

# HyDelta

## **WP 1C Leidingen en binneninstallaties (componenten)**

### D1C.1a – Toetreding van lucht in een waterstofleiding bij een leidingbreuk

Status: definitief

Dit project is medegefinancierd door TKI Energie uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, onder referentie nummer TKI2020-HyDelta.

## Document samenvatting

### Corresponderende auteur

Corresponderende auteur	ing. Sander Lueb
Verbonden aan	Kiwa Technology B.V.
Email adres	sander.lueb@kiwa.com

### Document historie

Versie	Datum	Auteur	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzigingen
1	02-04-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Ten behoeve van bespreken ruwe data en conclusies
2	18-06-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Uitwerking van versie 1
3	05-07-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Verwerking opmerkingen EAG-group
4	22-07-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Verwerking opmerkingen Supervisory Group and OGH2
5	10-11-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Toevoeging van namen in tabel document beoordeling

### Verspreidingsniveau

Verspreidingsniveau		
<b>PU</b>	Public	X
<b>R1</b>	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Partners inclusief Expert Assessment Group</li> <li>Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board</li> <li>Externe entiteit gespecificeerd door het consortium</li> </ul>	
<b>R2</b>	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Partners inclusief Expert Assessment Group</li> <li>Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board</li> </ul>	
<b>R3</b>	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Partners inclusief Expert Assessment Group</li> </ul>	

### Document beoordeling

Partner	Naam
Kiwa Technology	Sjoerd Delnooz
Rendo	Johan Jonkman
Alliander	Rob Nispeling
Alliander	Pascal te Morsche
Stedin	Tessa Hillen
NEC, Kiwa Technology, DNV, TNO, NBNI, Stedin, Alliander	HyDelta Supervisory Group

## Executive summary

As part of the national research programme HyDelta, a study was carried out into the entry of air into a hydrogen-filled distribution pipeline in the event of a pipe breakage. The research described in this report is part of the Work Package 1C "Pipes and indoor installations".

As requested by the OGH2 (OnderzoeksGroep or Research Group H2) research question 187 "*How can an existing gas distribution pipeline be safely decommissioned as a natural gas pipeline and (simultaneously) commissioned as a hydrogen pipeline during the conversion to a hydrogen network and what are the associated costs?*" is extended with an additional research question. After all, during that investigation, distribution pipes DN 100 and DN 200 were filled with hydrogen. The results in the context of research question 187 are described in a separate report.

The research as described in this report is complementary to the research questions posed in the context of HyDelta WP1C.

### *Aim and testing approach*

The aim of this research is to determine to what extent air will enter a hydrogen distribution pipeline in the event of a pipe break. This was done by filling distribution pipes with a diameter of DN 100 and DN 200 with hydrogen. The concentration measurements (gas/air ratio) were done on the pipes both with and without shielding of the entry opening. The pipes are filled with hydrogen and then opened on one end.

### *Results*

The test programs showed that after creating the leakage (opening a valve) the hydrogen flows out of the pipe and air enters immediately. Furthermore, with both the DN 100 and the DN 200, an explosive mixture was found almost immediately after the entry of air. This explosive mixture was retained during the full measurement time of 90 minutes. The outflow of hydrogen and the entry of air is caused by the difference in density between hydrogen and air.

The inflow of air at the DN 200 pipe was larger as compared to the DN 100 pipe. Measuring at a distance of 25 meters from the opening: the explosive mixture formed more rapidly when testing the DN 200 pipe as compared to the smaller DN 100 pipe. The resistance of the outflow of hydrogen and the resistance of the inflow of air are smaller with a larger diameter as compared to the smaller diameter.

As during the measurements without shielding there was close to no wind, the effect of wind was not measurable.

The measurements show that an explosive mixture is formed almost immediately in an open pressureless pipe filled with 100% hydrogen. The release of hydrogen and the entry of air is caused by the difference in density between hydrogen and air. Comparing this to natural gas: natural gas is 9 times more dense, as compared to hydrogen. It is expected that, when using hydrogen, an explosive mixture will form in a pressureless pipe faster and over more length as compared to natural gas.

### *Recommendations*

It is advisable to investigate the effect of air entry during repairing a pipe breakage also in case of a natural gas-filled pipe in order to better understand the risks with hydrogen. In that additional study, it is also advisable to consider the influence of the size of the opening and the length between opening and inflatable stopper.

