A network diagram consisting of various sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles vary in size and are scattered across the page, with some larger circles acting as hubs for smaller ones.

KWR 2022.019 | februari 2022

Reiniging transportleiding WKO-systeem UZ Leuven door middel van Ice-Pigging

Rapportage voor TKI-project Ondergronds
Ontijzeren bij WKO bodemenergiesystemen

TKI-samenwerkingspartners



Colofon

Reiniging transportleiding WKO-systeem UZ Leuven door middel van Ice-Pigging

Rapportage voor TKI-project Ondergronds Ontijzeren bij WKO bodemenergiesystemen

KWR 2022.019 | Februari 2022

Opdrachtnummer

402868

Projectmanager

Ir. Jan Willem Kooiman

Opdrachtgever

TKI-watertechnologie

Auteur

Dr. Bas van der Grift

Kwaliteitsborger

Dr. Niels Hartog

Verantwoording

Deze activiteit is gefinancierd door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) en uit bijdrages van UZ Leuven, Haitjema grondboorbedrijf, ENGIE Solutions en Flierman techniek.

Keywords

WKO bodemenergiesystemen, Ice-Pigging, ondergronds ontijzeren

Jaar van publicatie
2022

Meer informatie
dr. B. van der Grift
T +31 30 606 9519
E Bas.van.der.Grift@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Februari 2022 ©

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

Samenvatting

Het WKO-systeem van UZ Leuven is in 2014 aangelegd en heeft nooit goed gefunctioneerd. Na onderzoek is gebleken dat door gelijktijdige onttrekking van ijzer en zuurstof/nitraat houdend water uit de koude bronnen er ijzerneerslagen ontstonden in de 800 meter lange transportleiding tussen de koude en warme bronnen (backbone). Hierdoor zijn de warme infiltratiebronnen verstopt geraakt. In het TKI-project Ondergronds Ontijzeren bij WKO bodemenergiesystemen is onderzocht of het mogelijk is om tot een duurzame oplossing voor dit niet functionerende WKO-systeem te komen.

Voor de revitalisering van het WKO-systeem moesten meerdere ingrepen plaatsvinden. Allereerst moesten de bronnen worden aangepakt: er mocht geen ijzerhoudend water meer uit de koude bronnen worden onttrokken. En vervolgens moesten de verstopte warme bronnen en de transportleiding (backbone) worden schoongemaakt. Het voorkomen van onttrekking van ijzerhoudend water door de koude bronnen is onderzocht in een pilot proef Ondergronds Ontijzeren. Deze proef heeft aangetoond dat het mogelijk is om ijzerloos grondwater te produceren waarmee een duurzaam WKO-systeem kan worden gerealiseerd.

Het schoonmaken van de backbone was een volgende uitdaging. Tijdens uitvoer van de pilot proef bleek de backbone dermate verontreinigd te zijn dat deze met het spuien van water alleen niet voldoende schoon werd. Nadat de verschillende mogelijkheden voor reiniging van de backbone zijn verkend hebben de TKI-partijen besloten om de backbone te reinigen door middel van Ice-Pigging. Dit is een innovatieve reinigingstechniek waarbij een ijsslurry door een buis wordt gepompt en hiermee sediment en andere ongewenste afzettingen verwijdert.

Door middel van Ice-Pigging is naar schatting ongeveer 130 kg sediment uit de backbone verwijderd. On-site troebelheid en MFI-metingen tijdens spuien van de leiding met schoon water na uitvoeren van de Ice-Pigging lieten zien dat het water schoon blijft. Ice-Pigging is dus een geschikte methode om dit soort complexe leidingnetwerken te reinigen.

Op basis van de bevindingen van dit onderzoek wordt aanbevolen om een definitieve installatie voor Ondergrondse Ontijzering aan te leggen en de waterkwaliteit dan te analyseren voordat tot infiltratie wordt overgegaan.

Inhoud

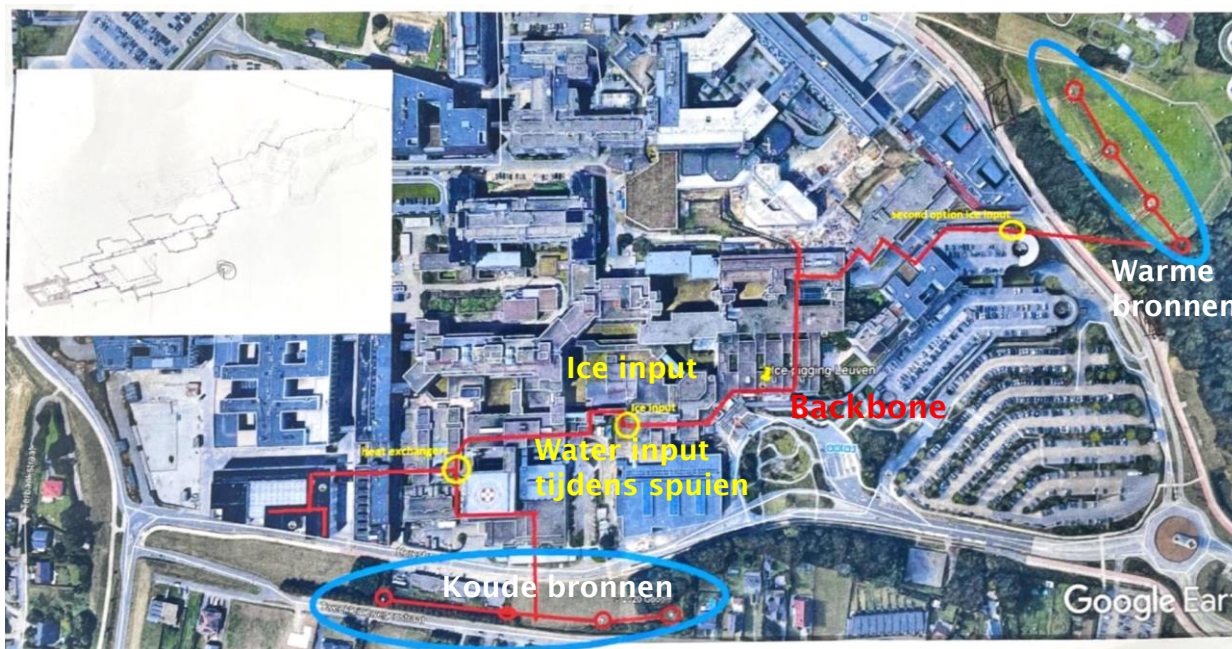
Colofon	2
Samenvatting	3
Inhoud	4
1 Inleiding	6
2 Werkwijze	8
3 Resultaten	10
4 Conclusies en aanbeveling	13
5 Referenties	14
I Ice-Pigging rapportage SUEZ	15

