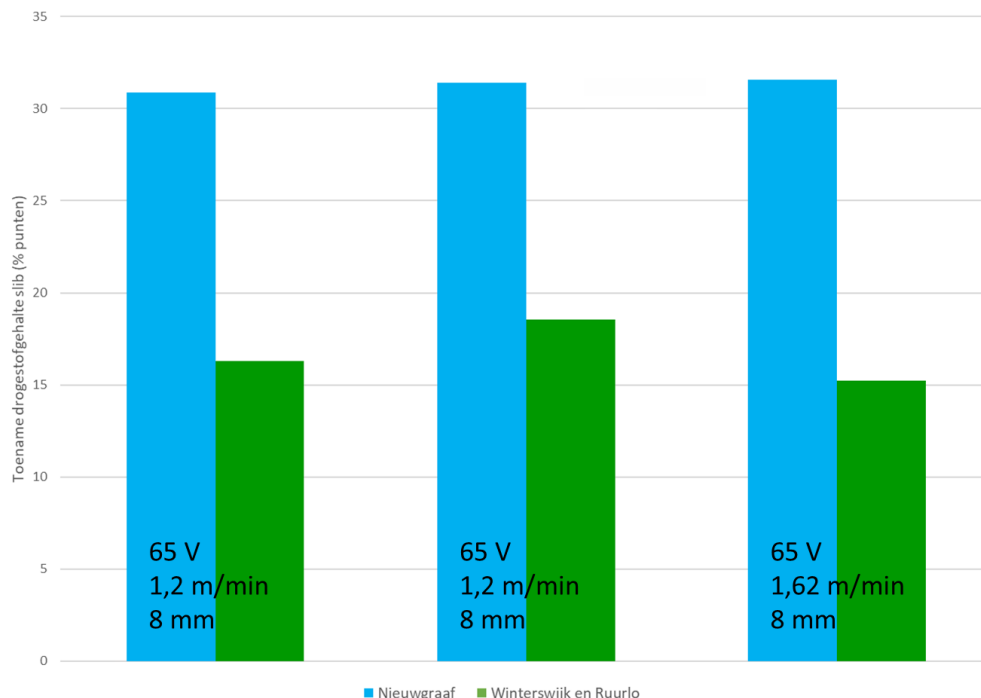
4.10 VERGELIJKING SLIBBEN

Er zijn 3 testen gedaan met slib van RWZI Winterswijk en Ruurlo. De overige 58 testen zijn gedaan met het slib van RWZI Nieuwgraaf. Figuur 4.16 laat voor de 3 testen een vergelijking tussen het slib van RWZI Winterswijk en Ruurlo en het slib van RWZI Nieuwgraaf met betrekking tot het percentage drogestof. Alle instellingen (spanning, bandsnelheid en slib dikte) zijn gelijk bij de verschillende slibben.

Let op: de resultaten in Figuur 4.16 en Figuur 4.17 zijn niet representatief omdat de groene balken (Winterswijk en Ruurlo) slechts 3 testen vertegenwoordigen.

FIGUUR 4.16

TOENAME IN DROGESTOFGEHALTE DOOR TOEPASSING NEO. INSTELLINGEN PER SLIB ZIJN VOOR DE VERSCHILLENDE SLIBBEN HETZELFDE (EERSTE 2 TESTEN 65V, 1,2M/MIN, 8MM; LAATSTE TEST 65V, 1,62M/MIN, 8MM). LET OP: RESULTATEN WINTERSWIJK EN RUURLO ZIJN NIET REPRESENTATIEF VANWEGE BEPERKT AANTAL METINGEN

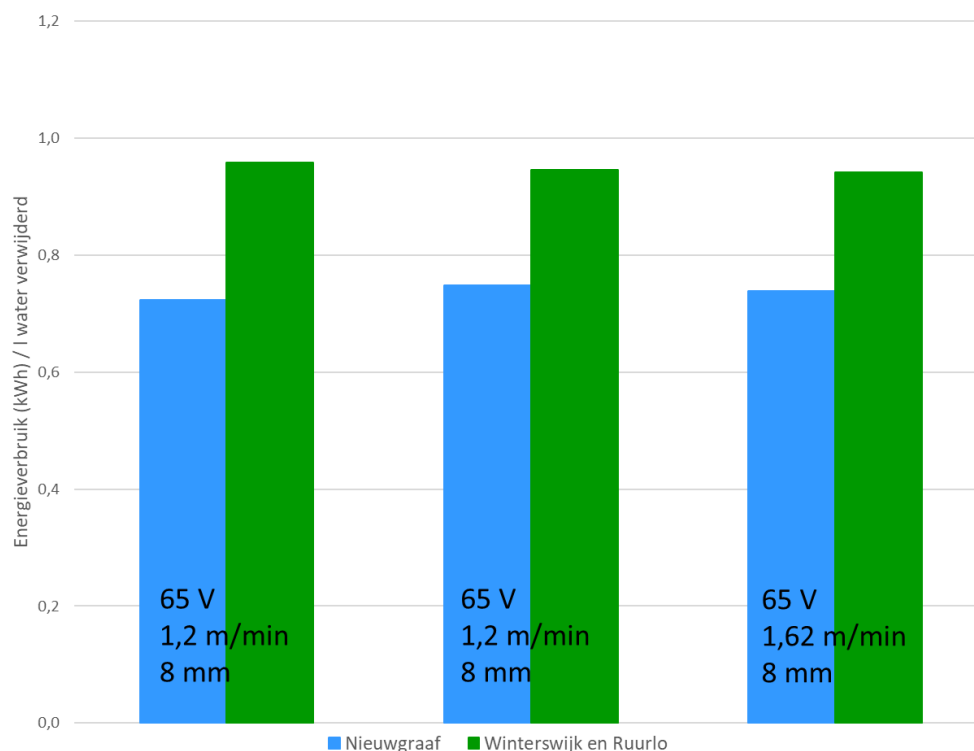


Uit Figuur 4.16 kan worden afgeleid dat het percentage drogestof dat gehaald wordt met slib van RWZI Nieuwgraaf fors hoger is dan het percentage drogestof dat gehaald wordt met slib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo. Helaas zijn er maar 3 testen van maximaal 1 uur gedaan met het slib van Winterswijk en Ruurlo waardoor het moeilijk is om conclusies te trekken.

Een mogelijke verklaringen voor de betere ontwatering van Nieuwgraaf slib is dat dit vergist slib betreft. Een ander belangrijk verschil is de wijze van P verwijdering. Op Ruurlo en Winterswijk wordt P biologisch verwijderd terwijl op de sliblijn van Nieuwgraaf veel ijzer gedoseerd wordt.

FIGUUR 4.17

VERSCHIL ENERGIEVERBRUIK IN KWH/ LITER WATER VERWIJDERD PER SLIB. INSTELLINGEN PER SLIB ZIJN VOOR DE VERSCHILLENDE SLIBBEN HETZELFDE (EERSTE 2 TESTEN 65V, 1,2M/MIN, 8MM; LAATSTE 65V, 1,62M/MIN, 8MM)



Ook Figuur 4.17 laat een verschil zien tussen de twee slibben. In dit figuur wordt gekeken naar het verschil in energieverbruik van de verschillende slibben. Het slib van RWZI Nieuwgraaf lijkt ook qua energieverbruik beter uit te pakken dan het slib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo. Ook hier geldt dat vanwege het beperkte aantal metingen geen harde conclusies kunnen worden getrokken.

4.11 SAMENVATTING RESULTATEN

De gemiddelde capaciteit van de NEO bedroeg 99 kg slibkoek per uur. De verwijderde hoeveelheid water bedroeg gemiddeld 45 kg per uur.

Het gemiddeld met de NEO behaalde drogestofgehalte is 43%, wat voldoet aan het doel van het halen van een drogestofpercentage van minimaal 40%. Ook laten de resultaten zien dat er geen verband is tussen de ingestelde waarden en het percentage drogestof dat gehaald wordt.

In Tabel 4.6 is een samenvatting opgenomen van de balansen voor water, drogestof, N-Kjeldahl en P-totaal. Hier is nog een keer te zien dat de waterbalans goed kloppend is, de in en uitkomende waterstromen zijn nagenoeg gelijk. In de drogestofbalans is te zien dat een deel van het slib mist, deels is dit slib gemeten als TSS in filtraat en deels ontbreekt het. Ook de balansen van stikstof en fosfor zijn niet sluitend als gevolg van het missende deel slib.

TABEL 4.6 MASSABALANS

Aspect	Eenheid	Ingaand	Uitgaand	Verschil	Verschil (%)
Water	l/ test	394	392	2,55	0,65%
Drogestof	kg DS/ test	12,5	11,3	1,15	9,2%
Stikstof Kjeldahl	g N/ test	792	633	159	20%
Totaal fosfaat	g P/ test	1001	841	160	16%

In Tabel 4.7 is een overzicht gegeven van het gemiddelde energieverbruik en de capaciteit van de NEO. Tijdens de pilot is een gemiddeld energieverbruik van 0,9 kWh/ liter water verwijderd gemeten, dit is een stuk hoger dan de (gemiddeld) 0,45 kWh uit de literatuur (H. Saveyn, 2006), (S. Gazbar, 1994), (J. Olivier, 2015). Er wordt dan ook door de leverancier van het systeem gesteld dat dit geen representatief beeld geeft en dat een test met een full scale NEO installatie noodzakelijk is voor een representatief energieverbruik en capaciteit.

TABEL 4.7 ENERGIEVERBRUIK EN CAPACITEIT

Eenheid	Waarde
kWh/ liter H ₂ O verwijderd	0,89
kg H ₂ O verwijdering/ uur	34,9
kg H ₂ O verwijdering/ test	17,6

Ten slotte zijn twee verschillende slibben met elkaar vergeleken op het percentage drogestof dat gehaald werd en het energieverbruik. Het lijkt er op dat met het slib van RWZI Nieuwgraaf een hoger percentage drogestof wordt gehaald met een lager energieverbruik in vergelijking met het slib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo. Helaas zijn er maar 3 testen gedaan met het slib van RWZI's Winterswijk en Ruurlo waardoor er geen harde conclusie uit getrokken kan worden.