Further research is needed to determine the consequences of ignition of an explosive hydrogen mixture in a blocked part of the gas network. It can be determined whether an inflatable stopper is sufficiently stable in the event of an explosion in order to permanently block the gas flow. It is recommended to carry out these ignition tests with hydrogen and with natural gas.

## Samenvatting

In het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta is een onderzoek uitgevoerd naar het toetreden van lucht in een met waterstof gevulde distributie-leiding in geval van een leidingbreuk. Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is onderdeel van het werkpakket 1C “Leidingen en binneninstallaties”

Vanuit de OGH2 (Onderzoeksgroep H2) is verzocht om het aspect vermenging van waterstof met lucht in geval van een leidingbreuk te betrekken bij de uitvoering van onderzoeksvraag 187; “*Op welke wijze zijn bestaande gasdistributieleidingen veilig buiten bedrijf te stellen als aardgasleiding en (gelijktijdig) in bedrijf te stellen als waterstofleiding tijdens een ombouw naar een waterstofnet? Wat zijn de daaraan verbonden kosten?*”

Bij dat onderzoek werden distributieleidingen DN 100 en DN 200 gevuld met waterstof. De resultaten in het kader van onderzoeksvraag 187 zijn beschreven in een separate rapportage.

Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is aanvullend ten opzichte van de gestelde onderzoeksvragen in het kader van HyDelta WP1C.

### *Doel en werkwijze*

Het doel van dit onderzoek is vast te stellen in hoeverre lucht een waterstofdistributieleiding zal binnentreden in geval van een leidingbreuk. Er zijn een viertal meetseries uitgevoerd aan met waterstof gevulde leidingen (ongeveer 100 mbar) die aan één zijde werden geopend waarbij de gas/luchtverhouding werd gemeten. Dit betrof metingen aan leidingen DN 100 en DN 200 waarbij er met én zonder afscherming van de intrede-opening is gemeten.

### *Resultaten*

Uit het onderzoek blijkt dat er bij de twee beoordeelde diameters direct na het aanbrengen van de lekkage (openen afsluiter) waterstof uit de leiding stroomt en er lucht toetreedt. Bij zowel de DN 100 als bij de DN 200 is er vrijwel direct na het intreden van lucht sprake van een explosief mengsel. Gedurende de meettijd van 1,5 uur is er bij zowel de DN 100 als bij de DN 200 op ieder moment sprake van een explosief mengsel in de leidingen. Het wegstromen van waterstof en toetreden van lucht wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid tussen waterstof en lucht.

Bij de leiding DN 200 stroomt de lucht sneller naar binnen dan bij de leiding DN 100. Op een afstand van 25 meter vanaf het open buiseind wordt daardoor bij de leiding DN 200 sneller een explosief mengsel gevormd dan bij de leiding DN 100. De weerstand van het uitstromen van waterstof en de weerstand van het instromen van lucht zijn bij een grotere diameter kleiner dan bij de kleinere diameter.

Het effect van wind kon niet goed worden vastgesteld omdat de windsnelheid bij de metingen zonder de afscherming beperkt was.

De metingen tonen aan dat er in een geopende drukloze leiding gevuld met 100% waterstof vrijwel direct een explosief mengsel ontstaat. Het wegstromen van waterstof en toetreden van lucht wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid tussen waterstof en lucht. Het verschil in dichtheid tussen aardgas en waterstof is een factor 9. De verwachting is dat er, in vergelijking met aardgas, bij waterstof sneller en dus over een grotere lengte een explosief mengsel in een drukloze leiding ontstaat.

### *Aanbevelingen*

Het is raadzaam om het effect van intrede van lucht bij het herstellen van een leidingbreuk ook te onderzoeken bij een met aardgas gevulde leiding om zodoende de risico's met waterstof beter te kunnen duiden. Bij een aanvullend onderzoek is het ook raadzaam om de invloed van de grootte van de opening én de lengte van de opening tot de blaas te beschouwen.

