



Bekerglastest: Chemisch behandelen van urinesteen afzettingen

24 november 2022

Kenmerk R009-1288399RFL-V01-kzo-NL

Verantwoording

Titel	Bekerglastest: Chemisch behandelen van urinesteen afzettingen
Opdrachtgever	STOWA
Projectleider	Paul Telkamp
Auteur(s)	Fleur Rempe
Tweede lezer	Paul Telkamp
Uitvoering meet- en inspectiewerk	Peter Lodder
Projectnummer	1288399
Aantal pagina's	14
Datum	24 november 2022
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Onderzoeksmethode	5
2.1	Materiaal	5
2.1.1	Urinesteen.....	5
2.1.2	Chemische reinigingsmiddelen en concentraties.....	5
2.2	Opzet.....	6
2.3	Metten van afbraak en/of oplossen	6
3	Resultaten en discussie.....	7
3.1	Start van het experiment.....	7
3.2	Dag 1.....	8
3.3	Dag 2.....	10
3.4	Dag 3, 4 en 5.....	11
3.5	Overige discussiepunten.....	12
3.6	Bevindingen in de literatuur.....	13
4	Conclusies en aanbevelingen.....	13
5	Literatuurlijst	14

1 Inleiding

Op basis van de literatuurstudie is gebleken dat urinesteen op twee manieren verwijderd kan worden: mechanisch of chemisch. Mechanisch reinigen met een hogedruk spuit is een effectieve methode om harde urinesteen afzettingen grotendeels in leidingen te verwijderen, blijkt uit praktijktesten in Sneek en de literatuur. Echter, in sommige gevallen kunnen de afzettingen zo ernstig zijn dat de diameter van de leidingdelen zodanig is verkleind dat een hogedruk spuitkop niet meer kan worden ingebracht. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het zorgcomplex van het Waterschoonproject in Sneek, waar bepaalde leidingdelen voor driekwart dichtzitten met afzettingen. Ook in (vervulde) leidingbochten kan hogedrukreiniging minder makkelijk worden toegepast door slechtere toegankelijkheid voor de spoelkop. De verwijderefficiëntie is namelijk het hoogst dichtbij de spoelkop en neemt af verder van de spoelkop. In deze gevallen kan chemisch reinigen door doseren van een zuur mogelijk oplossing bieden. Zuur kan namelijk worden gedoseerd via het toilet of een inspectiepunt en kan zo, bij voldoende dosering en inwerktijd, over de gehele leiding effect hebben.

Chemisch reinigen wordt in de literatuur vaak genoemd als maatregel om zowel preventief als correctief urinesteen te verwijderen in leidingen van vacuümsystemen en urinescheidingsystemen. Uit de literatuurstudie, waarin zowel lab- als praktijkschaal testen zijn uitgevoerd, is echter gebleken dat chemisch reinigen geen eenduidig beeld gaf aangezien tegenstrijdige conclusies worden gepresenteerd. Zo stellen Kvarnström et al. (2006) dat citroenzuur en azijnzuur dosering kunnen worden toegepast om urinesteen afzettingen te verwijderen, terwijl Rohde (2016) zoutzuur adviseert. Ook wordt beperkt gerapporteerd over de effectiviteit van verschillende zuren en concentraties op het verwijderen van urinesteen afzettingen. Daarnaast bleek een commercieel reinigingsproduct, getest op leidingdelen in het Waterschoonproject in Sneek, niet effectief om de afzettingen te verwijderen. Ook is niet duidelijk hoe lang de urinesteen aan het zuur blootgesteld dient te worden voordat de afzettingen beginnen op te lossen en/ of af te breken.

Wegens bovengenoemde kennislücken met betrekking tot chemisch reinigen van met harde urinesteen vervulde leidingen zijn testen uitgevoerd. Het doel van deze testen was om te onderzoeken welk chemisch reinigingsmiddel (zuur of commercieel reinigingsproduct voor kalkafzettingen in het riool) bij welke concentratie het best in staat is om urinesteen afzettingen af te breken en/of op te lossen. Deze testen zijn uitgevoerd met afzettingen afkomstig uit een leidingdeel van het zorgcomplex in Sneek. Het beste product (of producten) kan vervolgens in de praktijk worden getest ter bestrijding van dikke afzettingen of lichtere/dunnere afzettingen.