5

DUURZAAMHEID EN CIRCULARITEIT

5.1 INLEIDING

De duurzaamheid van het NEO proces is in dit rapport uitgewerkt aan de hand van het primair energieverbruik. In dit hoofdstuk wordt de primaire energie van het NEO proces vergeleken met monoverbranding. In dit hoofdstuk wordt eveneens de combinatie beschouwd van NEO en NVD (ventilatiadroger). Deze ventilatiadroger is in dit onderzoek niet getest maar vanuit duurzaamheidsperspectief is het interessant om de combinatie van NEO en NVD af te zetten tegen enkel NEO.

5.2 UITGANGSPUNTEN

Om de primaire energie en CO₂ voetafdruk van de NEO goed te kunnen vergelijken met andere verwerkingsroutes wordt gerekend met een slib input van 100.000 ton slibkoek per jaar met een drogestofgehalte van 25%.

Voor het energieverbruik van de NEO zijn we uitgegaan van de door de leverancier verstrekte waarde van (gemiddeld) 0,45 kWh/ liter water verwijderd omdat het energieverbruik van de pilot, mede door batchgewijze bedrijfsvoering, niet representatief is voor een full scale installatie. De waarde van 0,45 kWh/liter water verwijdering ligt in dezelfde range als vermeld wordt in de literatuur (Bijlage 2). Voor de combinatie van NEO met NVD bedraagt het energieverbruik 0,383 kWh per verwijderde liter water. De NEO en NVD worden door dezelfde producent geproduceerd en worden zoals in Bijlage 2 te zien is in veel gevallen na elkaar geschakeld. De NVD gebruikt de restwarmte van de NEO en ventilatielucht voor het verder drogen van het slib. De NVD is een meerlaagse banddroger waar het slib van boven naar onder getransporteerd wordt en er van onder naar boven lucht door geblazen wordt. Door het gebruik van restwarmte is de combinatie energiezuiniger dan alleen de NEO per liter verwijderd water.

De duurzaamheid wordt uitgewerkt voor 2 scenario's:

1. NEO tot 40% droge stof → verbranding in bio energiecentrale
2. NEO + NVD tot 70% droge stof → verbranding in bio energiecentrale

De NEO scenario's worden vergeleken met de volgende routes voor slibeindverwerking:

- Mono verbranding met én zonder CO₂ levering
- Compostering + mono verbranding
- Banddroger op restwarmte + verbranding in bio energiecentrale

In Tabel 5.1 zijn de algemene uitgangspunten opgenomen voor de berekening van primaire energie.

TABEL 5.1

UITGANGSPUNTEN PRIMAIRE ENERGIE

Aspect	Eenheid	Waarde	Bron
Elektriciteit (NL mix)	GJ/kWh	0,00522	Klimaatmonitor 2021 - 2024
Groene stroom	GJ/kWh	0,00096	RVO
Houtsnippers (vochtig hout)	GJ/ton	11,8	GMB
Teruggeleverd CO ₂	GJ/ton	10,94	RVO

5.3 UITWERKING

In Tabel 5.2 is een overzicht gegeven van verschillende routes van slibeindverwerking voor een imaginaire hoeveelheid van 100.000 ton slibkoek per jaar. Te zien is dat de NEO het slib droogt tot 40% drogestof waardoor de totale hoeveelheid slibkoek gereduceerd wordt tot 62.500 ton per jaar. Een reductie van 37,5%. Met de combinatie van NEO en NVD wordt het slib gedroogd tot 70% drogestof waardoor 35.714 ton slibgranulaat per jaar resteert. Een reductie van 64%.

De primaire energie die vrijkomt bij de verbranding van het gedroogde slib (primaire energie slibgranulaat) is berekend aan de hand van de volgende formule:

$$H_{slib} = (ODS * H_{organisch}) * DS - H_{verdamping\ water} * (1 - DS)$$

Met:

H_{slib} = stookwaarde in GJ per ton slib materiaal;

$H_{organisch}$ = 21,318 GJ/ton ODS (organische drogestof);

ODS = organisch gehalte in de drogestof in (%);

DS = drogestofgehalte van het slibmateriaal in (%);

$H_{verdamping\ water}$ = 2,258 GJ/ton (verdampingswarmte van water)

Bovenstaande formule is toegepast voor alle routes van slibeindverwerking met uitzondering van mono verbranding omdat daar geen slibgranulaat resteert. Het resultaat van de berekeningen in Tabel 5.2 zijn saldo's aan vermeden primaire energie. Dat is de primaire energie die nodig is om het slib te verwerken en het potentieel aan primaire energie die vrijkomt bij (co) verbranding. Uitgangspunt hierbij is verbranding van het slib in een mono verbrander met een thermisch rendement van 80%. Het elektriciteitsverbruik voor de eindverwerking van het slib bedraagt 0,39 GJ/ton en betreft de benodigde elektriciteit voor handling en machines.

TABEL 5.2 DUURZAAMHEIDSVERGELIJKING VERSCHILLENDE SLIBVERWERKINGSROUTES

Aspect	Eenheid	Compostering	Mono verbranding	Mono verbranding met CO ₂ levering	Banddroger op restwarmte	NEO	NEO + NVD
Slib input	ton ds	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Slib input	% ds	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Slib input	ton koek/j	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Slib gedroogd	% ds	64%	as	as	90%	40%	70%
Ton water verdampt	ton/j	60.998			72.222	37.500	64.286
Asrest ingaand slib	% van ds	35%	35%	35%	35%	35%	35%
Granulaat/compost/as	ton product/j	26.260	9.243	9.243	27.778	62.500	35.714
Elektriciteit	kWh/m ³ H ₂ O verwijderd	45			120	450	383
Energieverbruik elektriciteit	kWh/j	6.801.889	177.604	177.604	11.598.765	23.472.222	28.410.556
Energieverbruik warmte	GJ/j		4.437	4.437	278.200		
Netto verbruik houtsnippers	ton/j	4.920					
CO ₂ geleverd	ton CO ₂ /j		9.637				
Omrekenfactoren primaire energie							
Primaire energie elektriciteit	GJ/kWh	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Primaire energie (rest)warmte	factor				0,20		
Primaire energie slibgranulaat	GJ/ton	5,8			12,2	4,2	9,0
Primaire energie houtsnippers	GJ/ton	11,8					
Primaire energie CO2 product (GER waarde)	GJ/ton			10,94			
Primaire energie							
Elektriciteitsverbruik	GJ/j	35.506	927	927	60.546	122.525	148.303
Warmte verbruik	GJ/j	-	4.437	4.437	56.468	-	
Opbrengst verbranding slibgranulaat	GJ/j	-121.846			-272.116	-209.394	-257.780
Verbruik houtsnippers	GJ/j	58.056					
Ammoniumsulfaat productie	GJ/j	-21.764					
Saldo vermeden verbruik primaire energie	GJ/j	-50.048	5.364	5.364	-155.103	-86.869	-109.477
Vermeden primaire energie door CO ₂ leveren	GJ/j			-105.423			
Saldo vermeden verbruik primaire energie	GJ/j	-50.048	5.364	-100.059	-155.103	-86.869	-109.477

Uit Tabel 5.2 volgt dat het NEO proces evenals compostering, monoverbrandingsroute met CO₂ levering en de banddroger op restwarmte een negatief verbruik van primaire energie heeft. Deze routes leveren dus netto energie op. Bij de monoverbrandingsroute draagt de CO₂ levering essentieel bij aan vermeden primaire energie (dat is een lokale synergie winst). De NEO heeft als groot voordeel dat alleen elektriciteit nodig is, welke door de waterschappen duurzaam ingekocht wordt. Het elektriciteitsverbruik van beide NEO routes ligt dan wel een stuk hoger dan bij monoverbranding, maar het feit dat het NEO proces geen warmte en chemicaliën vereist is daarbij een groot duurzaamheidsvoordeel. Ten opzichte van drogen met restwarmte is een belangrijk voordeel dat de NEO niet afhankelijk is van de beschikbaarheid van restwarmte van externe partijen.

In de tabel is verder te zien dat bij de verbranding van het slibgranulaat in een verbrandingsinstallatie veel energie vrijkomt in de vorm van warmte. Hoe droger het slib des te hoger de verbrandingswaarde. Deze warmte kan een belangrijke bijdrage leveren aan de duurzame energieproductie van waterschappen.

DOORKIJK ENERGIENEUTRALITEIT RWZI NIEUWGRAAF

Specifiek voor de schaalgrootte van de RWZI Nieuwgraaf is berekend dat de NEO jaarlijks 1,9 miljoen kWh elektriciteit verbruikt wat overeenkomt met circa 20% van het elektriciteitsverbruik van de RWZI ¹. Daar tegenover staat dat de NEO een aanzienlijk droger slib produceert waardoor het slibgranulaat netto als brandstof kan worden toegepast. Het slibgranulaat van de RWZI Nieuwgraaf zou in een mono verbrander op jaarbasis 26.800 GJ aan thermische energie produceren wat overeen komt met 7,4 miljoen kWh/j aan warmte. In vergelijking met de huidige situatie waarbij ontwaterd slib direct verbrand wordt blijft er dus veel meer energie over in de vorm van warmte die nuttig kan worden ingezet. De primaire energie in de geproduceerde warmte uit slibgranulaat staat gelijk aan 63% van het totale elektrische verbruik van de RWZI Nieuwgraaf.

¹ Uitgaande van een energieverbruik van 25 kWh per i.e. per jaar voor afvalwaterzuivering

6

KOSTEN EN DOORVERTALING NAAR DE PRAKTIJK

6.1 INLEIDING

Om te beoordelen of NEO ook financieel een kansrijke techniek is zijn in dit hoofdstuk de kosten uitgewerkt voor een full scale installatie. Daarnaast is de afzetbaarheid van verregaand ontwaterd slib verkend. In paragraaf 6.2 zijn de (financiële) uitgangspunten opgenomen waarna in paragraaf 6.3 de kosten uitgewerkt zijn voor de schaalgrootte van RWZI Nieuwgraaf. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen een NEO mét en zonder nageschakelde droger (NVD). In paragraaf 6.4 is een beschouwing opgenomen over de afzet van gedroogd slib, nu en in de toekomst.