Om vast te stellen wat de gevolgen kunnen zijn van het ontsteken van een explosief mengsel in een afgesloten leidingdeel is nader onderzoek raadzaam. Hierbij kan worden vastgesteld of bij een eventuele explosie een blaas voldoende stabiel is om de gasstroom blijvend te blokkeren. Het wordt aanbevolen om deze ontstekingsproeven met waterstof én met aardgas uit te voeren.

## Table of contents

Document samenvatting .....	2
Executive summary .....	3
Samenvatting.....	5
1. Aanleiding.....	8
1.1 Algemeen.....	8
1.2 Probleemstelling.....	8
1.3 Onderzoeksvraag in HyDelta .....	8
2. Doel .....	9
3. Methode.....	10
3.1 Werkwijze algemeen .....	10
3.2 Meetpunten.....	10
3.3 Tijdsduur metingen .....	10
3.4 Effecten wind.....	10
3.5 Testprogramma metingen.....	10
3.6 Testleiding .....	10
4. Resultaat.....	11
4.1 Metingen DN 100 .....	12
4.2 Metingen DN 200 .....	13
4.3 Overzicht van aanwezigheid brandbare en explosieve mengsels.....	14
5. Conclusies.....	15
6. Aanbevelingen.....	16
Bijlage I Overzicht van vragen HyDelta WP1C .....	17
Bijlage II Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep deelvraag 187 en aanvulling toetreding lucht.....	18
Bijlage III Memo testprogramma vermenging waterstof met lucht .....	19
Bijlage IV Detailtekeningen van de testleiding.....	20
Bijlage V Foto's van de testopstelling .....	21
Bijlage VI Gebruikte meetapparatuur .....	22

## 1. Aanleiding

### 1.1 Algemeen

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta. Dit programma is gericht op het veilig inpassen van waterstof in de bestaande infrastructuur voor gastransport en -distributie en heeft als doel om barrières voor de opschaling van waterstof weg te nemen. Het volledige onderzoeksprogramma is ingedeeld in werkpakketten. Voor een toelichting op deze verschillende werkpakketten zie [www.hydelta.nl](http://www.hydelta.nl).

### 1.2 Probleemstelling

Bij een leidingbreuk in een waterstofdistributieleiding zullen er, naar verwachting, gasblazen gezet worden om de lekkage vervolgens te kunnen verhelpen. Tijdens het ontgraven van de gebroken buis kan er mogelijk lucht in de, drukloze, leiding treden. In dat geval ontstaat een explosief mengsel. Voor binneninstallaties heeft Kiwa Technology in opdracht van Netbeheer Nederland een onderzoek uitgevoerd naar het toetreden van lucht in openliggende waterstofleidingen (referentie rapportage VGI/1337/Sal, nog in concept). Voor distributieleidingen ontbreekt een dergelijk onderzoek.

### 1.3 Onderzoeksvraag in HyDelta

Vanuit de OGH2 (OnderzoeksGroep H2) is verzocht om het aspect vermenging van waterstof met lucht in geval van een leidingbreuk te betrekken bij de uitvoering van onderzoeksvraag 187. Bij onderzoeksvraag 187 is vastgesteld dat leidingen gevuld met aardgas rechtstreeks zijn te spoelen met waterstof. Dit werd uitgevoerd door distributieleidingen DN 100 en DN 200 leidingen te vullen met waterstof. De resultaten in het kader van onderzoeksvraag 187 zijn beschreven in een separate rapportage. Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is aanvullend op de gestelde onderzoeksvragen, waaronder vraag 187 in het kader van HyDelta WP1C (zie Bijlage I voor een overzicht van de vragen uit WP1C).

Dit aanvullende onderzoek is voor uitvoering voorgelegd aan de Steering Group van HyDelta, akkoord bevonden en vervolgens uitgevoerd.



## 2. Doel

Het doel van dit onderzoek is vast te stellen in hoeverre lucht een waterstof distributieleiding zal binnentreden in geval van een leidingbreuk, in hoeverre er een explosief mengsel ontstaat en hoe dit zich ontwikkelt over de tijd.

## 3. Methode

### 3.1 Werkwijze algemeen

De uitvoering van dit onderzoek is afgestemd met een begeleidingsgroep en sparringsgroep. Beide groepen bestaan uit deelnemers vanuit de regionale netbeheerders (zie Bijlage II). Het overeengekomen testprogramma is opgenomen in Bijlage III. De belangrijkste onderdelen zijn hieronder uitgelicht.