1 Inleiding

Het WKO-systeem van UZ Leuven is in 2014 aangelegd en heeft nooit goed gefunctioneerd. Na onderzoek is gebleken dat door gelijktijdige onttrekking van ijzer en zuurstof/nitrat houdend water uit de koude bronnen er ijzerneslagen ontstonden in de 800 meter lange transportleiding tussen de koude en warme bronnen (backbone). Hierdoor zijn de warme infiltratiebronnen verstopt geraakt. In het TKI-project Ondergronds Ontijzeren bij WKO bodemenergiesystemen is onderzocht of het mogelijk is om tot een duurzame oplossing voor dit niet functionerende WKO-systeem te komen.

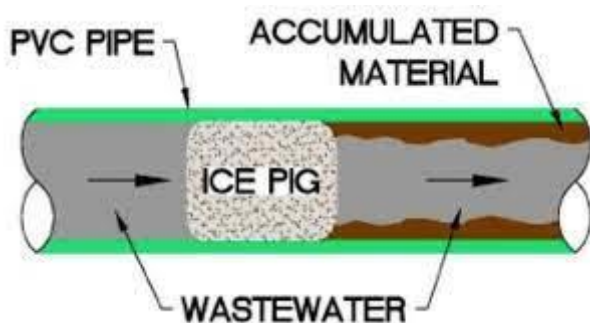
Voor de revitalisering van het WKO-systeem moesten drie ingrepen plaatsvinden. Allereerst moesten de bronnen worden aangepakt: er mocht geen ijzerhoudend water meer uit de koude bronnen worden onttrokken. En vervolgens moesten de verstopte warme bronnen en de transportleiding worden schoongemaakt. Het voorkomen van onttrekking van ijzerhoudend water door de koude bronnen is onderzocht in een pilot proef Ondergronds Ontijzeren. Deze proef heeft goede resultaten opgeleverd (Van der Grift et al., 2021). Er is aangetoond dat het mogelijk is om ijzerloos grondwater te produceren waarmee een duurzaam WKO-systeem kan worden gerealiseerd.

Het schoonmaken van de backbone was een volgende uitdaging. Tijdens uitvoer van de pilot proef bleek de backbone dermate verontreinigd te zijn dat deze met het spuien van water alleen niet voldoende schoon werd. Daarom moest er een ander schoonmaakmethode worden ingezet. De 800 meter lange transportleiding loopt door de kelders van het gebouwencomplex van de UZ Leuven en bevat een groot aantal (haakse) bochten (Figuur 1). Het is doordoor een complex leidingnetwerk om schoon te maken. Conventionele reinigingstechnieken voor leidingen zoals proppen zijn daardoor moeilijk uit te voeren. Chemische reinigingen met sterke zuren kunnen de ijzerhydroxide neerslagen wel oplossen maar door het grote volume van de backbone zou dit betekenen dat er erg veel chemicaliën gebruikt moeten worden. Vanuit milieukundig oogpunt is dit uiteraard onwenselijk.



Figuur 1. Overzicht van koude bronnen, warme bronnen en leidingnetwerk van het WKO-systeem van UZ Leuven

Nadat de verschillende mogelijkheden voor reiniging van de backbone zijn verkend hebben de TKI-partijen besloten om de backbone te reinigen door middel van Ice-Pigging (Figuur 2). Dit is een reinigingstechniek waarbij een ijsslurry prop door een buis wordt gepompt en hiermee sediment en andere ongewenste afzettingen verwijderd (Quarini, et al., 2010). Deze techniek heeft voordelen ten opzichte van conventionele reinigingstechnieken voor leidingen zoals spuien onder hoge debieten, proppen met een schuimrubberen prop en chemische reiniging omdat het minder water en chemicaliën verbruikt. De ijsslurry prop wordt onder een laag debiet door de leiding geduwd en na passage van de leiding smelt het ijs en kan het water gewoon op het riool worden geloosd. Het voordeel ten opzichte van een 'normale' prop die uit een schuimrubberen cilinder bestaat is dat een ijs prop veel minder last heeft van 1) de lasnaden in de pvc leiding (zogenaamde rills) 2) de bochten in de leiding en 3) de overgangen tussen leidingen met een verschillende diameter. Deze innovatieve methode is relatief nieuw en nog niet eerder toegepast voor reiniging van een WKO-systeem. In Nederland en Vlaanderen is er tot op heden nog betrekkelijk weinig ervaring met Ice-Pigging.



Figuur 2. Concept van Ice-Pigging.

Dit rapport beschrijft de werkwijze en resultaten van de Ice-Pigging van de backbone van de UZ Leuven. De Ice-Pigging is binnen het TKI-project uitgevoerd om een duurzame oplossing te vinden voor WKO-systemen die last hebben van verstopping ijzernerslagen.