6.2 UITGANGSPUNTEN

Als uitgangspunt voor de doorvertaling naar de praktijk is de schaalgrootte van de RWZI Nieuwgraaf aangehouden omdat het een centrale ontwateringslocatie betreft en de schaalgrootte goed overeenkomt met de capaciteit van een full scale NEO. De inschatting van Nijhuis is dat de NEO financieel het meest interessant is voor centrale ontwateringslocaties. In Tabel 6.1 zijn de kenmerken van de RWZI Nieuwgraaf opgenomen.

TABEL 6.1

UITGANGSPUNTEN RWZI NIEUWGRAAF

RWZI	RWZI Nieuwgraaf
Capaciteit RWZI (i.e)	395.000
Voorbezinktank aanwezig (ja/nee)	ja
Primair slib, incl extern aanvoer (ton ds/jaar)	3.974
Secundair slib, incl extern aanvoer (ton ds/jaar)	3.451
Vergisting (ja/nee)	ja
P verwijdering	chemisch
Voorbehandeling vergisting (TDH) (ja/nee)	nee
Totaal slib naar eindverwerking (ton ds/jaar)	3.700
Droge stof slib naar eindverwerking (% ds)	26,8
Organische stof slib naar eindverwerking (% OS)	69,1

De ontwerpuitgangspunten voor de NEO en NVD zijn opgenomen in Tabel 6.2

TABEL 6.2

UITGANGSPUNTEN NEO EN NVD

Aspect	Eenheid	Waarde
Slibkoek	kg/h	1.600
Drogestofgehalte slibkoek	% ds	26,8%
Drogestof	kg ds/h	429
Draaiuren per jaar	uur/j	8.000
Slibkoek	ton/j	12.800
Type NEO	type	NEO-3000
Type NVD	type	NVD-3000
Stroomverbruik NEO	kWh/h	200
Stroomverbruik NVD	kWh/h	90
Waswaterverbruik NEO	l/h	1.260
Drogestof na NEO	%	40%
Drogestof na NVD	%	70%
Stroomaansluiting NEO	A, V	600, 380
Dimensies NEO (LxBxH)	m	3,0 x 4,1 x 2,7
Dimensies NVD (LxBxH)	m	3,0 x 3,6 x 2,4

De financiële uitgangspunten zijn opgenomen in Tabel 6.3

TABEL 6.3

FINANCIËLE UITGANGSPUNTEN

Aspect	Eenheid	Waarde
Kosten elektriciteit	EUR/kWh	0,1
Afschrijving WTB	jaar	15
Rente	%	4%
Beheer	FTE	0,5
FTE	EUR/j	60.000
Onderhoud	% van bouwkosten per jaar	5% *
Slibverwerking	EUR/ton slibkoek	100

*Als percentage van de aanneemsom

Voor de uitwerking van de kostenberekening is het afscheidingsrendement van de NEO buiten beschouwing gelaten. Uitgangspunt van de full scale installatie is een afscheidingsrendement >95% waardoor slechts een beperkt deel van het slib terug gevoerd wordt naar de waterlijn. Voor de behandeling van het teruggevoerde rejectiewater zijn geen kosten meegenomen. Het benodigde spoelwater (bedrijfswater) is niet meegenomen in de kostenberekening. Uitgangspunt is dat bedrijfswater in voldoende mate beschikbaar is.

6.3 KOSTEN

De Capex en het jaarlijkse onderhoud van de NEO en de NVD zijn verstrekt door Nijhuis en zijn opgenomen in Tabel 6.4. Deze kosten zijn inclusief randapparatuur, installatie en 2 weken opstart, maar exclusief onderdelen als een aanvoerschroef of een gasscrubber.

TABEL 6.4

KOSTEN CAPEX EN ONDERHOUD NEO-3000 EN NVD-3000 (NIJHUIS)

Aspect	Eenheid	Waarde
Capex indicatie NEO	€	680.000
Onderhoud NEO	€/jaar	75.200
Capex indicatie NEO + NVD	€	1.100.000
Onderhoud NEO+NVD	€/jaar	82.100

Voor de RWZI Nieuwgraaf is als uitgangspunt gehanteerd dat de NEO en de NVD in het bestaande slibontwateringsgebouw geplaatst kunnen worden omdat de footprint van beide machines beperkt is. In de praktijk dient vastgesteld te worden of beide machines daadwerkelijk ingepast kunnen worden en of dit qua slibhandling inpasbaar en gewenst is. Aangenomen is dat ontwaterd slib vanuit de centrifuges met een nieuw te realiseren schroef naar de NEO gaat, eventueel in combinatie met een NVD. Er is dus geen buffer voorzien van waaruit ontwaterd slib naar de NEO getransporteerd wordt. Vanuit de NEO/NVD wordt het slib met de bestaande schroeven naar de slibsilos getransporteerd waardoor de randapparatuur beperkt blijft. Verder is aangenomen dat de stroomaansluiting niet verzwakt hoeft te worden en dat de ventilatielucht naar een bestaande luchtbehandeling kan worden afgezogen. De Neo-3000 heeft een aansluiting van 600 A 380 V nodig.

De benodigde randapparatuur en overige werkzaamheden betreffen:

- Toevoer- en afvoerschroeven
- Afzuiging
- Elektrotechnische werkzaamheden en integratie in SCADA

De geraamde bouwkosten zijn vermenigvuldigd met een factor 2 om te komen tot investeringskosten (engineering, algemene kosten, onvoorzien, winst/risico, BTW).

De totale investeringskosten van de NEO (mèt en zonder NVD) zijn uitgewerkt in Tabel 6.5.

TABEL 6.5

INVESTERINGSKOSTEN NEO (MÉT EN ZONDER NVD)

Bouw en investeringskosten	Eenheid	NEO	NEO+NVD
NEO-3000 (en NVD-3000) incl randapparatuur	EUR	€ 680.000	€ 1.100.000
Schroeven	EUR	€ 40.000	€ 40.000
Afzuiging	EUR	€ 30.000	€ 50.000
Integratie in SCADA	EUR	€ 20.000	€ 30.000
Bouwkosten	EUR	€ 770.000	€ 1.220.000
Investeringskosten	EUR	€ 1.540.000	€ 2.440.000

De exploitatiekosten van de NEO zijn opgenomen in Tabel 6.6. Deze kosten zijn exclusief slibeindverwerking. In deze tabel zijn tevens de kosten opgenomen per ton verwijderd water, per ton slibkoek en per ton drogestof. In Tabel 6.6 is te zien dat de exploitatiekosten voor de NEO 4 ton bedragen, wat resulteert in een bedrag van 95 euro per ton verwijderd water. Dit resulteert in een kostenpost van 31 euro per ton slibkoek en 117 euro per ton drogestof. In het geval van een NEO met een nageschakelde NVD lopen de exploitatiekosten op naar 5,6 ton en bedragen de kosten per ton water verwijderd 71 euro. Dit resulteert in een kostenpost van 31 euro per ton slibkoek en 117 euro per ton drogestof.

TABEL 6.6

EXPLOITATIEKOSTEN NEO (MÉT EN ZONDER NVD) ZONDER SLIBEINDVERWERKING

Aspect	Eenheid	NEO	NEO+NVD
Afschrijving	EUR/j	€ 136.099	€ 215.637
Energieverbruik	EUR/j	€ 160.000	€ 232.000
Beheer	EUR/j	€ 30.000	€ 30.000
Onderhoud	EUR/j	€ 75.200	€ 82.100
Totaal	EUR/j	€ 401.299	€ 559.737
Ton water verwijderd	Ton/j	4.224	7.899
Kosten per ton water verwijderd	EUR/ton	€ 95	€ 71
Kosten per ton slibkoek	EUR/ton	€ 31	€ 44
Kosten per ton ds	EUR/ton	€ 117	€ 163

In Tabel 6.7 zijn de totale slibeindverwerkingskosten opgenomen (kosten NEO inclusief slibeindverwerking). Voor de slibeindverwerking is een tarief aangenomen van 100 euro per ton slibkoek (all-in). De totale exploitatiekosten van 98 euro en 82 euro per ton slibkoek liggen in dezelfde bandbreedte als de huidige verwerkingskosten per ton slibkoek waardoor NEO (eventueel in combinatie met NVD) een interessant alternatief kan zijn voor de Nederlandse waterschappen. In de praktijk zullen de kosten van een NEO en NVD sterk afhangen van de locatie waar de NEO opgesteld wordt, de aanvullende werkzaamheden die nodig zijn en de tarieven voor slibeindverwerking.

TABEL 6.7

EXPLOITATIEKOSTEN NEO (MÉT EN ZONDER NVD) INCLUSIEF SLIBEINDVERWERKING

Aspect	Eenheid	NEO	NEO+NVD
Kosten per ton slibkoek	EUR/ton	€ 98 *	€ 82 *

* afhankelijk van de specifieke situatie kunnen de kosten hoger uitvallen doordat extra maatregelen zoals een slibsilo, verzwaren E-aansluiting, uitbreiden bedrijfswaterinstallatie en/of een extra gebouw noodzakelijk zijn

6.4 BESCHOUWING EINDVERWERKING NEO SLIB

In paragraaf 4.6.1 wordt de relatie gelegd tussen het drogestofgehalte van slib en de hoeveelheid primaire energie die vrijkomt bij de verbranding van het slib. Slib met een hoger drogestofgehalte heeft een hogere verbrandingswaarde waardoor er per kilo slib meer energie mee opgewekt kan worden. Het slib wat uit de NEO of NVD komt kan in potentie ingezet worden als biobrandstof voor de productie van energie en/of warmte. Slibgranulaat kan daardoor in potentie een belangrijke rol gaan vervullen in de energietransitie door bijvoorbeeld brandstof te leveren voor warmtenetten.

Om te inventariseren wat voor de toekomstige situatie het meest interessant is; ontwateren tot een lager drogestofgehalte (35%) of juist tot een hoger drogestofgehalte (60%) zijn Nederlandse slibeindverwerkers geïnterviewd.