### 3.2 Meetpunten

Meetpunten voor het meten van de waterstofconcentratie bevonden zich op circa 1, 10 en 25 meter vanaf de opening. Op iedere afstand is een meetpunt bovenin en onderin de leiding aangebracht. Het afgezogen gas/luchtmengsel (voor de concentratiemeting) werd teruggevoerd naar de leiding om verstoring van het binnentreden van lucht zoveel mogelijk te voorkomen.

### 3.3 Tijdsduur metingen

De metingen zijn bedacht met als aanname dat netbeheerders een leidingbreuk niet langdurig open laten liggen (nadat de gastoevoer naar de breuk is gestopt<sup>1</sup>). Een tijdsduur van 1 uur is daarbij realistisch. Iedere meetserie is uiteindelijk 1,5 uur voortgezet. De eerste minuten is er om de halve minuut gemeten, daarna tot 60 minuten om de 2 minuten. Na één uur is er om de 10 minuten gemeten.

### 3.4 Effecten wind

In praktijk heeft de mate van wind uiteraard invloed op de metingen. Hoe harder het waait des te sneller zal er menging van gas en lucht in de leiding plaatsvinden. Om het effect van wind uit te sluiten én mogelijk inzichtelijk te maken worden er metingen uitgevoerd met en zonder afscherming.

### 3.5 Testprogramma metingen

Er zijn vier meetseries uitgevoerd aan met waterstof gevulde leidingen (lengte circa 200 meter, druk ongeveer 100 mbar) die aan één zijde werden geopend. Dit waren;

- 1 meetserie DN 100 met afscherming door een tent
- 1 meetserie DN 100 zonder afscherming
- 1 meetserie DN 200 met afscherming door een tent
- 1 meetserie DN 200 zonder afscherming

Tijdens de metingen is de afname van de waterstofconcentratie gemeten. Zie Bijlage VI voor een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

### 3.6 Testleiding

Bij de metingen werd geen gasblaas geplaatst op 25 meter. Op 200 meter afstand van de lekkage bevond zich namelijk een gesloten afsluiter. Een overzichtstekening van de testleiding is gegeven in Bijlage IV. Zie Bijlage V voor enkele foto's.

#### Opmerkingen:

De DN 200 leiding is een PE 100 SDR 17 met uitwendige diameter 200 mm en inwendige diameter 177 mm. De DN 100 leiding is een PE 100 SDR 17,6 met uitwendige diameter 110 mm en inwendige diameter 97,4 mm.

---

<sup>1</sup> Op het moment dat er nog sprake is van gasuitstroming uit de breuk, zal er geen lucht intreden.

## 4. Resultaat

In dit hoofdstuk zijn de meetresultaten opgenomen van de uitgevoerde metingen. In paragraaf 4.1 staan de resultaten van de DN 100 en in paragraaf 4.2 de resultaten van de DN 200. In paragraaf 4.3 is een overzicht opgenomen van alle metingen waarbij is aangeven of er een brandbaar en/of explosief mengsel wordt gevormd.

Tabel 1. Uitgevoerde metingen en gemiddelde weersomstandigheden

Omschrijving	Datum	Gemiddelde windsnelheid (m/s)	Gemiddelde buiten temperatuur (°C)
DN 100 zonder afscherming	02-03-2021	1,4	14,4
DN 100 met afscherming	03-03-2021	3,8	7,9
DN 200 zonder afscherming	03-03-2021	2,6	14,1
DN 200 met afscherming	03-03-2021	1,2	12,0