2 Werkwijze

De firma SUEZ Smart & Environmental Solutions uit Bristol (UK) heeft in de periode van 24 november tot 1 december 2021 de Ice-Pigging uitgevoerd. Hiervoor zijn 7 runs gedaan waarbij steeds een deel van het leidingnetwerk werd schoongemaakt. Run 1 t/m 4 op dag 1 en run 5 t/m 7 op dag 2. In totaal is er 43 m³ aan ijs verbruikt en 205 m³ water.

Tijdens elke run zijn monsters verzameld van de ijsslurry prop die leiding verlaat en zijn er door SUEZ metingen van de troebelheid (als NTU) gedaan (nadat het ijs was gesmolten). Op basis van deze troebelheidsmetingen en het debiet is de massa aan verwijderd sediment bepaald. Voor elk monster wordt aangenomen dat het debiet en de sedimentconcentraties constant blijven gedurende de bemonsteringsperiode. De totale sedimentmassa wordt geschat door de sedimentconcentratie en het watervolume in elke bemonsteringsperiode te vermenigvuldigen.

Na afloop van de Ice-Pigging heeft KWR op 2 december 2021 metingen uitgevoerd om het resultaat te beoordelen. Hiervoor is de backbone opnieuw gespuid maar dan met schoon leidingwater uit een tankwagen. Hiervoor is ongeveer vanuit het midden van de backbone eerst water richting de koude bronnen gespuid en in een volgende run vanuit hetzelfde punt richting de warme bronnen. Het water dat bij de koude bronnen en warme bronnen uit de backbone stroomt is op het riool geloosd. Tijdens het spuien is continue de troebelheid (als NTU) van het water dat uit de backbone stroomt gemeten tevens zijn er twee tot drie steekmonsters genomen om de MFI (Modified Fouling Index) (Figuur 3). Deze metingen zijn ook uitgevoerd op het water dat vanuit de tankwagen de backbone ingaat. Dit is wel in een aparte sessie gedaan omdat niet gelijktijdig het influent en effluent water uit de backbone kon worden gemeten.

Troebelheid en MFI zijn parameter die inzicht geven in het risico op putverstopping bij infiltratie. Oorspronkelijk is de MFI ontworpen om de verstoppingspotentie van omgekeerde osmose membraamfilters te meten. Voor bepaling van de MFI waarde wordt een aantal volume eenheden water onder constant druk door een 0.45 µm membraamfilter geperst. Door verstopping van het filters zal het steeds langer duren voordat het de volume eenheid door het filter is geperst. Door deze tijd te meten kan de MFI worden berekend. In principe is er een lineaire relatie tussen de MFI en concentratie van colloïden en zwevende stof in een watermonster.



Figuur 3. Impressie on-site metingen (foto's S. Bottelbergs).

Er bestaan geen harde grenswaardes voor de troebelheid van water met het oog op putverstopping bij infiltratieputten. In principe geldt: hoe lager hoe beter. Een NTU waarde van 1 wordt vaak als grenswaarde gebruikt waaronder langdurig veilig kan worden geïnfiltreerd Tabel 1. De wettelijke norm voor drinkwater is 4 NTU. Goed drinkwater heeft een troebelheid van ongeveer 0,5 NTU. In de meeste gevallen is de MFI van grondwater dat onttrokken wordt aan goed schoon gepompte bronnen lager dan 2. Ter vergelijking: voor oppervlaktewater worden MFI-waarden van circa 1.000 s/L² gevonden. In de literatuur worden iets verschillende grenswaardes voor MFI aangehouden Van Beek et al., (2000) gaat uit van waarde lager dan 3 terwijl Paalman en Zuurbier een waarde tussen 3 en 5 geven.

Tabel 1. Indicatieve grenswaarde voor infiltratiewater om putverstopping te voorkomen (Paalman and Zuurbier 2019).

parameter	grenswaarde
Zwevende stof	< 0.1 mg/L
Troebelheid	< 1 NTU
Disselend Organic Carbon (DOC)	< 2 mg/L
IJzer	< 0.01 mg/L
Assimilable Organic Carbon (AOC)	< 10 µg acetate-C/L
Modified Fouling Index (MFI)	< 3-5 s/L ²

3 Resultaten

Tabel 2 vat de resultaten samen van de Ice-Pigging zoals door SUEZ gerapporteerd (zie bijlage 1). Er is in totaal 130 kg sediment uit de backbone verwijderd. Figuur 4 toont de serie aan monsters van de gesmolten ijsslurry genomen tijdens run 3 (reiniging vanuit midden backbone tot warme bronnen). De kleurverandering van roodbruin naar vrijwel kleurloos laat duidelijk zien dat er ijzerhydroxides uit de leiding verwijderd worden tijdens de Ice-Pigging. Wanneer we ervan uitgaan van een Fe gehalte in het sediment van 21% (gemeten in de ijzerneerslagen tijdens de OO pilot) en een ijzerconcentratie in het onttrokken grondwater van 1 mg/L staat deze 130 kg gelijk aan bijna 28.000 m³ grondwater.

Tabel 2. Resultaten Ice-Pigging.

Run	ijs input	ijs output	Duur run (minuten)	Volume water (m ³)	Volume ijs (m ³)	Verwijderde sedimentmassa (kg)
1	bron W7	bron W9	10	4	2.8	5.9
2	bron W8	bron W10	15	4	2.8	11.2
3	inkoppeling fase V	bron W10	91	50	10	34.9
4	inkoppeling fase V	bron K4	60	26	7	19
5	inkoppeling fase V	inkoppeling fase V	61	41	10	26
6	inkoppeling fase V	inkoppeling fase V	64	40	5	20.2
7	inkoppeling fase V	inkoppeling fase V	47	40	5	13.2
totaal				205	42.6	130.2



Figuur 4. Monsters van gesmolten ijsslurry zoals genomen tijdens run 3, elke monsterpotje is een minuut (foto SUEZ).