Uit de interviews komt naar voren dat de eindverwerkers weliswaar geïnteresseerd zijn in drogere slibben maar dat de huidige ovens van HVC en SNB niet ingericht zijn op het verwerken van slibben met drogestofgehalte hoger dan 35%. De ovens kunnen een hogere calorische waarde niet aan. De recent in bedrijf genomen installatie van EEW is ontworpen op een hogere calorische waarde maar vereist een specifiek mengsel van voorgedroogd ontwaterd slib en slibgranulaat van GMB. Door slib met een hoger drogestofgehalte aan de installatie van EEW te voeden loopt de capaciteit van de totale installatie terug waardoor het tarief stijgt. Ook voor de slibdroger die door HVC gebouwd wordt voor slib van HHNK

(en eventueel Waternet/ZZL) geldt dat deze ontworpen is voor een specifiek drogestofgehalte (ca 25%) waardoor deze geen slib van 35- 60% drogestof kan verwerken.

Voor de verbranding van slib met een drogestofgehalte van 35% – 60% dient door de eindverwerkers een nieuwe hybride verbrandingsinstallatie gerealiseerd te worden (mono verbrander voor slib). Om een dergelijke investering te doen zijn langlopende slibcontracten met een voldoende grote massa vereist waarbij eisen gesteld worden aan het drogestofgehalte van het ingenomen slib. Een dergelijke nieuwe verbrandingsinstallatie zal niet binnen de komende 10 jaar worden gerealiseerd waardoor er voor de korte termijn geen afzetroute in beeld is voor slib van 35- 60% drogestof.

Mogelijk dat er de komende jaren verwerkingscapaciteit ontstaat in Duitsland als daar nieuwe mono verbranders geopend worden.

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 CONCLUSIES

Op basis van het pilot onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- De gemiddelde capaciteit van de NEO bedroeg 99 kg slibkoek per uur. De verwijderde hoeveelheid water bedroeg gemiddeld 45 kg per uur. Hiermee is de beoogde capaciteit van 130-250 kg per uur aan toegevoerd slib niet gehaald.
- De NEO installatie is in staat om ontwaterd slib verdergaand te ontwateren tot 35-60 % drogestof met een gemiddelde van 43%. Hiermee is de doelstelling van meer dan 40% drogestof gehaald.
- Tijdens de pilot is een gemiddeld energieverbruik van 0,9 kWh/ liter water verwijderd gemeten, dit is een stuk hoger dan de (gemiddeld) 0,45 kWh uit de literatuur
- Het afscheidingsrendement van 87% is fors lager dan het beoogde afscheidingsrendement van meer dan 95%. Een afscheidingsrendement van 87% is te laag voor toepassing in de praktijk.
- De NEO ontwaterd het slib tot gemiddeld 40% drogestof waardoor de totale hoeveelheid slibkoek gereduceerd wordt met 37,5%. Met de combinatie van NEO en NVD wordt het slib in theorie gedroogd tot 70% drogestof wat neerkomt op een slib volumereductie van 64%.

DOORKIJK NEO OP RWZI NIEUWGRAAF:

- Uitgaande van een theoretisch energieverbruik van 0,45 kWh/ liter water verwijderd resulteert de NEO in een negatief verbruik van primaire energie (levert energie op). Voor de schaalgrootte Nieuwgraaf bedraagt dit 86.869 GJ/j en voor de combinatie NEO + NVD 109.477 GJ/j. Bij het gebruik van groene stroom in plaats van de Nederlandse energiemix neemt het duurzaamheidsvoordeel van de NEO verder toe.
- Specifiek voor de schaalgrootte van de RWZI Nieuwgraaf is berekend dat de NEO jaarlijks 1,9 miljoen kWh verbruikt wat overeenkomt met circa 20% van het elektriciteitsverbruik van de RWZI.
- Het slibgranulaat van de RWZI Nieuwgraaf heeft bij een drogestofgehalte van 40% een calorische waarde van 4,2 GJ/ton en bij 70% drogestof 9 GJ/ton.
- De verbranding van NEO slib van 40% drogestof levert in een mono verbrander op jaarbasis 26.800 GJ aan thermische energie wat overeen komt met 7,4 miljoen kWh/j aan warmte.
- In vergelijking met de huidige situatie waarbij ontwaterd slib direct verbrand wordt en er geen warmte resteert blijft er bij de NEO veel meer energie over in de vorm van warmte die nuttig kan worden ingezet. De primaire energie in de geproduceerde warmte uit slibgranulaat staat gelijk aan 63% van het totale elektrische verbruik van de RWZI Nieuwgraaf. Dit is een enorme energiewinst die bovendien een belangrijke bijdrage kan leveren aan de toekomstige warmtebehoefte vanuit warmtenetten.
- Voor de situatie op RWZI Nieuwgraaf zijn de exploitatiekosten berekend op €401.299 voor NEO en €559.737 voor NEO + NVD wat resulteert in €98 per ton slibkoek voor de NEO en €82 per ton verwijderd water voor de combinatie NEO + NVD. Voor de situatie Nieuwgraaf

zijn geen kosten opgenomen voor eventueel noodzakelijke maatregelen zoals een extra slibsilos, verzwaren van de E-aansluiting, uitbreiden van de bedrijfswaterinstallatie en/of een extra gebouw. De exploitatiekosten zijn daarmee sterk afhankelijk van de specifieke omstandigheden.

7.2 AANBEVELINGEN

- De capaciteit, het afscheidingsrendement en het energieverbruik van de NEO-500 pilot installatie zijn onvoldoende voor toepassing op een Nederlandse RWZI. De leverancier van de NEO geeft aan dat betere, en representatievere, resultaten verkregen kunnen worden middels een duurtest met een full scale NEO (NEO-1000) met een capaciteit van 520 kilo slibkoek per uur. Om te beoordelen of NEO haalbaar is voor de Nederlandse situatie bevelen we daarom aan een full scale duurtest uit te voeren om een representatief beeld te schetsen van de prestaties van de NEO. Aandachtspunten bij de deze duurtest betreffen onder meer het afscheidingsrendement, het energieverbruik en de capaciteit van de installatie
- De NEO vereist geen PE waardoor het interessant is om de directe ontwatering van ingedikt slib met de NEO te verkennen. Het reduceren van het PE verbruik is een belangrijk doel voor de waterschappen
- De prestaties van de NEO testen op verschillende slibben zodat een beter beeld geschetst kan worden wat de NEO kan betekenen voor slibben en RWZI's. Aandachtspunten betreffen de geleidbaarheid (hoe functioneert de NEO bij hoge geleidbaarheid?) en variaties in het drogestofgehalte van het ingaande slib (kan je met één NEO meerdere slibben verwerken?)
- Aanvullend onderzoek of nieuwe en/of innovatieve slib(eind)verwerkingsroutes van toegevoegde waarde zijn in combinatie met NEO en NVD

8

LITERATUURLIJST

- A. Mahmoud, J. O. (2010). *Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering*. Water Research - Elsevier.
- Aziz, A., Dixon, D., Usher, S., & Scales, P. (2006). Electrically enhanced dewatering (EED) of particulate suspensions. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 290, 194 - 205.
- Barton, W., Miller, S., & Veal, C. (1999). The electro-dewatering of sewage sludges. *Drying Technology*, 17, 498 - 522.
- Gazbar, S., Abadie, J., & Colin, F. (1994). Combined action of electro-osmotic drainage and mechanical compression on sludge dewatering. *Water Science & Technology*, 30, 169 - 175.
- H. Saveyn, P. v. (2006). *Bench- and pilot-scale sludge electro-dewatering in a diaphragm filter press*. Water Science & Technology, vol. 54, pp. 53 - 60.
- J. Olivier, J.-B. C. (2015). *Electro-dewatering of wastewater sludge: An investigation of the relationship between filtrate flow rate and electric current*. Water Research, vol. 82, pp. 66 - 77.
- Lee, J.-K., Shin, H.-S., Park, C.-J., Lee, C.-G., Lee, J.-E., & Kim, Y.-W. (2002). Performance evaluation of electro-dewatering system for sewage sludges. *Korean Journal Chemical Engineering*, 19, 41 - 45.
- Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J., & Hoadley, A. (2010). *Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering*. Water Research - Elsevier .
- Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J., & Hoadley, A. (2011). Electro-dewatering of wastewater sludge: Influence of the operating conditions and their interactions effects. *Water Research*, 45, 2795 - 2810.
- Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J., & Hoadley, F. (2013). Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment. *Wastewater reuse and management*, 253 - 303.
- Olivier, J., Conrardy, J.-B., Mahmoud, A., & Vaxelaire, J. (2015). Electro-dewatering of wastewater sludge: An investigation of the relationship between filtrate flow rate and electric current. *Water Research*, 82, 66 - 77.
- S. Gazbar, J. M. (1994). *Combined action of electro-osmotic drainage and mechanical compression on sludge dewatering*. Water Science & Technology, vol. 30, pp. 169 - 175.
- Saveyn, H., Pauwels, G., Timmerman, R., & van der Meeren, P. (2005). Effect of polyelectrolyte conditioning on the enhanced dewatering of activated sludge by application of an electric field during the expression phase. *Water Research*, 39, 3012 - 3020.
- Saveyn, H., van der Meeren, P., Pauwels, G., & Timmerman, R. (2006). Bench- and pilot-scale sludge electro-dewatering in a diaphragm filter press. *Water Science & Technology*, 54, 53 - 60.
- Weber, K., & Stahl, W. (2003). Influence of an electric field on filtration in a filter press. *Chemical Engineering Technology*, 26, 44 - 48.