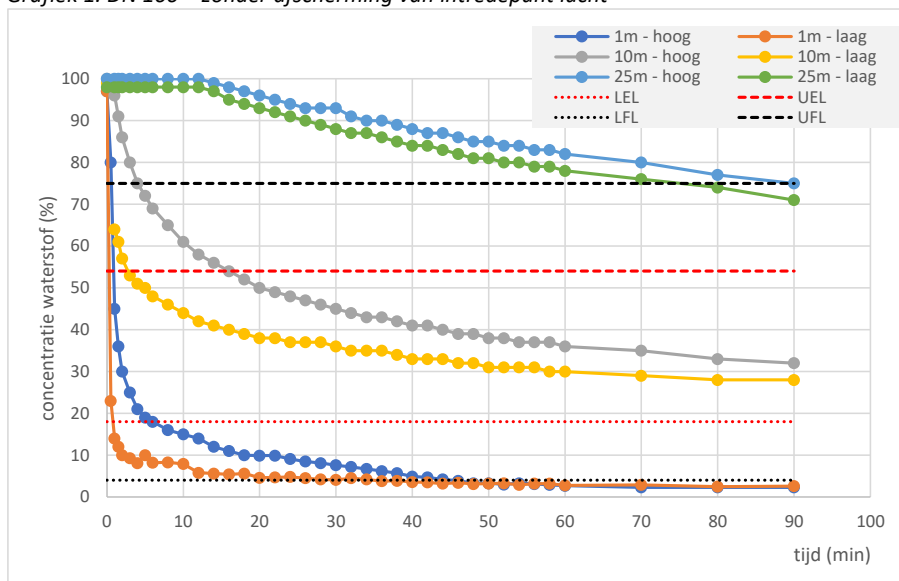
Opmerkingen als toelichting bij de grafieken en tabellen in 4.1 t/m 4.3

Brandbaarheidsgrenzen waterstof in lucht; 4 – 75%

Explosiegrenzen waterstof in lucht; 18 - 54%

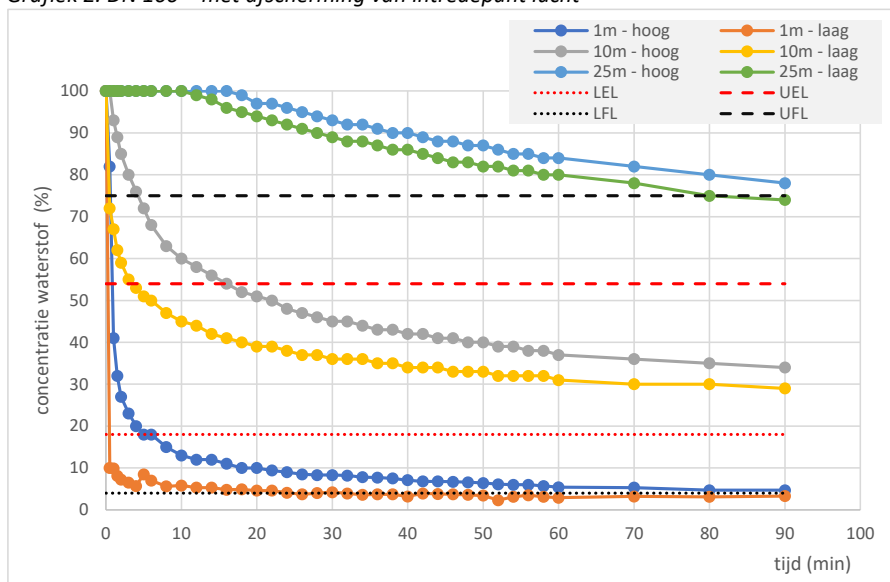
## 4.1 Metingen DN 100

Grafiek 1. DN 100 – zonder afscherming van intredepunt lucht



Binnen 1 minuut ontstaat er een explosief mengsel op een afstand van 1 meter vanaf de lekkage (zie oranje en donkerblauwe lijn). Binnen 5 minuten is er sprake van een explosief mengsel op een afstand van 10 meter vanaf de lekkage (zie grijze en gele lijn). Na 1,5 uur is er geen explosief mengsel aanwezig op een afstand van 25 meter vanaf de lekkage (zie groene en lichtblauwe lijn). De concentraties waterstof bovenin de leiding zijn hoger dan onderin de leiding: dit is te zien door de verschillen in de meetpunten “hoog” en “laag”.