In Hoofdstuk 2 is de onderzoeksmethode nader toegelicht. Hoofdstuk 3 presenteert de resultaten, inclusief discussie. Hoofdstuk 4 presenteert de conclusies en aanbevelingen.

2 Onderzoeksmethode

2.1 Materiaal

2.1.1 Urinesteen

De urinesteen afzettingen zijn afkomstig uit een stuk gedemonteerde leiding van het zorgcomplex van het Waterschoonproject in Sneek (verkregen op 25 oktober 2022), zie figuur 2.1. Deze zijn met een frees in stukjes van gelijk gewicht (13 ± 1 gram) en gelijke vorm gesneden



Figuur 2.1 Foto van de urinesteen afzettingen uit leidingdeel zorgcomplex

Uit XRD- en XRF-analyses uitgevoerd op een stukje urinesteen afkomstig uit de vacuümriolering in Sneek is gebleken dat struviet (± 80 %) en calciëet (± 20 %) de voornaamste bestanddelen zijn.

2.1.2 Chemische reinigingsmiddelen en concentraties

Verschillende zuren met verschillende concentraties worden in de literatuur benoemd als mogelijke oplossing voor het verwijderen van urinesteen. De zuren en concentraties die het vaakst naar voren kwamen in de literatuurstudie zijn geselecteerd om te onderzoeken welk zuur het best de afzettingen verwijdert. Ook is fosforzuur onderzocht, omdat bekend is dat dit zuur is/wordt toegepast om afzettingen in leidingen bij struvietreactoren bij rwzi's te reinigen.

Daarnaast is ook een aantal commercieel beschikbare reinigingsmiddelen getest:

- Cee-Bee: zuur gel op basis van sulfamidezuur (1-10 %)
- Vacuclean Strong: zuur gel op basis van melkzuur, methaansulfonzuur (5-10 %) en fosforzuur (1-3 %), pH=0,13
- Industriële rioolreiniger: op basis van zwavelzuur

Kenmerk R009-1288399RFL-V01-kzo-NL

In totaal zijn 12 testen opgezet (zie tabel 2.1 voor een overzicht van de geteste zuren en concentraties en potnummer).

Tabel 2.1 Overzicht van de verschillende typen en concentraties zuur of commercieel reinigingsmiddel die zijn getest, inclusief potnummer

Type zuur	Pot nr. + Concentratie 1	Pot nr. + Concentratie 2
Huishoudazijn	1: 8 %	
Azijnzuur	2: 25 %	3: 50 %
Citroenzuur	4: 25 %	5: 50 %
Fosforzuur	6: 25 %	7: 50 %
Zoutzuur	8: 1 %	9: 7 %
Cee-Bee	10: Vaste concentratie	-
Vacuclean Strong	11: Vaste concentratie	-
Industriële rioolreiniger	12: Vaste concentratie	-

2.2 Opzet

In elk glazen potje is een stukje urinesteen afzetting van vergelijkbaar gewicht en vorm geplaatst (figuur 2.2). Vervolgens is elk potje gevuld met 250 ml van één van de bovengenoemde zuren (met verschillende concentraties) of reinigingsproducten (op volgorde van tabel 2.1). Het stukje urinesteen werd volledig ondergedompeld. Het experiment werd uitgevoerd in een zuurkast. Na vier dagen (circa 96 uur) is het experiment beëindigd.



Figuur 2.2 Opzet van het experiment: volgorde van de potten, met daarin een stukje urinesteen

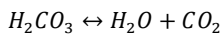
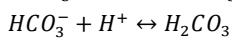
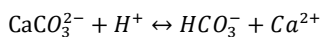
2.3 Meten van afbraak en/of oplossen

De afbraak en/of het oplossen van de urinesteen is gemeten door middel van visuele waarnemingen. Gezien het zuur (in sommige gevallen) de urinesteen afzettingen zacht of broos maakt is besloten om de afzettingen niet tussentijds te wegen, om verstoring van het proces te voorkomen. Op dag 1 is elk uur een foto gemaakt en op dag 2, 3 en 4 zijn 's ochtends en 's middags foto's gemaakt.