BIJLAGE 1

MONITORINGSPROTOCOL

Analyses en metingen op locatie (Nijhuis)		Analyse frequentie		
		Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks
Ingaand slibvracht	ton/dag	x		
Droge stof ingaand slib	% ds	x		
Geleidbaarheid ingaand slib (na eerste ontwatering - input voor NEO installatie)	mS/cm	x		
Uitgaand slibvracht	ton/dag	x		
Droge stof uitgaand slib	% ds	x		
Geleidbaarheid uitgaand filtraat (waterfase NEO)	mS/cm	x		
Geleidbaarheid uitgaand slib (indien meetbaar)	mS/cm			
Debiet filtraat	m3/dag	x		
Stroomverbruik totaal	kWh/dag			
Waterverbruik sproei installatie	m3/dag	x		
Draaiuren	uren/dag	x		
Te testen slib	#			
Bijzonderheden	#			
Slib in- en uitgaand - analyse extern laboratorium (via Tauw)		Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks
Indamprest			x	
Gloeiverlies na indampen (organische stof)			x	
Waterstofcarbonaat + carbonaat (HCO3/CO3)				
CZV				
CZV (na filtratie)				
TIC				
TOC			x	
Totaal koolstof (TC)				
DOC				
Nitraat (als N)			x	
Nitriet (als N)			x	
Ammonium (als N)				
Stikstof Kjeldahl (als N)			x	
Ortho-fosfaat (als P)				
Ortho-fosfaat gefiltreerd (als P)				
Totaal fosfor (als P)			x	
Sulfaat				
Magnesium				
Onopgeloste bestanddelen/zwevende stof				
Gloeirest onopgeloste bestanddelen				
Koningswater onsluiting				
Voorbehandeling algemeen			x	
Stookwaarde bepaling (H, cal-W en stookwaarde)			x	
Filtraat uitgaand - analyse extern laboratorium (via Tauw)		Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks
Geleidbaarheid				
Indamprest				
Gloeiverlies na indampen (organische stof)				
Waterstofcarbonaat + carbonaat (HCO3/CO3)				
CZV			x	
CZV (na filtratie)				
TIC				
TOC			x	
Totaal koolstof (TC)				
DOC				
Nitraat (als N)			x	
Nitriet (als N)			x	
Ammonium (als N)			x	
Stikstof Kjeldahl (als N)			x	
Ortho-fosfaat (als P)			x	
Ortho-fosfaat gefiltreerd (als P)				
Totaal fosfor (als P)				
Sulfaat				
Magnesium			x	
Onopgeloste bestanddelen/zwevende stof			x	
Gloeirest onopgeloste bestanddelen				
Koningswater onsluiting				
Voorbehandeling algemeen				
Droge stof				
CaCO3 gehalte				
Structuurpakket (fractie <2um, gloeirest en gloeiverlies (organische stof)				
Stookwaarde bepaling (H, cal-W en stookwaarde)				
Luchtfase - afzuiging NEO - analyse extern laboratorium		Dagelijks	Wekelijks	Maandelijks
Debiet				x
Ammoniak				x
Geur				x

BIJLAGE 2

ACHTERGROND ELEKTRO OSMOSE

THEORETISCHE ACHTERGROND ELEKTRO-ONTWATERING

INLEIDING

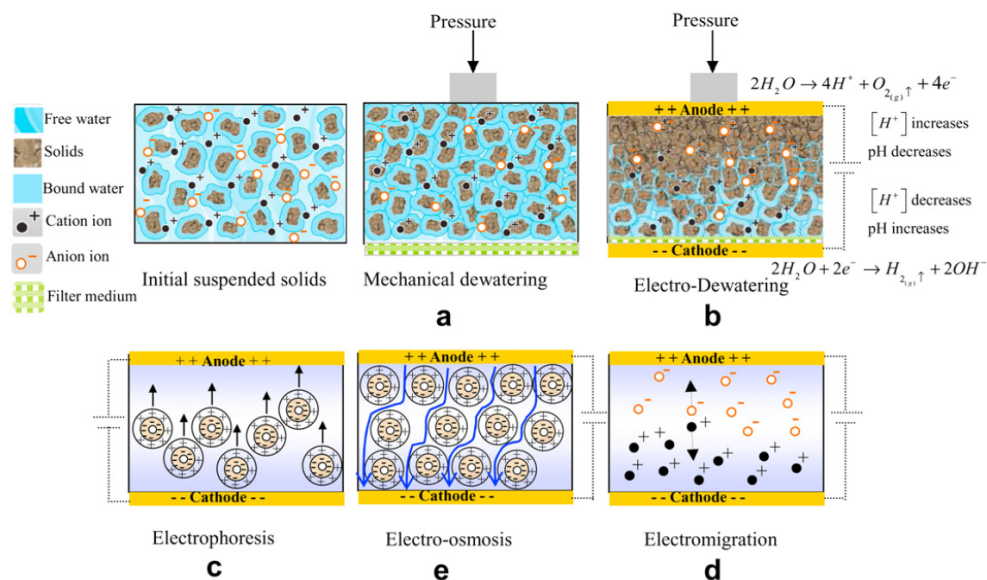
Bij de toepassing van elektromechanisch ontwateren van slib vinden een aantal processen plaats die resulteren in het ontwateren van het te behandelen slib. De hoofdprocessen hierbij zijn het mechanisch, elektrisch en elektrochemisch. De elektrisch en elektrochemische processen zijn hieronder op hoofdlijnen nader toegelicht. De mechanische processen in het EDW proces zijn gelijk aan de reeds bekende technieken voor het slibontwateren.

ELEKTRISCH EN ELEKTROCHEMISCHE PROCESSEN

De belangrijkste elektrische en elektrochemische processen die plaats vinden bij het EDW proces worden in de literatuur omschreven als “elektroforese”, “elektromigratie” en “elektro-osmose” (Weber & Stahl, 2003) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010). Deze stappen zijn weergegeven in navolgend figuur en beknopt toegelicht.

FIGUUR

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN MECHANISCH ONTWATEREN (A), EN EDW (B) MET DE VERSCHILLENDE MECHANISMEN DIE BIJ EDW PLAATS VINDEN WANNEER NEGATIEF GELADEN DEELTJES IN EEN ELEKTRISCH VELD AANWEZIG ZIJN (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRICAL FIELD: A HISTORICAL REVIEW OF ITS APPLICATION AND CONTRIBUTIONS IN WASTEWATER SLUDGE DEWATERING, 2010)



Elektroforese

De elektroforese stap betreft het bewegen van de vaste deeltjes naar een elektrode. De vaste deeltjes verzamelen zich bij de ene elektrode, terwijl het water naar de andere elektrode getrokken wordt. Hierdoor kan een deel van het water onttrokken worden aan het slib (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010).

Elektromigratie

Bij elektromigratie bewegen de ionen die aanwezig zijn in de oplossing richting de anode of kathode, afhankelijk van de lading van het ion. Deze stap is alleen mogelijk als er een onbalans over de oplossing aanwezig is. Deze onbalans kan gecreëerd worden door het aanbrengen van een spanning over de “vloeistof” zoals plaats vindt in het EDW proces. Indien de spanning over de vloeistof is aangebracht gaan de negatief geladen ionen richting de anode bewegen en positief geladen ionen richting de kathode (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010).

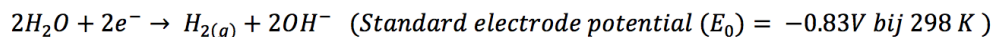
Elektro-osmose

Als er een elektrisch veld is aangebracht over de vloeistof kan elektro-osmose plaats vinden. Hierdoor zullen spanningsverschillen in de vloeistof optreden. Om de elektroneutraliteit van de vloeistof te behouden zal het aanwezige (bulk)water zich richting de kathode verplaatsen (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010).

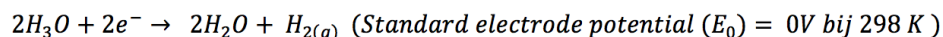
Elektrochemische processen

Door het aanbrengen van een spanning over de vloeistof zullen elektrochemische reacties plaats vinden. De elektrochemische reacties die aan de kathode kunnen optreden zijn opgenomen in vergelijking 1 en vergelijking 2. De mogelijke elektrochemische reactie die aan de anode kan optreden, is opgenomen in vergelijking 3.

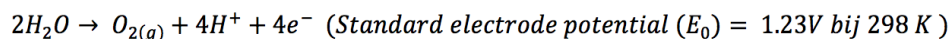
VERGELIJKING 1 ELEKTROCHEMISCHE REACTIE 1 AAN DE KATHODE BIJ TOEPASSING EDW (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRICAL FIELD: A HISTORICAL REVIEW OF ITS APPLICATION AND CONTRIBUTIONS IN WASTEWATER SLUDGE DEWATERING, 2010) (AZIZ, DIXON, USHER, & SCALES, 2006)



VERGELIJKING 2 ELEKTROCHEMISCHE REACTIE 2 AAN DE KATHODE BIJ TOEPASSING EDW (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRICAL FIELD: A HISTORICAL REVIEW OF ITS APPLICATION AND CONTRIBUTIONS IN WASTEWATER SLUDGE DEWATERING, 2010) (AZIZ, DIXON, USHER, & SCALES, 2006)



VERGELIJKING 3 ELEKTROCHEMISCHE REACTIE 1 AAN DE ANODE BIJ TOEPASSING EDW (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRICAL FIELD: A HISTORICAL REVIEW OF ITS APPLICATION AND CONTRIBUTIONS IN WASTEWATER SLUDGE DEWATERING, 2010) (AZIZ, DIXON, USHER, & SCALES, 2006)



De bovenstaande reacties kunnen resulteren in een pH-gradiënt over de vloeistof. Dit kan resulteren in een remming van het eerder benoemde elektro-osmose principe. Ook kan door de reacties er oxidatie van de (metallische)anode plaats vinden, in het bijzonder indien de te behandelen vloeistof rijk is aan halogenen. Om deze oxidatie zo ver mogelijk te minimaliseren kan gebruik gemaakt worden van met “mixed metal oxide” (MMO) gecoate anodes. Daarnaast kan door de elektrochemische reacties er een productie van waterstof- en zuurstofgas plaats vinden. Om ophoping van deze gasen te voorkomen kan afzuiging van de installatie wenselijk zijn (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010).