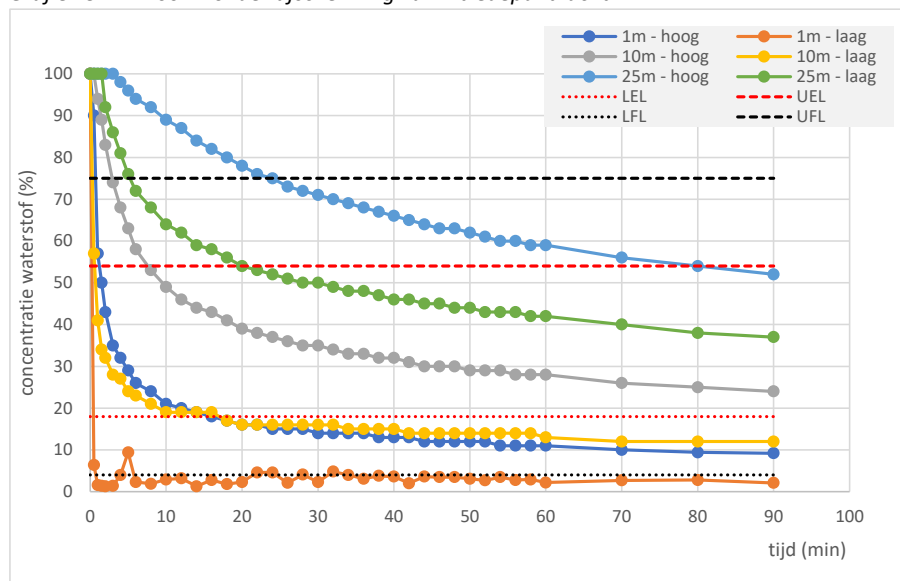
Grafiek 2. DN 100 – met afscherming van intredepunt lucht



Bij de metingen aan de DN 100 leiding met afscherming zijn de resultaten nagenoeg gelijk aan de resultaten verkregen zonder afscherming. Het mengsel in de leiding op 1 meter afstand vanaf de lekkage is gedurende de gehele meetduur (90 minuten) brandbaar. Op korte afstand vanaf de lekkage (in de buitenlucht) is de concentratie waterstof kleiner dan 0,1% (meetpunt geen onderdeel van de grafieken). De concentraties waterstof bovenin de leiding zijn hoger dan onderin de leiding.

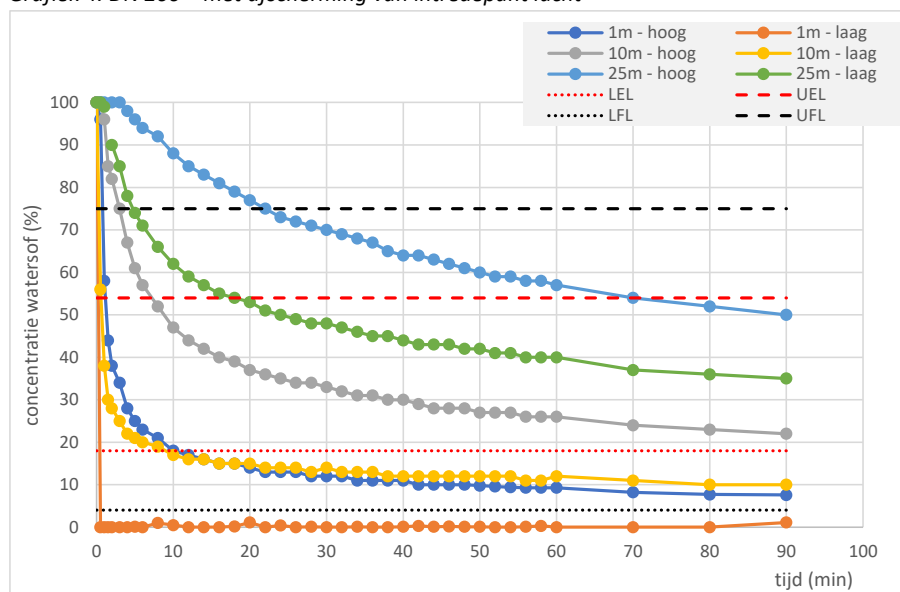
## 4.2 Metingen DN 200

Grafiek 3. DN 200 – zonder afscherming van intredepunt lucht



Binnen 1 minuut ontstaat er een explosief mengsel op een afstand van 1 én 10 meter vanaf de lekkage (zie oranje, donkerblauwe, gele en grijze lijnen). Binnen 20 minuten is er sprake van een explosief mengsel op een afstand van 25 meter vanaf de lekkage (zie groene en lichtblauwe lijnen). De concentraties waterstof bovenin de leiding zijn hoger dan onderin de leiding, waarbij de verschillen met de DN 100 leiding groter zijn: dit is te zien door de verschillen in de meetpunten “hoog” en “laag”.