Resultaten metingen effect reiniging

Figuur 5 geeft de tijdreeksen van de troebelheidmeting in de drie waterstromen: het water uit de tankwagen, het water dat bij de koude bronnen uit de backbone stroomt en het water dat bij de warme bronnen uit de backbone stroomt. Tabel 3 geeft de gemeten MFI waarden van deze waterstromen.

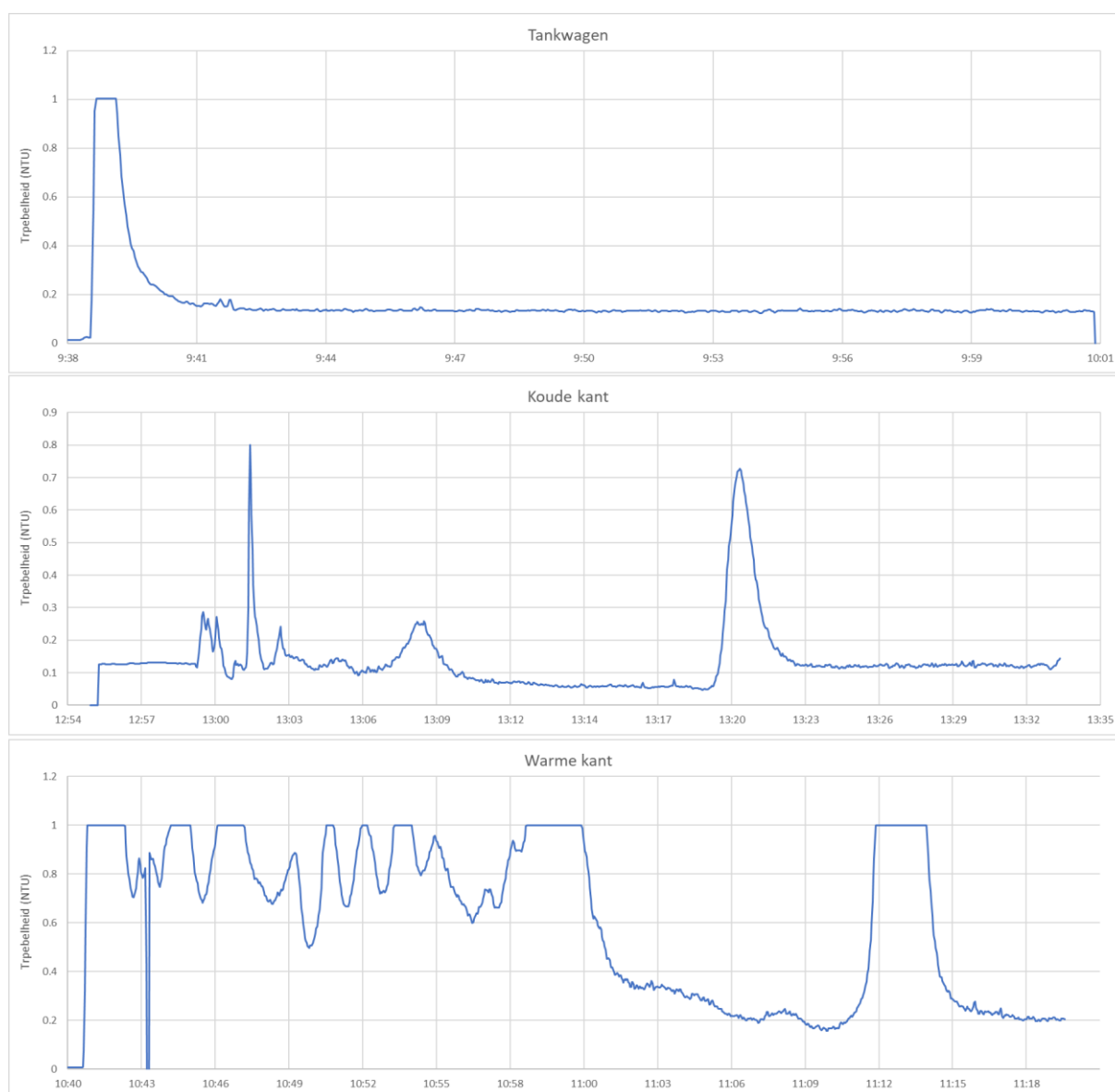
Voor de tankwagen is te zien dat tijdens de eerst paar minuten de NTU waarde was verhoogd (> 1 NTU), daarna neemt deze af tot een stabiele waarde lage van ongeveer 0,13 NTU. Er gaat dus schoon leidingwater de backbone in. De MFI waarden van dit water waren 6.8 en 2.4 s/L². Het lijkt er dus op dat de beginpiek in NTU terugkomt in de eerste MFI waarde.

Het water dat aan de koude kant de backbone uitstroomt is erg schoon er zijn weliswaar 2 duidelijk pieken in troebelheid gemeten maar deze blijven nog duidelijk onder de 1 NTU. De basisniveau van de troebelheid ligt op ongeveer 0,1 NTU. Dit water heeft ook lage MFI waarden 1.3-1.4 s/L².

Het water dat aan de warme kant de backbone uitstroomt is wat minder schoon dan aan de koude kant. Regelmatig is de troebelheid hoger dan de ingestelde maximumwaarde van 1 NTU. Ook geeft de eerste MFI meting met 5.25 s/L² een wat hogere waarde. Dit is nog wel lager dan de eerste meting uit de tankwagen. De laatste twee MFI metingen geven met 2.1 en 2.5 s/L² geen verhoogde waardes. De oorzaak van de hogere NTU waardes aan de warme kant is niet duidelijk. Mogelijk hebben zich richting de warme kant meer neerslagen opgehoopt tijdens de inbedrijfstelling van het WKO-systeem in 2014. De vorming van ijzer-neerslagen is een kinetisch gelimiteerd proces wat zeggen wil dat er enige tijd nodig voor vorming. De reistijd van het water door de backbone neemt toe vanaf instroom aan de koude kant wat ervoor gezorgd kan hebben dat de neerslagen zich meer richting de warme bronnen hebben opgehoopt.