3 Resultaten en discussie

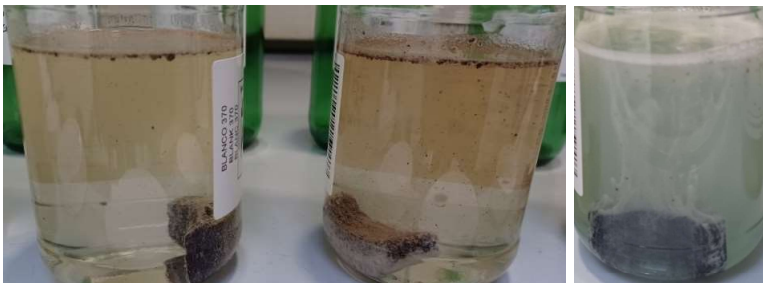
3.1 Start van het experiment

Direct na toevoegen van het zuur begonnen de urinesteen afzettingen in de potten met fosforzuur (beide concentraties), 7 % zoutzuur en Cee-Bee sterk te bruisen (figuur 3.1). Een chemische reactie tussen het zuur en de afzettingen kan de vorming van gasbelletjes verklaren. Zo zal de reactie met calcium aanwezig in urinesteen er als volgt uitzien:



Het gevormde CO_2 veroorzaakt het bruisen.

De twee fosforzuur oplossingen en 7 % zoutzuur oplossing kleurden lichtbruin en er ontstond na 10 minuten een laagje met drijvend urinesteen. Ook in de pot met Cee-Bee was na 10 minuten duidelijk te zien dat er gasbelletjes ontstonden. Doordat dit een gel betreft bewegen de gasbelletjes zich langzaam door het middel naar boven, zoals te zien is aan de witte waas die opstijgt vanaf het stukje urinesteen in figuur 3.1. Er ontstond een dunne schuimlaag op de Cee-Bee en industriële rioolreiniger.



Figuur 3.1 Beelden 10 minuten na opstart proef. Links: Urinesteen in 25 % en 50 % fosforzuur, bubbels op het oppervlak van urinesteen en ontstaan van drijvend laagje afgebrokkeld urinesteen. Rechts: Urinesteen in Cee-Bee, gasbelletjes bewegen langzaam naar boven door de gel

Het blokje urinesteen in 50 % citroenzuuroplossing begon ook direct licht te bruisen. In de potten met 25 % citroenzuur, Vacuclean Strong en 1 % zoutzuur ontstonden weinig gasbelletjes. Na toevoegen van huishoudazijn en azijnzuur (beide concentraties) was geen gasformatie waarneembaar in het eerste kwartier.

Opvallend was dat het stukje urinesteen in de pot met industriële rioolreiniger dreef. Dit bleek met de dichtheid van het middel te maken te hebben, en niet met een eventuele luchtbel in de urinesteen. Doordat het blokje aan het oppervlak dreef was moeilijk waar te nemen of gasbubbels vormden. De bruine verkleuring en de vorming van een dun schuimlaagje toonden echter aan dat er afbraak plaatsvond in het eerste kwartier.

Kenmerk

R009-1288399RFL-V01-kzo-NL

3.2 Dag 1

De afbraak en/of het oplossen van de urinesteen afzettingen in de verschillende zuren is de eerste zeven uur gevolgd door elk uur een foto te nemen. Deze resultaten zijn gepresenteerd in figuur 3.2.



Figuur 3.2 Verloop van afbraak en/of oplossen van urinesteen op dag 1

Uit de geringe kleurverandering in de potten met huishoudazijn en 25 % en 50 % azijnzuur (pot 1-3) blijkt dat de urinesteen afzettingen nauwelijks worden opgelost/afgebroken door deze zuren. Er zweefden na circa vier uur enkele afgebroken stukjes urinesteen in de oplossingen en over tijd kleurde de zuren lichtbruin, met name op de bodem van de potjes. Ook 25 % en 50 % citroenzuur (pot 4 en 5) bleken in de eerste zeven uur niet effectief om urinesteen af te breken of op te lossen. Net als in pot 1-3 kleurden de zuren na circa anderhalf uur lichtbruin, met name op de bodem. Er dreven losgekomen stukjes urinesteen door het zuur en aan het oppervlak, meer dan in pot 1-3. Ook was lichte schuimvorming aan het oppervlak waarneembaar, wat wijst op vrijkomen van gas door chemische reacties tussen urinesteen en zuur. Om deze redenen lijkt citroenzuur effectiever dan huishoudazijn en azijnzuur.