Grafiek 4. DN 200 – met afscherming van intredepunt lucht



Bij de metingen aan de DN 200 leiding met afscherming zijn de resultaten nagenoeg gelijk aan de resultaten verkregen zonder afscherming. Het mengsel in de leiding op 1 meter afstand vanaf de lekkage is gedurende de gehele meetduur (90 minuten) brandbaar. Op korte afstand vanaf de lekkage (in de buitenlucht) is de concentratie waterstof bijna continu kleiner dan 0,5% (meetpunt geen onderdeel van de grafieken). De concentraties waterstof bovenin de leiding zijn hoger dan onderin de leiding.

### 4.3 Overzicht van aanwezigheid brandbare en explosieve mengsels

Tijdens het instromen van lucht in de met waterstof gevulde leiding ontstaan er brandbare en/of explosieve mengsels. De tijdstippen waarop deze mengsels ontstaan zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2. Overzicht van momenten waarop een brandbaar en/of explosief mengsel in de leidingen aanwezig is.

DN	Afscherming	Vorming brandbaar mengsel?			Vorming explosief mengsel?		
		1 m	10 m	25 m	1 m	10 m	25 m
100	zonder	ja, vanaf begin tot 46 min	ja, vanaf 1 min tot eind	ja, na 70 min	ja, tot eerste 5 min	ja, vanaf 3 min tot eind	nee
100	met	ja, vanaf begin tot eind	ja, vanaf begin tot eind	ja, na 80 min	ja, tot eerste 6 min	ja, vanaf 10 min tot eind	nee
200	zonder	ja, vanaf begin tot eind	ja, vanaf begin tot eind	ja, vanaf 5 min tot eind	ja, vanaf 1 min tot 16 min	ja, vanaf 0,5 min tot eind	ja, vanaf 20 min tot eind
200	met	ja, vanaf begin tot eind	ja, vanaf begin tot eind	ja, vanaf 5 min tot eind	ja, vanaf 1 min tot 12 min	ja, vanaf 0,5 min tot eind	ja, vanaf 16 min tot eind

De tijdsduur van de metingen betrof 90 minuten per meetserie. Het tijdstip "vanaf" is het tijdstip vanaf openen van de afsluiter ter plaatse van de inlaat van lucht.

## 5. Conclusies

Direct na het aanbrengen van de lekkage (openen afsluiter) stroomt waterstof uit en treedt lucht de leidingen DN 100 en DN 200 binnen.

Bij zowel de DN 100 als bij de DN 200 is er vrijwel direct na het intreden van lucht sprake van een explosief mengsel. Gedurende de meettijd blijft er vervolgens bij beide diameters buizen op ieder meetmoment sprake van een explosief mengsel in de leidingen. Het wegstromen van waterstof en toetreden van lucht wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid tussen waterstof en lucht<sup>2</sup>.

De concentraties waterstof bovenin de leiding zijn hoger dan onderin de leiding, waarbij de concentratieverschillen bij de DN 200 leiding groter zijn in vergelijking met de DN 100 leiding.

Bij de leiding DN 200 stroomt de lucht sneller naar binnen in vergelijking met de leiding DN 100. Op een afstand van 25 meter vanaf de opening wordt daardoor bij de leiding DN 200 sneller een explosief mengsel gevormd in vergelijking met de leiding DN 100. De weerstand van het uitstromen van waterstof en de weerstand van het instromen van lucht zijn bij een grotere diameter kleiner in vergelijking met de kleinere diameter.

Het effect van wind is niet goed meetbaar doordat de windsnelheid bij de metingen zonder de afscherming te beperkt was om überhaupt van invloed te kunnen zijn.

---

2

Dichtheid waterstof is  $0,0899 \text{ kg/m}^3$  (n)

Dichtheid lucht is  $1,293 \text{ kg/m}^3$  (n)

Dichtheid aardgas is  $0,83 \text{ kg/m}^3$  (n)

## 6. Aanbevelingen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek worden de volgende aanvullende metingen aanbevolen.