LABTESTEN ELEKTRO-ONTWATERING

INLEIDING

Het toepassen van EDW voor het ontwateren van suspensies is succesvol op laboratorium en pilot schaal. Het gaat hierbij onder andere om het ontwateren van turf, klei, fosfaaterts. In de afgelopen jaren zijn er diverse onderzoeken uitgevoerd naar het toepassen van EDW in de agrarische industrie, verfindustrie, farmaceutische-industrie, stabilisatie van (onder) grond en biotechnologie (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010). Naast deze toepassingsmogelijkheden wordt ook onderzoek verricht naar het ontwateren van biologisch slib afkomstig van afvalwaterzuiveringsinstallaties. Op de onderzoeken naar de toepassing van EDW op (biologisch)spuislib wordt in de onderstaande paragrafen ingegaan.

ONTWERP EN OPERATIONELE OVERWEGINGEN

Het toepassen van EDW is in nagenoeg alle gevallen gekoppeld met een (voor)behandeling die gebruik maakt van mechanische ontwateringstechnieken. Het gaat dan om toepassing van een bandfilterpers of een kamerfilterpers. De schakeling van mechanisch ontwateren met EDW is getest op zowel lab-, pilot-, als industriële-schaal (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010). De reden dat EDW nog niet wijdverbreid toegepast wordt, is dat er zich nog een aantal (technische) knelpunten voordoen zoals corrosie van de elektroden (Saveyn, van der Meeren, Pauwels, & Timmerman, 2006) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010). Belangrijke invloed parameters van het EDW ontwateringsproces zijn energie-input, toepassing van gelijk- of wisselstroom, type slib en elektrode-materiaal.

In de literatuur wordt melding gemaakt dat voor het onderzoek naar EDW er verschillende testopstellingen toegepast worden. Het gaat hierbij om een test van EDW zonder aanvullende processen op het slib of EDW processen waarbij een (voor)behandeling met druk of vacuüm wordt toegepast. Door Mahoud et al. is een grote diversiteit aan onderzoeken op de toepassing van EDW op slib op een rij gezet en vergeleken (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010). Uit deze vergelijking volgt:

1. Het toepassen van druk (of vacuüm) en de hoogte daarvan heeft een positief effect op de prestaties van het EDW proces. Zo wordt er meer vloeistof verwijderd bij een hogere druk maar neemt ook het elektrisch contact met het medium toe waardoor de energie efficiëntie toeneemt;
2. Het verhogen van de spanning (of stroomdichtheid) zorgt voor een hoger droge-stofpercentage van het eindproduct en heeft een positief effect op de ontwateringssnelheid;
3. De contacttijd bij het toepassen van EDW is van invloed op de uiteindelijke droge-stofpercentage van de slibkoek.

Om van EDW een economisch rendabele techniek te maken voor het ontwateren van slib is het toepassen van druk (of vacuüm) als voorbehandeling of in de hoofdbehandeling een vereiste (Saveyn, Pauwels, Timmerman, & van der Meeren, 2005) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010) (Lee, et al., 2002) (Barton, Miller, & Veal, 1999). Hierbij moet opgemerkt worden, dat goed geconditioneerd slib een gelijkmatiger en snellere filtratiefase kent. Dit heeft overall een positief effect op het EDW proces en daarmee de behaalde

uiteindelijke droge-stofconcentratie (Saveyn, Pauwels, Timmerman, & van der Meeren, 2005) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010).

Het toepassen van spanning vanaf het begin van de ontwatering (filtratie stap) resulteert niet in een toename van het droge-stof-percentage (Barton, Miller, & Veal, 1999) (Lee, et al., 2002) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment, 2013). Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat het toepassen van spanning moet plaats vinden vanaf de compressiefase van slibindikking (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electro-dewatering of wastewater sludge: Influence of the operating conditions and their interactions effects, 2011).

Het grootschalig toepassen van de EDW techniek is alleen interessant als het energieverbruik voor het drogen van slib significant lager ligt in vergelijking met het thermisch drogen van slib. De benodigde enthalpie voor het verdampen van water bedraagt 0,617 kWh per kilogram water verwijderd. Dit is de minimaal benodigde energiehoeveelheid voor het drogen van slib bij een 100% benutting van de ingebrachte energie. Het rendement van (industriële) drogingsprocessen is nooit gelijk aan 100% in verband met onder andere warmteverliezen. Het op industriële schaal thermisch drogen van slib heeft vaak een energievraag tot circa 1,2 kWh per kilogram water verwijderd (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment, 2013). Met deze waarde dient het energieverbruik van het EDW proces dan ook vergeleken te worden. Het vergelijken van het energieverbruik van het EDW proces en thermisch drogen is vaak lastig. De achterliggende reden is dat bij onderzoeken naar EDW het elektriciteitsverbruik in veel gevallen wordt uitgedrukt in kWh per kilogram droge stof (kWh/kg droge stof) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010)² in plaats van kWh per liter verdampt water.

ENERGIEVERBRUIK

Uit het uitgevoerde literatuuronderzoek blijkt dat het toepassen met MDW (mechanische ontwatering) in combinatie met EDW energetisch gezien voordeliger is voor het ontwateren van slib in vergelijking met thermisch drogen (Gazbar, Abadie, & Colin, 1994) (Saveyn, van der Meeren, Pauwels, & Timmerman, 2006). Zo wordt voor aeroob slib energieconsumpties van 0,12 tot 0,45 kWh per kilogram water verwijderd gerapporteerd (32–64% droge stof). Voor anaeroob vergist slib worden energieconsumpties tussen de 0,14 en 0,55 kWh per kilogram water verwijderd gerapporteerd (32-60 % droge stof) (Olivier, Conrardy, Mahmoud, & Vaxelaire, 2015).

Het economisch rendabel toepassen van het EDW proces dient gecombineerd te worden met een mechanisch indikkingsproces. Dit mechanische proces (MDW) is erop gericht om het meeste vrije water in de filtratie fase van slibindikking te verwijderen. Als dit plaats heeft gevonden volgt de compressie fase waarbij het elektrisch veld van het EDW proces wordt ingeschakeld. In testen conform deze werkwijze, uitgevoerd door Mahmoud et al., zijn verschillende procescondities getest. Het gaat hierbij om onder andere de druk (200 tot 1.200 kPa) en spanning (10 – 50 volt). De ingaande droge stof concentratie van het slib bedroeg

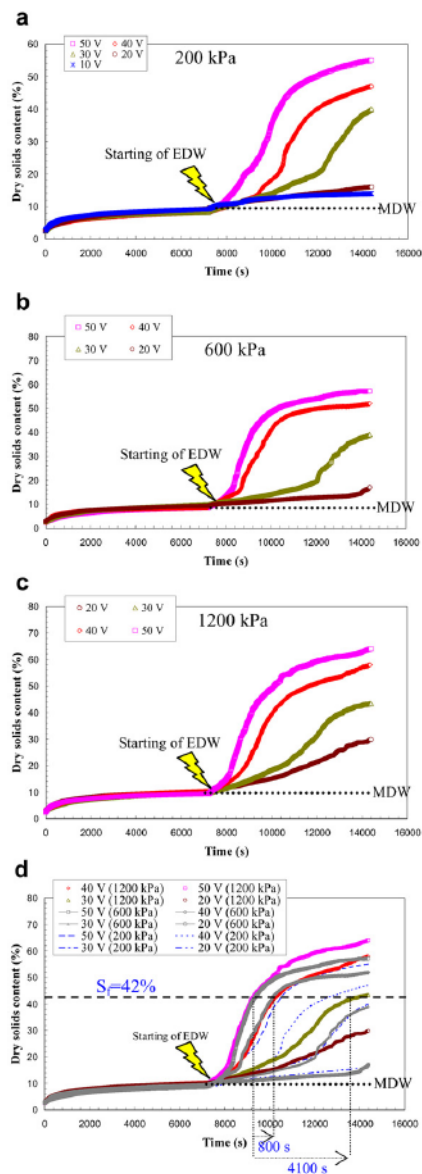
- 2 De redenen voor het hanteren van verschillende eenheden voor het uitdrukken van de energieconsumptie per eenheid ligt waarschijnlijk in het feit dat de stap tussen mechanisch ontwateren en thermisch drogen in ligt. Indien een onderzoeker het EDW proces vergelijkt met slibontwatering is deze geneigd de energieconsumptie te rapporteren in kWh / kg droge stof. Indien een onderzoeker het EDW proces vergelijkt met slibdroging is deze geneigd het energieverbruik te rapporteren in kWh / liter water (verwijderd).

2,8% en de droge stof concentratie na toepassing van de druk en voltage bedroeg tussen de 13 en 56% droge stof.

In navolgend figuur is de uitwerking van de proeven door Mahmoud et al. weergegeven waarin het effect van druk en spanning op de droge-stofconcentratie van het eindproduct (a, b, c en d) van MDW en EDW weergegeven.