De 25 % en 50 % fosforzuur oplossingen (pot 6 en 7) werden bruinkleuriger over tijd direct na toevoegen van het zuur aan urinesteen. Er vormde direct een drijvend laagje afgebroken urinesteen, dat over tijd verdween (mogelijk door oplossen, bezinken of een combinatie van de twee). Ook ontstond in beide vormde na een kwartier een dun schuimlaagje aan het zuuroppervlak door de chemische reacties tussen urinesteen en zuur. Op de foto's is te zien dat het zuur al na anderhalf uur het oppervlak van de afzettingen zodanig heeft aangetast dat een zachte vlokkerige structuur ontstond, zoals goed te zien is in figuur 3.3. Deze waarnemingen wijzen op snelle en effectieve afbraak van de urinesteen afzettingen in fosforzuur.

Opvallend is dat in de 25 % oplossing na anderhalf uur een laagje afgebroken vlokachtige urinesteen ontstond op de bodem van het potje en de bruine kleur nauwelijks donkerder werd (relatief weinig lost op); terwijl een dergelijk laagje afgebroken urinesteen niet ontstond in de 50 % oplossing en de toenemende donkere kleur erop wees dat urinesteen voornamelijk werd opgelost. Na vier uur (25 % fosforzuur) en vijf uur (50 % fosforzuur) begon de urinesteen te drijven.



Figuur 3.3 Verandering van de structuur van urinesteen in 25 % fosforzuur. Links: Urinesteen direct na toevoegen zuur; rechts: Urinesteen na vier uur

Er was een groot verschil te zien in afbraakefficiëntie van urinesteen bij 1 % en 7 % zoutzuur (pot 8 en 9). Uit de geringe kleurverandering en slechts weinig stukjes afzetting die in de oplossing zweven en op het oppervlak drijven blijkt dat 1 % zoutzuur slechts weinig urinesteen oplost en afbreekt. 7 % zoutzuur daarentegen, breekt de urinesteen afzetting snel en effectief af. Er ontstaat vrijwel direct een drijvend laagje met afgebroken afzettingen, die alleen maar dikker wordt over

tijd. Net als bij fosforzuur kreeg de urinesteen een vlokkerige structuur na circa anderhalf uur. De 7 % zoutzuur oplossing brak de urinesteen afzetting af in een soort vlokken die bleven zweven en niet verder oplossen, gezien het zuur relatief helder bleef en niet donkerder kleurde over tijd.

Voor Cee-Bee en Vacuclean is lastig te beoordelen of en hoe snel deze producten de urinesteen afzettingen afbraken vanwege de kleur van de zure gels (pot 10 en 11). De lichte verkleuring, zwevende stukjes afzettingen en vorming van een schuimlaagje over tijd wijzen op een chemische reactie tussen urinesteen en Cee-Bee. In de pot met Vacuclean Strong vormde geen schuimlaag en was verkleuring niet zichtbaar.

Het industriële reinigingsmiddel reageerde direct met de urinesteen, wat bleek uit het afbrokkelen van kleine stukjes afzetting, verkleuring en vorming van een schuimlaagje. Na een half uur was het reinigingsmiddel al volledig bruinekleurd. Deze verkleuring en slechts weinig waarneembare aanwezigheid van afgebroken stukjes afzetting indiceren dat urinesteen voornamelijk werd opgelost door de industriële rioolreiniger.

3.3 Dag 2

Na 20 uur inwerktijd waren de urinesteen afzettingen in 25 % en 50 % fosforzuur (pot 6 en 7) en in 7 % zoutzuur (pot 9) volledig afgebroken en/of opgelost (figuur 3.4). In pot 6 en 9 zweefden vlokken in het zuur, terwijl de urinesteen in pot 7 voornamelijk was opgelost.

De urinesteen afzettingen in huishoudazijn, 25 % en 50 % azijnzuur, 25 % en 50 % citroenzuur en 1 % zoutzuur (pot 1-5 en pot 8) toonden nauwelijks verandering ten opzichte van de situatie om 17:00 uur op dag 1. Door de kleur van Cee-Bee, Vacuclean Strong en de industriële rioolreiniger is het niet mogelijk om te bepalen of de afzettingen in deze zure reinigingsmiddelen verder zijn afgebroken over de nacht van dag 1 en dag 2.