Tabel 3. MFI waardes (s/L²)

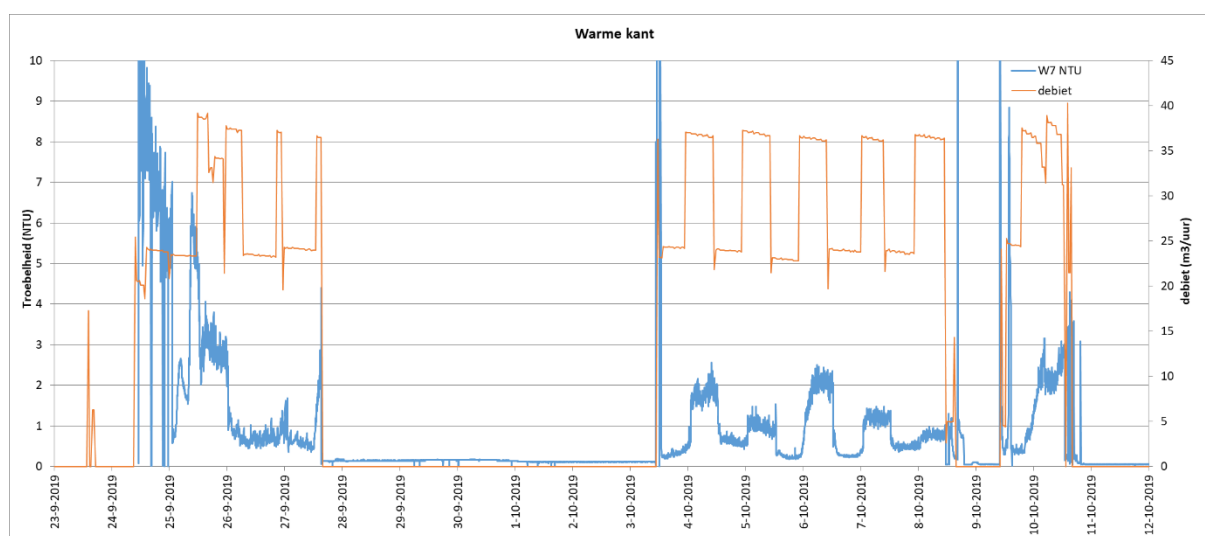
	MFI meting 1	MFI meting 2	MFI meting 3
tankwater	6.81	2.38	
koude kant	1.31	1.39	
warme kant	5.25	2.14	2.5



Figuur 5. Tijdreeksen troebelheid water, voor de koude en warme kant tijdens het spuien van de backbone. De tijdreeks van de tankwagen is voorafgaand aan het spuien van de backbone gemeten. Ingestelde maximaal meetbare NTU waarde is 1.

Vergelijking met eerder troebelheid metingen

Tijdens de pilot proef voor de ondergrondse ontijzering is ook continue de troebelheid van het effluent water aan de warme kant van de backbone gemeten (Figuur 6). Dit betrof water dat door middel van ondergrondse ontijzering uit de koude bronnen was geproduceerd en vervolgens door de leiding is getransporteerd naar de warme bronnen. Dit grondwater had altijd een lage troebelheid (< 1 NTU). Tijdens de pilot proef met het WKO-systeem was de troebelheid van het effluent water gedurende langer periodes (dagen) hoger dan 1 NTU. Ook is te zien dat de schakeling in debiet van ca. 22 naar 37 m^3/uur en terug een effect heeft op de troebelheid van het effluent water. Bij een debiet van 37 m^3/uur was de troebelheid continue hoger dan 1 NTU. Dit is na reiniging niet meer het geval. Bij spuien van de leiding na de Ice-Pigging onder turbulente stromingscondities (ongeveer 40 m^3/uur) was de NTU nog maar periodiek boven de 1 NTU. Dit toont aan dat Ice-Pigging duidelijk tot vermindering van mobilisatie van ijzeraanslag in de leiding leidt.



Figuur 6. Troebelheid en debiet warme kant zoals gemeten tijdens fase 3 van de pilot proef ondergronds ontijzeren (Van der Grift, et al., 2021)

4 Conclusies en aanbeveling

Door de firma die de Ice-Pigging heeft uitgevoerd is berekend dat er 130 kg sediment uit de backbone is verwijderd.

Uit de on-site troebelheid en MFI metingen tijdens spuien van backbone kan het volgende worden geconcludeerd:

- De backbone aan de koude kant is schoon, de troebelheid en de MFI waarde zijn tijdens het spuien erg laag.
- Aan de warme kant is het beeld niet helemaal duidelijk, er zijn pieken in troebelheid boven de 1 NTU die niet in het influent water worden gemeten, vooral tijdens de eerste periode van spuien. Dit duidt erop dat de backbone hier niet 100% schoon is. Tegelijk zijn de MFI waardes eigenlijk niet verhoogd ten opzicht van het influent water. De troebelheid van het effluentwater is veel lager dan tijdens fase 3 van de pilot proef. Hieruit blijkt dat de ijzerhydroxide neerslagen die uit ververleden nog in de backbone aanwezig waren grotendeels zijn verwijderd. De oorzaak van de hogere NTU waardes aan de warme kant is niet duidelijk.
- Na de reiniging van de backbone door middel van Ice-Pigging is het zeer onwaarschijnlijk dat achtergebleven neerslagen in de backbone een hernieuwde putverstopping van het WKO-systeem zullen veroorzaken. Er is een grote hoeveelheid sediment uit de backbone verdwenen en tijdens het spuien worden lage MFI-waardes gemeten.
- Ice-Pigging is een geschikte methode om dit soort complexe leidingnetwerken te reinigen