FIGUUR

VERSCHILLENDE TESTEN WAARBIJ EERST MECHANISCH (MDW) WORDT ONTWATERD GEVOLGD DOOR EDW. LINKS: A. DROGE STOF PERCENTAGE (%) TEGENOVER TIJD VAN ONTWATERING BIJ EEN DRUK VAN 200 KPA ONDER VERSCHILLENDE VOLTAGES (V). B. DROGE STOF PERCENTAGE (%) TEGENOVER TIJD VAN ONTWATERING BIJ EEN DRUK VAN 600 KPA ONDER VERSCHILLENDE VOLTAGES (V). C. DROGE STOF PERCENTAGE (%) TEGENOVER TIJD VAN ONTWATERING BIJ EEN DRUK VAN 1.200 KPA ONDER VERSCHILLENDE VOLTAGES (V). D. DROGE STOF PERCENTAGE (%) TEGENOVER TIJD VAN ONTWATERING BIJ VERSCHILLENDE DRUKKEN EN VERSCHILLENDE VOLTAGES (V). (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRO-DEWATERING OF WASTEWATER SLUDGE: INFLUENCE OF THE OPERATING CONDITIONS AND THEIR INTERACTIONS EFFECTS, 2011)

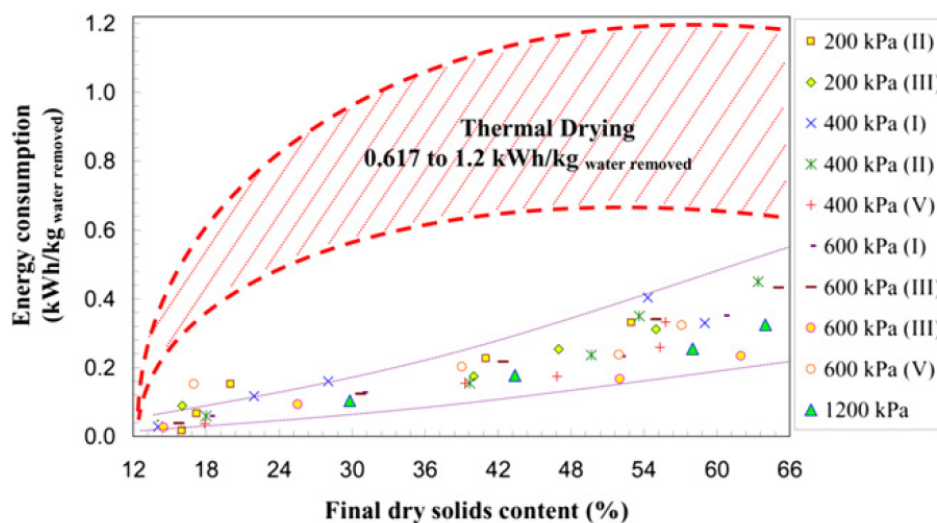


Op basis van bovenstaand figuur (a, b, c, d) kan geconcludeerd worden dat voor het MDW en EDW proces geldt dat het toegepaste voltage een grote invloed heeft op de ontwateringskinetiek en de hoeveelheid verwijderd water. Hoe hoger het toegepaste voltage hoe hoger de droge stof percentage van het eindproduct. Zo is de tijd om een droge stof concentratie van 42% te behalen bij toepassing van 1.200 kPa en 30 Volt 4.100 seconde. Het energieverbruik van het EDW proces bedroeg per kilogram verwijderd water 0,169 kWh. Indien het voltage wordt opgevoerd tot 50 V bedraagt de tijd om een 42% droge stof concentratie te behalen maar 800 seconde met een energieconsumptie van 0,231 kWh per kilogram verwijderd water door toepassing van EDW. Ter vergelijking, het energieverbruik van het EDW voor het verwijderen van één kilogram water bij toepassing van 400 kPa en 600 kPa bij 50 volt bedraagt 0,273 en 0,241 kWh (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electro-dewatering of wastewater sludge: Influence of the operating conditions and their interactions effects, 2011). Dit energiegebruik ligt in alle gevallen lager dan het energieverbruik van thermische processen waarbij het energieverbruik tussen de 0,617 en 1,2 kWh per kilogram water verwijderd bedraagt.

Op hoofdlijnen is het toepassen van EDW (na toepassing van MDW) in staat om tussen de 10 tot 24% extra water uit de slibkoek te verwijderen in vergelijking met processen waarbij alleen MDW wordt toegepast. (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electro-dewatering of wastewater sludge: Influence of the operating conditions and their interactions effects, 2011) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment, 2013) (Saveyn, van der Meeren, Pauwels, & Timmerman, 2006) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010). Zoals eerder vermeld heeft de combinatie van MDW en EDW een positief effect op zowel de te behalen droge-stofconcentratie als het energieverbruik. Waarbij geldt dat een hogere druk en relatief lage spanning een positief effect heeft op de waterverwijdering uit het slib. Niet alleen wordt meer vloeistof verwijderd door de hogere druk, ook lijkt er een beter elektrisch contact met het slib en de anodes te zijn waardoor de energie-efficiënte toeneemt. Echter het effect van een toenemende druk en spanning in EDW voor de verwijdering van water en het energieverbruik is niet lineair (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electro-dewatering of wastewater sludge: Influence of the operating conditions and their interactions effects, 2011) (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment, 2013). In navolgend figuur is de hoeveelheid energieverbruik per kilogram verwijderd water uitgezet tegenover de bereikte droge stof concentratie. Waarbij er verschillende drukken en spanningen zijn toegepast.

FIGUUR

ENERGIEVERBRUIK TIJDENS EDW ALS FUNCTIE VAN DROGE STOF CONCENTRATIE ONDER VERSCHILLENDE PROCESCONDITIES (DRUK 200 – 1.200 KPA EN SPANNING 10 – 50 V) VERGELEKEN MET HET ENERGIEVERBRUIK VAN THERMISCHE DROGING. DE EDW TESTEN (5 EXPERIMENTEN PER SERIE) VOOR DE GEKOZEN OPERATIONELE OMSTANDIGHEDEN (DRUK 200 – 1.200 KPA) EN SPANNING (10 – 50 V) ZIJN 3 TOT 4 KEER HERHAALD (I, II, III, V). DIT IS NIET UITGEVOERD VOOR DE TEST MET 1.200 KPA BIJ EEN SPANNING VAN 10 – 50 V. (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRO-DEWATERING OF WASTEWATER SLUDGE: INFLUENCE OF THE OPERATING CONDITIONS AND THEIR INTERACTIONS EFFECTS, 2011)



Op basis van de in Figuur weergegeven data kan geconcludeerd worden dat het verwijderen van water uit slib tot een droge-stofpercentage van circa 60-70% energetisch gezien voordeliger is in vergelijking met thermisch drogen (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electro-dewatering of wastewater sludge: Influence of the operating conditions and their interactions effects, 2011). Dit wordt ondersteund door overige onderzoeken die een vergelijkbaar beeld weergeven (Mahmoud, Olivier, Vaxelaire, & Hoadley, Electrical field: A historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering, 2010) (Saveyn, van der Meeren, Pauwels, & Timmerman, 2006). Indien de droge-stofpercentage meer dan 60-70% dient te bedragen, worden de verschillen in energieconsumptie tussen EDW en thermisch drogen minder.

In navolgende tabel is een overzicht opgenomen van de in de literatuur vermelde energieverbruiken voor specifiek het EDW proces. Hierbij dient vermeld te worden dat het energieverbruik van het voorafgaande MDW proces niet is opgenomen in het vermelde energieverbruik. Enkel onderzoeken waarin het energieverbruik in kWh per kilogram aanvullend water verwijderd (in het EDW proces) of het energieverbruik in kWh per kilogram totaal water zijn opgenomen.

TABEL OVERZICHT ELECTRO DEWATERING STUDIES IN RELATIE MET ENERGIEVERBRUIK GERELATEERD AAN ZUIVERINGSSLIB (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ELECTRICAL FIELD: A HISTORICAL REVIEW OF ITS APPLICATION AND CONTRIBUTIONS IN WASTEWATER SLUDGE DEWATERING, 2010) (MAHMOUD, OLIVIER, VAXELAIRE, & HOADLEY, ADVANCES IN MECHANICAL DEWATERING OF WASTEWATER SLUDGE TREATMENT, 2013)

Opstelling	Slib-typ	Druk (kPa)	Bedrijfsmodus	Toename in DS door toepassing EDW	Tijdsduur	Energieverbruik
Lab piston cell	1. Anaeroob vergist slib	1. 100 – 600	1. 0 - 20 (V/cm)	1. 3,9 – 7	1. 2 uur (0V) 30 min 20 V/cm	0,06 – 0,2*
	2. Onbekend	2. 400	2. 0 – 15 (v/cm)	2. 4,4 -13	2. 2 uur (0V) 30 min 20 V/cm	
Continue spiraalvormige transportband	Onbekend	50 – 150	30 – 150 A/m ²	6	35 – 40 min	0,1 – 0,4*
			1. 20 V	1. 21,5		1. 0,13*
			2. 50 V (vanaf kPa > 700)	2. 41,5		2. 0,46*
Lab piston cell	Aeroob slib	200 (28 min), 700 (40 min), 1.600 (- min)	3. 20 V (vanaf einde compressie)	3. 19,9	Tot eind experiment	3. 0,14*
			4. 50 V (vanaf einde compressie)	4. 42,2		4. 0,454*
			5. 20 V/cm (bij kPa > 700)	5. 15,1		5. 0,08*
			6. 50 V/cm (bij kPa > 700)	6.27,4		6.0,22*
Filter kamer pers	Aeroob slib	1. 700 (45 min), 1.600 (30 min)	1. n.b.	1. 18,6 – 20,8	1. 45 min 0 V, 30 min n.b. V	1. 0,22 - 0,38*
		2. 700 (45 min), 1.600 (50 min)	2. n.b.	2. 19,7 -33,4	2. 45 min 0 V, 30 min n.b. V	2. 0,31 – 0,36*
			1. 10 V	1. 6,1		1. 0,03 - 0,06*
			2. 20 V	2. 22,0		2. 0,12 – 0,16*
Lab piston cell	Aeroob slib	400	3. 30 V	3. 29,6	120 min (0 V), gevolgd door 120 min met spanning	3. 0,16 – 0,29*
			4. 40 V	4. 42,7		4. 0,26 – 0,40*
			5. 50 V	5. 49,6		5. 0,33 – 0,45*
		1. 25	1.10 – 15 V	1. 2,8 – 3,8	1. 60 min	1. 0,13 – 0,20*
Lab piston cell	“Humic sludge”	2. 25	2. 1 – 2 A	2. 3,3 - 3,7	2. 60 min	2. 0,18 – 0,36*
		3. 50	3. 1 - 2 A	3. 3,8 - 12,4	3. 60 min	3. 0,10 – 0,17*
		4. 75	4. 1 – 2 A	4. 5 – 13,7	4. 60 min	4. 0,08 – 0,16*
Bandindikker	1. Aeroob slib	1. –	1. 20 V	1. 5,5 -5,9	10 min gravitatie indikking gevolgd door 10 min met spanning	1. 0,31 – 0,6**
	2. Anaeroob vergist slib	2. -	2. 20 V	2. 8,1 – 11,3		2. 0,33 -1,22**
			1.10 V	1. 5,4	1. 7 min	1. 0,03 **
Lab piston cell	Primair en secundair slib	6,4	2. 20 V	2. 9,9	2. 3 min	2. 0,07**
			3.30 V	3. 14,0	3. 2 min	3.0,13**
			1. 10 V/cm	1. 14,8	1. 5 min	1. 0,04**
Lab piston cell	Aeroob slib	7	2. 20 V/cm	2. 16,0	2. 5 min	2. 0,06**
			3. 30 V/cm	3. 19,0	3. 5 min	3. 0,08**

* kWh/kg additioneel verwijderd water

** kWh/kg verwijderd water

De voorgaande tabel geeft voor een grote diversiteit aan onderzoeken het elektriciteitsverbruik weer. Het elektriciteitsverbruik varieert van minimaal 0,04 tot circa 0,45 kWh per liter verwijderd water. Het energieverbruik is afhankelijk van onder andere de toegepaste spanning, de gewenste toename in droge stof van de slibkoek en het type te behandelen slib. Bij een eventueel praktijkonderzoek zijn dit dan ook belangrijke onderzoekparameters om de economische haalbaarheid van het EDW-proces te bepalen.