Figuur 3.4 Situaties op dag 2 om 6:15 uur

Om 13 uur zijn alle potten kort handmatig geroerd. Hierdoor vielen de urinesteen afzettingen in Cee-Bee en Vacuclean Strong grotendeels uit elkaar. Blijkbaar resulteert 27 uur blootstelling aan deze reinigingsmiddelen in het verzachten van de harde urinesteen afzettingen, waardoor ze vervolgens gemakkelijk uit elkaar vallen in gruis en vaste stukjes. Mogelijk hebben Cee-Bee en Vacuclean Strong al bij kortere contacttijd een week-makend effect, maar dit is niet nader onderzocht. De urinesteen afzettingen in 25 % en 50 % citroenzuur en in de industriële rioolreiniger vielen iets uit elkaar door het roeren. Afzettingen in huishoudazijn, 25 % en 50 % azijnzuur en 1 % zoutzuur vielen niet tot nauwelijks uit elkaar door het roeren. Deze zuren en

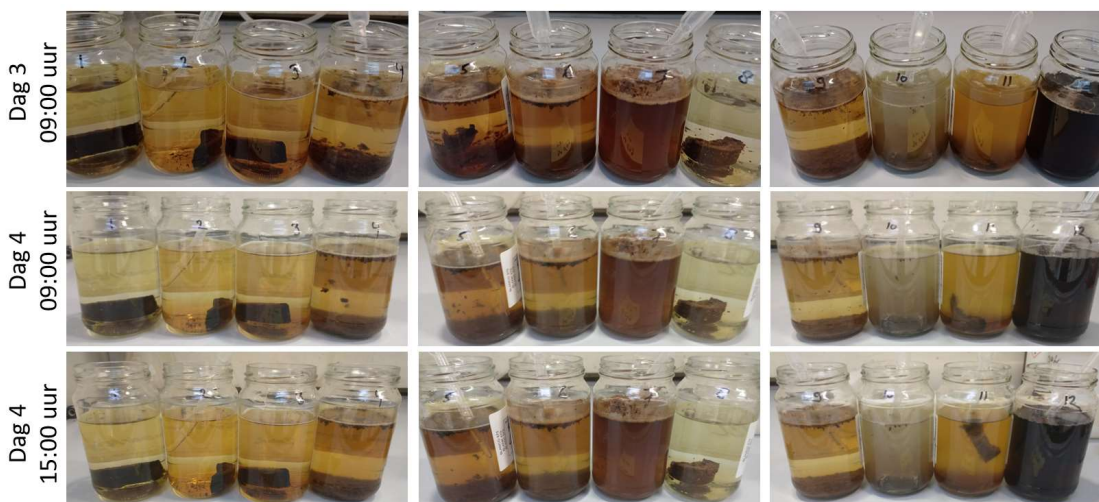
concentraties bleken slecht in staat om urinesteen af te breken en op te lossen na 27 uur. De situatie anderhalf uur na het roeren (om 14:30 uur) wordt weergegeven in figuur 3.5.



Figuur 3.5 Situaties op dag 2 om 14:30 uur

3.4 Dag 3, 4 en 5

Geen tot weinig verandering was zichtbaar op dag 3 en 4 ten opzichte van dag 2 na het roeren (figuur 3.6).



Figuur 3.6 Situaties op dag 3 en dag 4 om 09:00 uur

Op dag 5, na circa 96 uur, is het experiment gestopt. Tabel 3.1 geeft een omschrijving van de staat van de urinesteen afzettingen in de verschillende zuren na beëindigen van het experiment. Huishoudazijn, 25 % en 50 % azijnzuur en 1 % zoutzuur waren niet effectief om urinesteen af te breken en/of op te lossen, gezien de afzettingen nog grotendeels intact waren na circa 96 uur. Opvallend is dat ook de urinesteen afzetting in de industriële rioolreiniger nauwelijks werd aangetast, wat niet werd verwacht op basis van de snelle kleurverandering en vorming van een dun schuimlaagje vanaf het eerste kwartier. De urinesteen afzettingen in 25 % fosforzuur en Cee-Bee waren volledig uit elkaar gevallen en gedeeltelijk opgelost. Een paar vaste stukjes bleven achter, waardoor afbraak door deze middelen als 'matig' wordt beoordeeld. Vacuclean Strong bleek voldoende effectief om de urinesteen afzetting binnen 96 uur af te breken in gruis en een luchtig restant. 25 % en 50 % citroenzuur, 50 % fosforzuur en 7 % zoutzuur waren zeer effectief na circa 96 uur en enkel een luchtig slibachtig (vlokkerig) restant bleef achter. Opvallend is dat na 27 uur de afzettingen in citroenzuur slechts deels uit elkaar vielen bij roeren, terwijl de afzettingen

Kenmerk R009-1288399RFL-V01-kzo-NL

in 50 % fosforzuur en 7 % zoutzuur geheel uit elkaar vielen na roeren. Blijkbaar heeft citroenzuur een lagere reactiesnelheid en werden de urinesteen afzettingen na 27 verder afgebroken en/of opgelost.