Op basis van de bevindingen van dit onderzoek wordt aanbevolen om:

- Een definitieve installatie voor ondergrondse ontijzering aan te leggen waardoor het WKO-systeem van de UZ Leuven duurzaam kan functioneren
- De waterkwaliteit van het geproduceerde grondwater tijdens opstart van het WKO-systeem met de definitieve installatie voor ondergrondse ontijzering goed te volgen voordat over wordt gegaan tot infiltratie. Naast de ijzerconcentratie geldt dit ook voor de andere verstoppingsparameters zoals weergegeven in Tabel 1.
- Voorafgaand aan de start met infiltratie de troebelheid en MFI metingen van het effluent water van de backbone te herhalen.

5 Referenties

Paalman, M. and Zuurbier, K. (2019) Enabling aquifer storage and recovery (ASR) by high flowrate filtration for improved water management, deliverable of the EU AquaNES project. KWR (ed).

B. van der Grift en S. Ros (2021) Ondergronds Ontijzeren bij WKO-systeem UZ Leuven; eindrapportage TKI-project Ondergronds ontijzeren bij WKO bodemenergiesystemen. KRW rapport 2021.009

Quarini, G., Ainslie, E., Herbert, M., Deans, T., Ash, D., Rhys, D., Northon, G., Andrews, S. and Smith, M. (2010). Investigation and development of an innovative pigging technique for the water-supply industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 224(2), 79-89.

Van Beek, C.G.E.M. van Beek, Vasak, L., Nieuwaal A., Stefess dr.ir. G.C. en Bakker, L.M.M. (2000) Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie- en onttrekkingsmiddelen CUR/NOBIS rapportnummer 98-1-08.

I Ice-Pigging rapportage SUEZ



Operational Report

Client:	vandervalk+degroot	Volume of ice:	50m ³
Date:	24/11/21 & 01/12/21	Ice fraction:	85%
Location:	UZ Leuven	Total water used:	205m ³

Network Overview



The Ice Pigging operation was carried out over 2 days. Runs 1-4 on Day 1 and Runs 5-7 on Day 2.

Samples were collected for each run as the Ice Pig reached the outlet. For each sample the flow rate and the sediment concentrations are assumed to remain constant for the duration of the sampling period. The total sediment mass is estimated by multiplying the sediment concentration and the volume of water in each sampling period.

SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com

Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 1

Ice was inserted at well W7 and discharged at W9.



Start Time	12:45:00
Ice (m³)	2.8
Lowest Temp. (°C)	-5.9
Finish Time	12:55:00
Water Used (m³)	4.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	4.0	6.2
Temp. (°C)	11.9	10.5
Cond. (mS/cm)	1.1	11.0

Run 1 Temperature and Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	9.8	47.2	-3.7	207.61	0.6	3.13
2	60	3.2	58.1	-5.8	204.97	0.6	3.29
3	120	6.2	76.7	-5.8	207.89	0.4	2.23
4	180	7.1	77.1	-5.9	193.35	0.3	1.90
5	240	7.6	72.1	-5.8	166.26	0.2	1.50
6	300	9.7	74.3	-5.8	217.25	0.3	1.31
7	360	10.5	2.1	12.5	220.64	0.1	0.60
Sediment Removed (kg)						5.9	



Run 1 Samples, left to right

SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com
 Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 2

Ice was inserted at well W8 and discharged at W10.



Start Time	13:17:00
Ice (m³)	2.8
Lowest Temp. (°C)	-5.8
Finish Time	13:32:00
Water Used (m³)	4.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	8.2	10.8
Temp. (°C)	10.6	10.0
Cond. (mS/cm)	2.4	1.6

Run 2 Temperature and Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	9.0	18.5	6.7	215.25	0.2	0.87
2	60	10.2	3.4	6.5	160.91	0.2	1.13
3	120	10.6	1.1	14.0	213.74	0.1	0.41
4	180	8.0	1.1	14.2	219.43	0.3	1.25
5	240	5.9	92.8	-4.8	226.01	0.4	1.74
6	300	6.2	97.2	-5.5	151.12	0.7	5.62
7	360	6.1	87.0	-5.6	219.29	0.5	2.60
8	420	6.3	87.3	-5.7	219.49	0.6	2.90
9	480	7.0	85.1	-5.8	218.61	0.5	2.56
10	540	8.1	82.6	-5.8	172.01	0.4	2.36
11	600	9.1	50.1	-1.6	218.74	0.6	2.86
12	660	8.4	2.0	12.5	220.31	0.3	1.24
Sediment Removed (kg)						11.2	

SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com

Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 2 Samples, left to right

Run 3



Start Time	14:32:00
Ice (m ³)	10.0
Lowest Temp. (°C)	-5.6
Finish Time	16:03:00
Water Used (m ³)	50.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	5.7	8.0
Temp. (°C)	10.8	14.4
Cond. (mS/cm)	2.9	1.0