Op basis van eerdere gegevens inzake elektriciteitsverbruik bedraagt de maximale te behalen droge stof concentratie circa 60-70% waarbij het EDW in het voordeel is ten opzichte van thermisch drogen. Bij hogere droge-stofconcentraties nadert de energieconsumptie van het EDW proces die van het thermisch drogen waardoor eventuele investeringskosten mogelijk niet terug verdiend kunnen worden.

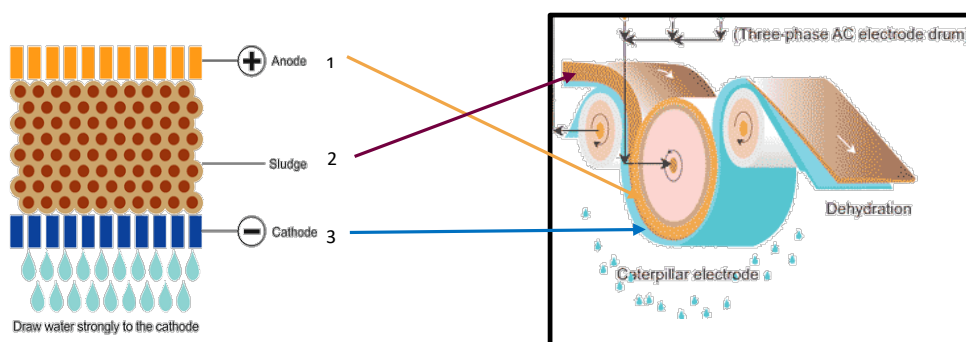
Conform de literatuur zal indien een droge stof concentratie groter dan 60-70% gewenst is het elektriciteitsverbruik richting het energieverbruik van thermisch drogen gaan. Hiermee verliest de combinatie van MDW en EDW zijn energetisch voordeel ten opzichte van thermisch drogen. Het is daarom dan ook aan te raden dat bij een (praktijk)installatie de gewenste droge-stofconcentratie onder de 60-70% blijft vanuit energetisch oogpunt. Hierbij wordt nogmaals benadrukt dat het type slib, voorbehandeling en proces van grote invloed op het energieverbruik kunnen zijn.

PRAKTIJKINSTALLATIES NEO

De NEO installatie werkt als een zeefbandpers in combinatie met EDW, waarin de caterpillar fungeert als kathode en de drum als anode, zie navolgend figuur. Slib wordt naar de NEO getransporteerd waar het via een verdeelsysteem op de band valt. De band wordt vervolgens tussen de drum en de caterpillar geleid waar de EDW plaatsvindt. Het water valt door de band in een bak onder het systeem waar het gravitair weg kan spoelen. Het uitgaande slib wordt van de band geschraapt nadat het verregaand ontwaterd is. De band gaat vervolgens naar een ingebouwd sproeisysteem waar het gespoeld wordt en weer naar het verdeelsysteem draait. Het geheel bevindt zich in een afgesloten systeem met afzuiging om damp en eventuele geur, afhankelijk van het te behandelen slib, af te kunnen voeren.

FIGUUR

WERKINGSPRINCIPE NEO



De installatie is een geautomatiseerd systeem en verbruikt geen chemicaliën. Hierdoor is er weinig beheer nodig. Alle elektrische componenten zijn afgeschermd en geïsoleerd waar nodig. De spanning wordt continu gemeten en het systeem bevat onderdelen om hoogspanning of mogelijke vonkvorming te detecteren.

Na behandeling van slib met de NEO is het mogelijk om het slib verder te drogen doormiddel van de “NVD”. De “NVD” is een ventilatiedroger wie met behulp van luchtaanzuiging het slib verder droogt. Hiermee kan het slib een droge stof gehalte van 60-90% halen.

De leverancier van de NEO installatie heeft een aantal praktijkinstallaties in de periode 2003 tot 2017 gerealiseerd. Deze installatie zijn hoofdzakelijk in Azië gerealiseerd bij de behandeling van slibstromen afkomstig van diverse sectoren waaronder rioolwaterzuiveringen, petrochemische-industrie en de papierindustrie. Alle referenties van full-scale installaties en indien bekend het elektriciteitsverbruik zijn opgenomen in navolgende tabel.

TABEL OVERZICHT FABRIEKSREFERENTIES NEO (ELECTRO DEWATERING (EDW)) IN RELATIE MET ENERGIEVERBRUIK, FULL SCALE INSTALLATIES

Type bedrijf	Type slib	Type installatie	Doorzet slib na MDW (ton/jaar)	Droge stof na MDW	Droge stof na EDW	Toename in DS door toepassing EDW	Droge stof na NVD	Ingedikt slib (ton/jaar)	Energieverbruik EDW (kWh/liter) *	Referentiejaar
Chemische industrie	Lage pH, hoge conductiviteit	MDW + EDW + NVD	10.500	18%	40%	22%	60%	3.150	n.b.	11-2017
Elektronica industrie	Anorganisch en organisch slib	MDW + EDW	21.600	17%	52%	23%	n.v.t.	7.060	n.b.	01-2008
Chemische industrie	Chemisch en biochemisch slib	MDW + EDW	4.860	17%	45%	23%	n.v.t.	1.836	n.b.	09-2007
Rioolwaterzuivering	Anaeroob vergist slib	MDW + EDW	2.688	20%	42%	20%	n.v.t.	1.408	n.b.	08-2010
Cosmetische industrie	Aeroob slib	MDW + EDW	5.760	18%	38%	22%	n.v.t.	2.728	n.b.	12-2004
Automotive industrie	Chemisch slib	MDW + EDW	1.120	18%	40%	22%	n.v.t.	504	n.b.	01-2005
Rioolwaterzuivering	Aeroob slib	MDW + EDW	23.040	20%	45%	20%	n.v.t.	10.240	n.b.	04-2006
Papier industrie	Aeroob slib	MDW + EDW	32.256	25%	45%	15%	n.v.t.	17.920	n.b.	03-2004
Papier industrie	Aeroob slib	MDW + EDW	15.120	22%	42%	18%	n.v.t.	7.920	n.b.	03-2004
Chemische industrie	Chemisch slib	MDW + EDW	1.624	18%	45%	22%	n.v.t.	650	n.b.	06-2003
Petrochemische industrie	Chemisch slib	MDW + EDW	12.288	12%	35%	28%	n.v.t.	4.213	n.b.	02-2005
Chemische industrie	Chemisch slib (hoog organisch)	MDW + EDW	1.050	12%	36%	28%	n.v.t.	348	0,299	11-2013
Chemische industrie	Chemisch slib (hoog organisch)	MDW + EDW	6.000	17%	35%	23%	n.v.t.	2.910	0,27	12-2013
Zwart water	Aeroob organisch slib	MDW + EDW	720	20%	33%	20%	n.v.t.	348	0,58	04-2014

* Energieverbruik is in kWh per liter water aanvullend verwijderd. Vermeld als maximaal energieverbruik tijdens operationele condities.

In voorgaande tabel is voor een drietal full-scale NEO installaties het elektriciteitsverbruik in kWh per liter verwijderd water vermeld. Het vermelde elektriciteitsverbruik ligt tussen de 0,27 en 0,58 kWh per liter verwijderd water. In deze drie NEO installaties bedroeg de gemiddelde droge stof eind concentratie van de geproduceerde slibkoek circa 30–35 %. De absolute toename in het droge stof percentage tussen toepassing van EDW in vergelijking met alleen mechanisch ontwateren (MDW) bedraagt circa 20–28 %. De gegevens laten tevens zien dat het elektriciteitsverbruik voor aerob organisch slib hoger lijkt in vergelijking met slib van chemische oorsprong met een hoog organische stof gehalte. De effecten van de bron van het te behandelen slib lijken daarmee in praktijkinstallaties van invloed zijn op het elektriciteitsverbruik. Dit zal bij een test-opstelling op een rioolwaterzuivering één van de onderzoeksparameters moeten zijn.

Indien de bovenstaande waarden vergeleken worden met de in de literatuur vermelde elektriciteitsverbruikgegevens is het elektriciteitsverbruik van de praktijkinstallatie aan de hoge kant van de in de literatuur vermelde waarden. Echter zijn nog steeds in de praktijkinstallaties van de EDW de elektriciteit verbruiken per liter verwijderd water lager dan de verdampingsenthalpie van water. Dit geeft weer dat het toepassen van EDW voor het bereiken van een droge stof van 35% energetisch gezien voordelig is ten opzichte van thermisch drogen. Er zijn geen praktijkgegevens bekend over het elektriciteitsverbruik van installaties waarbij de droge stof concentratie na behandeling met behulp van het MDW en EDW proces 50% bedraagt. Dit heeft als gevolg dat onbekend is wat het benodigde elektriciteitsverbruik is en of dit concurrerend is met het thermisch drogen van slib tot 50% droge stof. De te behalen droge-stofconcentratie in relatie met het elektriciteitsverbruik na toepassing van EDW is daarmee een belangrijke onderzoeksparameter. Deze onderzoeksparameter kan (eventueel) gecombineerd worden met het effect van de bron van het te behandelen slib.