Tabel 3.1 Omschrijving en beoordeling van de urinesteen afzettingen na circa 96 uur

Type zuur	Urinesteen afzetting aan eind van test	Beoordeling na 96 uur
8 % Huishoudazijn	Zo goed als intact	Slecht
25 % Azijnzuur	Zo goed als intact	Slecht
50 % Azijnzuur	Zo goed als intact	Slecht
25 % Citroenzuur	luchtig restant (slibachtig)	Goed
50 % Citroenzuur	luchtig restant (slibachtig)	Goed
25 % Fosforzuur	Nog een paar vaste stukjes	Matig
50 % Fosforzuur	luchtig restant (slibachtig)	Goed
1 % Zoutzuur	Zo goed als intact	Slecht
7 % Zoutzuur	luchtig restant (slibachtig)	Goed
Cee-Bee	Nog gruis en vaste stukjes	Matig
Vacuclean Strong	Beetje gruis en luchtig restant	Voldoende
Industriële rioolreiniger	Zo goed als intact	Slecht

3.5 Overige discussiepunten

Bij de bekerglastesten is een stukje urinesteen afzetting volledig ondergedompeld in een type zuur. Dit is een meest ideale omstandigheid, mede omdat het zuur rondom kan inwerken op het stukje urinesteenafzetting. Dit is een situatie die in de praktijk niet zal en kan worden bereikt bij een (werkend) vacuümtoiletsysteem. In de praktijk is het lastig om een vacuümsysteem voor langere tijd stil te leggen om optimale blootstelling van urinesteen aan het zuur te creëren en dan zal het zuur ook niet rondom op het afzettingsmateriaal kunnen inwerken maar enkel op de gevormde afzettingslaag in de leiding. Om deze redenen is de verwachting dat de geconstateerde afbraak-/oplostijden bij de bekerglastesten in de praktijk langer zullen zijn.

Het automatisch doseren van een zuur op de leidingen periodiek over de dag is een mogelijkheid om gevormde afzettingen in de leidingen op te lossen/af te breken. Vooralsnog is niet bekend hoeveel zuur dan zou moeten worden gedoseerd. Tevens dient rekening te worden gehouden met het bufferend vermogen van het geconcentreerde toiletwater. Het zal in praktijk of met vervolg laboratoriumtesten nader moeten worden onderzocht wat de invloed van doorspoelen van het toilet en aanwezigheid van spoelwater is op de effectiviteit van het zuur om harde urinesteen af te breken of te voorkomen.

Verder dient bij het doseren van een type zuur rekening te worden gehouden dat dit niet de leidingverbindingen beschadigt (denk aan de PVC-lijmverbindingen) en de werking van eventuele nageschakelde behandelingstechnieken (zoals toegepast in Sneek).

3.6 Bevindingen in de literatuur

In dit experiment bleken citroenzuur en azijnzuur niet in staat om urinesteen afzettingen af te breken binnen 1 dag. In de literatuur worden soortgelijke conclusies gerapporteerd, zoals Oldenburg et al. (2008) en Rohde (2016). Zij hebben een soortgelijk onderzoek uitgevoerd naar de afbraakefficiëntie van verschillende commerciële reinigingsmiddelen, citroenzuur, azijnzuur en zoutzuur. Er werd geconcludeerd dat de inwerktijd die benodigd is voor de commerciële reinigingsmiddelen, citroenzuur en azijnzuur om voldoende urinesteen af te breken niet realistisch is voor toepassing in de praktijk. Daarnaast werd geadviseerd om zoutzuur te doseren met een inwerktijd van 1 tot 2 uur. Dit komt overeen met onze bevindingen, gezien na anderhalf uur de structuur van urinesteen zodanig was aangetast dat de urinesteen vlokkelig uit elkaar viel. Ook Lienert & Larsen (2007) rapporteerden effectieve verwijdering van urinesteen afzettingen in urinescheidingstoiletten met 7 % zoutzuur.