Run 3 Temperature and Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)	
1	0	14.3	16.4	15.5	236.90	0.4	1.86	
2	60	11.8	48.5	6.9	239.59	0.8	3.44	
3	120	11.8	58.5	-3.8	236.29	1.2	5.41	
4	180	11.8	74.6	-4.6	243.05	0.6	2.89	
5	240	11.9	77.3	-4.8	253.07	0.5	2.33	
6	300	12.0	82.5	-4.9	244.42	0.7	3.01	
7	360	12.1	87.3	-5.0	216.09	0.6	3.04	
8	420	12.2	82.0	-5.1	258.92	0.7	2.74	
9	480	12.4	85.2	-5.1	250.43	0.5	2.36	
10	540	12.7	84.9	-5.2	215.40	0.6	3.10	
11	600	12.8	116.0	-5.1	243.94	0.6	2.70	
12	660	12.8	105.7	-4.4	228.04	0.6	2.96	
13	720	12.7	66.3	-3.1	227.98	0.6	2.81	
14	780	12.8	57.2	-3.0	241.32	0.5	2.46	
15	840	13.0	49.1	-2.6	254.52	0.5	1.93	
16	900	13.2	27.8	-1.1	248.72	0.3	1.15	
17	960	13.2	7.8	1.3	241.92	0.3	1.14	
18	1020	13.3	4.4	6.9	242.03	0.2	1.04	
					Sediment Removed (kg)		34.6	



Run 3 Samples, left to right

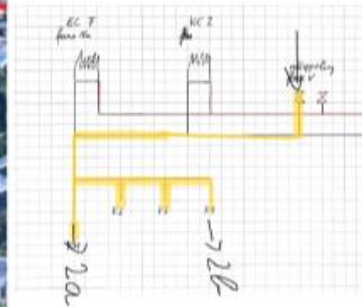
SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com

Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 4



Start Time	16:51:00
Ice (m ³)	7.0
Lowest Temp. (°C)	-4.7
Finish Time	17:51:00
Water Used (m ³)	26.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	6.1	4.2
Temp. (°C)	9.8	8.0
Cond. (mS/cm)	1.0	1.0



Run 4 Samples, left to right

SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com
 Head office - 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 4 Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	9.0	245.02	1.1	4.97
2	60	9.0	238.10	0.5	2.31
3	120	9.0	258.06	0.5	2.20
4	180	9.0	253.72	0.6	2.63
5	240	9.0	253.92	0.5	2.20
6	300	9.0	242.08	0.5	2.32
7	360	9.0	229.02	0.6	2.80
8	420	9.0	240.58	0.5	2.19
9	480	9.0	242.96	0.6	2.76
10	540	9.0	240.43	0.5	2.33
11	600	9.0	203.21	0.4	2.09
12	660	9.0	236.30	0.4	1.63
13	720	9.0	225.39	0.3	1.47
14	780	9.0	158.21	0.2	1.76
15	840	9.0	211.61	0.2	1.00
16	900	9.0	230.36	0.1	0.53
			Sediment Removed (kg)	19.0	

Run 4 - Notes

Whilst setting up for Run 4, there was a power issue with the Flow Analysis System (FAS). It was still possible to take readings of the water quality parameters for the pre and post clean, but this data was not logged second by second in the same way as all other runs. Flow rate was manually monitored during sample collection, and was averaged at 9l/s.

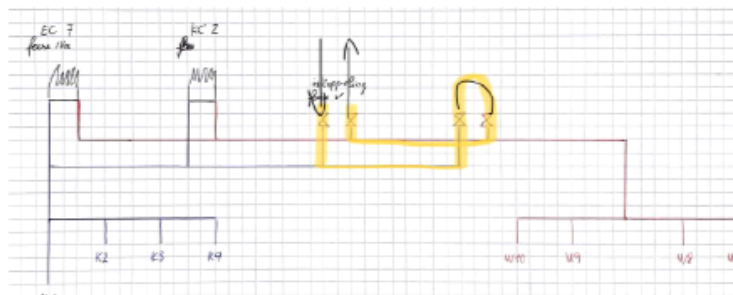
SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com

Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 5



Start Time	14:08
Ice (m³)	10.0
Lowest Temp. (°C)	-5.2
Finish Time	15:09
Water Used (m³)	41.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	0.7	1.5
Temp. (°C)	18.2	14.3
Cond. (mS/cm)	1.1	1.3

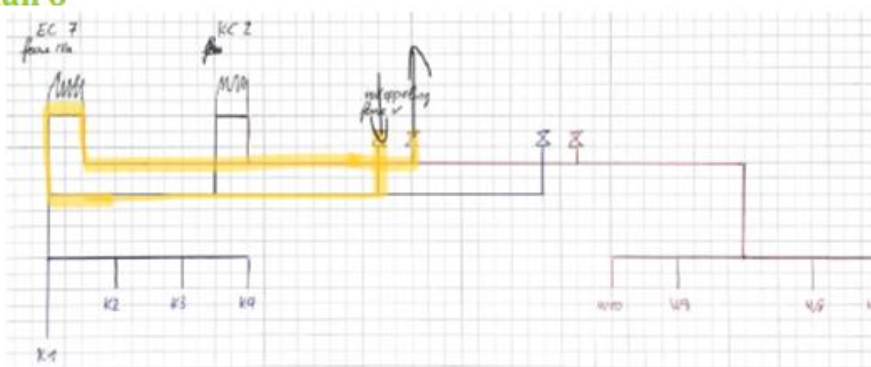
Run 5 Temperature and Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	15.3	49.7	6.4	192.32	0.21	1.21
10	540	14.5	77.8	-5.5	209.18	0.83	4.37
7	360	14.9	87.9	-5.4	218.01	0.75	3.78
2	60	14.4	72.5	-4.2	212.51	0.43	2.23
3	120	14.8	79.9	-4.7	214.85	0.49	2.51
4	180	14.7	88.4	-5.1	213.04	0.29	1.50
5	240	14.6	89.6	-5.2	218.82	0.25	1.25
6	300	14.7	91.4	-5.3	209.16	0.32	1.69
8	420	15.0	89.2	-5.5	217.99	0.34	1.71
9	480	15.0	85.7	-5.5	211.28	0.42	2.19
11	600	14.8	71.8	-5.3	195.90	0.42	2.38
12	660	15.7	26.9	-1.0	209.60	0.29	1.52
13	720	15.5	12.2	-0.4	199.66	0.31	1.72
14	780	15.6	6.9	5.8	203.00	0.19	1.03
					Sediment Removed (kg)		26.0