12 uur spoelen van de vacuümleidingen in een passagiersschip met 30 % fosforzuur bleek echter niet effectief, terwijl uit onze resultaten blijkt dat 25 % en 50 % fosforzuur goed in staat zijn om urinesteen volledig af te breken na 7 uur.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek zijn verschillende zuren, zowel aangedragen in de literatuur als vanuit vacuümtoilet leveranciers, getest op hun effectiviteit om urinesteen afzettingen af te breken en/of op te lossen. 25 % en 50 % fosforzuur en 7 % zoutzuur zijn in staat om urinesteen afzettingen effectief en snel af te breken. Deze zuren tasten binnen anderhalf uur de structuur van urinesteen aan waardoor deze een vlokkerige structuur krijgt en vervolgens uit elkaar valt of oplost. Na 7 uur zijn de urinesteen afzettingen grotendeels verdwenen. Alleen in 25 % fosforzuur bleven na circa 96 uur nog wat vaste stukjes over, terwijl in de andere twee zuren slechts een luchtig slibachtige substantie achterbleef. Ook 25 % en 50 % citroenzuur zijn in staat om urinesteen grotendeels af te breken en om te zetten in een slibachtig luchtig restant binnen 96 uur. De reactiesnelheid is echter laag, gezien na 27 uur inwerktijd de urinesteen afzettingen slechts een beetje uit elkaar vielen bij roeren. Cee-Bee en Vacuclean Strong tonen matig tot voldoende effectieve afbraak. Deze zuren verzachten de harde afzettingen, waardoor deze na 27 uur behoorlijk uit elkaar vallen in gruis tijdens het roeren. Huishoudazijn, 25 % en 50 % azijnzuur en 1 % zoutzuur en de industriële rioolreiniger zijn niet effectief om urinesteen afzettingen af te breken of op te lossen binnen 4 dagen.

Er konden verschillende verwijderprocessen worden waargenomen. Sommige zuren, waaronder 7 % zoutzuur, tastten de structuur van de afzettingen aan waardoor deze uiteen vielen in vlokken. 50 % fosforzuur, daarentegen, loste de afzettingen voornamelijk op wat resulteerde in een donkerbruine kleur. De zure gels maken de urinesteen afzettingen zacht, waardoor deze bij roeren (en wellicht het doorspoelen van het vacuümtoilet) gedeeltelijk uit elkaar vallen en gruis vormen. In dit laatste geval resteert de vraag welke blootstellingstijd benodigd is om de afzettingen voldoende te verzachten.

Gezien de hoge reactiesnelheid en effectieve afbraak van urinesteen in 50 % fosforzuur en 7 % zoutzuur wordt aangeraden een van deze zuren toe te passen voor preventief en correctief reinigen van vacuümriolering. Continue dosering, of een inwerktijd van minstens anderhalf uur wordt geadviseerd. De invloed van het doorspoelen van het toilet en aanwezigheid van spoelwater in de leidingen en bufferend vermogen van het water zal nader moeten worden onderzocht, evenals het effect van zuur op de materialen in de leidingen. Specifiek 7 % zoutzuur is veelbelovend, gezien de lage concentratie zuur en kosten. Daarnaast wordt ook geen extra fosfor in het systeem gebracht.

5 Literatuurlijst

- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., af Petersens, E., Schönning, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P., Drangert J.-O. (2006). *Urine Diversion - One Step Towards Sustainable Sanitation*. Report 2006-1, EcoSanRes Programme, Stockholm Environment Institute, Stockholm, Sweden.
- Lienert, J., & Larsen, T. A. (2007). Pilot projects in bathrooms: a new challenge for wastewater professionals. *Water Practice and Technology*, 2(3).
- Oldenburg, M., Albold, A., Wendland, C., & Otterpohl R. (2008). Erfahrungen aus dem Betrieb eines neuen Sanitärsystems über einen Zeitraum von acht Jahren. KA Korrespondenz Abwasser, *Abfall* 55(10), 1100–1105.
- Rohde, R. (2016). *Untersuchungen zur Feststoffbildung in Unterdrucksystemen für den Schwarzwassertransport*. German. Rhombos-Verlag.