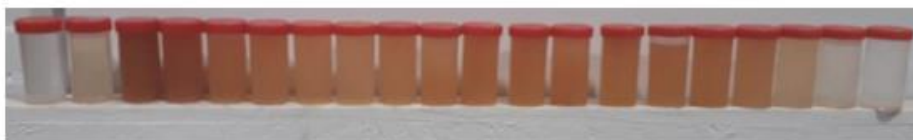
Run 5 Samples, left to right

Run 6



Start Time	15:41
Ice (m³)	5.0
Lowest Temp. (°C)	-0.7
Finish Time	16:45
Water Used (m³)	40.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	8.9	2.1
Temp. (°C)	16.1	13.0
Cond. (mS/cm)	3.4	1.1



Run 6 Samples, left to right



Run 6 Temperature and Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)	
1	0	16.2	59.4	8.7	246.67	0.06	0.27	
2	60	16.1	85.4	0.7	219.85	0.06	0.30	
3	120	16.3	56.2	-0.1	252.69	0.37	1.60	
4	180	16.3	47.7	-0.2	241.05	0.47	2.14	
5	240	16.3	42.3	-0.4	224.07	0.39	1.93	
6	300	16.3	39.1	-0.6	248.46	0.35	1.54	
7	360	16.3	34.3	-0.6	230.65	0.26	1.24	
8	420	16.3	31.8	-0.6	237.93	0.32	1.48	
9	480	16.3	31.1	-0.7	235.02	0.24	1.13	
10	540	16.3	26.1	-0.7	259.37	0.28	1.18	
11	600	16.3	24.5	-0.7	248.38	0.46	2.03	
12	660	16.3	21.6	-0.7	253.51	0.25	1.08	
13	720	16.3	19.2	-0.7	257.61	0.22	0.93	
14	780	16.3	15.3	-0.6	260.73	0.21	0.88	
15	840	16.3	12.3	-0.6	215.19	0.19	0.98	
16	900	14.8	6.6	-0.5	241.78	0.07	0.32	
17	960	15.2	2.9	10.7	237.73	0.12	0.56	
18	1020	16.2	2.3	11.5	235.07	0.04	0.19	
19	1080	15.5	2.0	11.8	215.83	0.09	0.46	
20	1140	15.4	1.8	11.9	241.42	0.12	0.55	
					Sediment Removed (kg)		20.2	

Run 6 – Notes

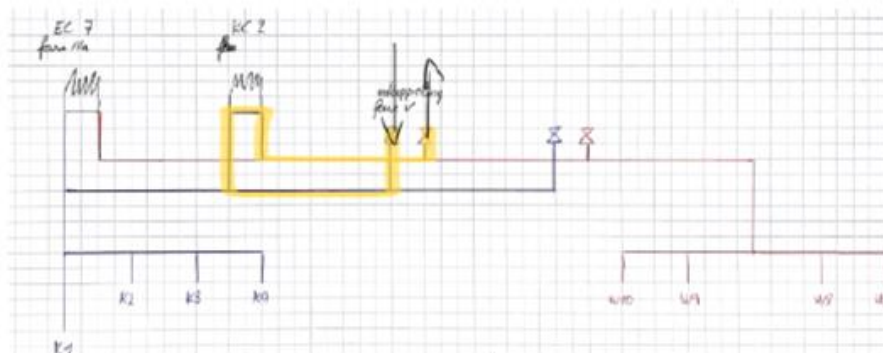
Runs 6 and 7 were conducted out of the pre-agreed sequence for the operation. This meant that 5m³ on ice was used instead of 10m³, which meant that the temperature of the Ice Pig at the outlet was not as low as Runs 1-5. However, a considerable amount of sediment was collected in the samples, with an estimated 20.2kg of sediment removed. Turbidity started at 8.9NTU, and then quickly flushed back to 2.1NTU. This indicates that a good clean was achieved on this section of pipework.

SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com
 Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775



Run 7



Start Time	16:58
Ice (m³)	5.0
Lowest Temp. (°C)	-5.0
Finish Time	17:45
Water Used (m³)	40.0

	Pre Readings	Post Readings
Turbidity (NTU)	1.7	1.1
Temp. (°C)	13.1	12.5
Cond. (mS/cm)	1.1	1.1

Run 7 Temperature and Sediment Analysis

Sample Number	Time since first sample (s)	Flow (l/s)	Conductivity (mS/cm)	Temperature (°C)	Sample Mass (g)	Sediment Mass (g)	Sediment Concentration (g/l)
1	0	14.9	22.2	8.6	241.48	0.0	0.14
2	60	14.4	61.0	-4.2	217.96	0.5	2.35
3	120	14.4	76.4	-4.9	239.18	0.4	2.02
4	180	14.8	113.6	-4.8	255.55	0.5	2.22
5	240	15.0	68.3	-2.5	248.44	0.5	2.07
6	300	15.1	37.2	-1.3	230.33	0.4	1.77
7	360	15.1	28.6	-1.1	236.64	0.2	0.98
8	420	15.1	23.9	-0.9	248.56	0.3	1.19
9	480	15.2	20.2	-0.8	242.48	0.1	0.59
10	540	15.2	18.2	-0.7	206.64	0.1	0.54
11	600	15.2	14.4	1.7	248.88	0.2	0.97
Sediment Removed (kg)						13.2	



Run 7 Samples, left to right

SUEZ

Tel: 44 (0) 1454 804 040- www.ice-pigging.com

Head office – 290 Aztec West Bristol BS32 4SY Registered in England No 5687775