### Uitvoering van vergelijkbare metingen met aardgas

De metingen tonen aan dat er in een geopende drukloze leiding gevuld met 100% waterstof vrijwel direct een explosief mengsel ontstaat. Het wegstromen van waterstof en toetreden van lucht wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid tussen waterstof en lucht. Het verschil in dichtheid tussen aardgas en waterstof is een factor 9. Daardoor is het te verwachten dat er bij de toepassing van aardgas minder snel een explosief mengsel wordt gevormd. Het is raadzaam om het effect van intrede van lucht bij het herstellen van een leidingbreuk ook te onderzoeken bij een met aardgas gevulde leiding om zodoende de risico's met waterstof beter te kunnen duiden.

Bij een aanvullend onderzoek is het ook raadzaam om de invloed van de grootte van de opening én de lengte van de opening tot de blaas te beschouwen. Bij het uitgevoerde onderzoek is alleen een volledige opening onderzocht en een lengte van 200 meter. In praktijk kan er sprake zijn van kleinere openingen én een kortere lengte tussen opening en blaas.

### Ontstekingsproeven met waterstof en aardgas

Op basis van de uitgevoerde metingen is vastgesteld dat een ontbranding of explosie in de leiding mogelijk is. De verwachting is dat er, in vergelijking met aardgas, bij waterstof sneller en dus over een grotere lengte een explosief mengsel in een drukloze leiding ontstaat. Om vast te stellen wat de gevolgen kunnen zijn van het ontsteken van zo'n explosief mengsel in een afgesloten leidingdeel is nader onderzoek raadzaam. Hierbij wordt bij voorkeur daadwerkelijk een blaas toegepast en wordt een afstand vanaf blaas tot inlaatopening gekozen die overeenkomt met de maximale afstand zoals in de praktijk toegepast. Hierbij kan worden vastgesteld of bij een eventuele explosie een blaas voldoende stabiel is om de gasstroom blijvend te blokkeren. Het wordt aanbevolen om deze ontstekingsproeven met waterstof én met aardgas uit te voeren.



## Bijlage I Overzicht van vragen HyDelta WP1C

In dit werkpakket worden de volgende vragen behandeld.

- Vraagnummer HyDelta 187: Onderzoek naar het veilig in- en uitbedrijf nemen van leidingsecties bij distributie van waterstof tijdens de ombouw naar een waterstofnet en wat zijn de daaraan gepaarde kosten.
- Vraagnummer HyDelta 124: Onderzoek naar uitvoering van de sterkte- en dichtheidsbeproevingen.
- Vraagnummer HyDelta 135: Wat is het effect van het bestaande gasnet op de kwaliteit van waterstof bij distributie en transport? (Zoals onder andere stof en vuil en THT)
- Vraagnummer HyDelta 185: Huisdrukregelaar: Wat is het risico indien deze niet aangepast wordt?
- Vraagnummer HyDelta 101: Onderzoek naar de risico's met betrekking tot bestaande gasinstallaties (bij de klant) bij omzetting van aardgas naar 100% waterstof.
- Vraagnummer HyDelta 61: Hoe sluiten de ontwikkelingen van alle componenten, die geschikt zijn voor 100% waterstof, in het distributienet (incl. aansluitingen), bij de binnen installatie en de gasverbruikstoestellen achter de meter op elkaar aan, zodat de hele keten op elkaar afgestemd is?
- Vraagnummer HyDelta 55: Hoe gaat een ombouw naar een waterstofnet eruit zien?

## Bijlage II Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep deelvraag 187 en aanvulling toetreding lucht

Tabel 3. Samenstelling begeleidingsgroep en sparringsgroep

Naam	Werkgever	Begeleidingsgroep	Sparringsgroep
D. Nieuwenhuizen	Stedin		V
H. Smit	Enexis		V
W. Koppenol	Enexis	V	V
W.R. Nispeling	Alliander		V
R. den Hartog	Westland Infra	V	V
J. Jonkman	Rendo	V	V
R. Scholten	Rendo	V	V
C. Lock	Kiwa Technology	V	V
S. Lueb	Kiwa Technology	V	V

*De begeleidingsgroep is een actievere rol toebedacht bij de uitvoering van het deelonderzoek in vergelijking met de sparringsgroep. De sparringsgroep is betrokken bij de opzet van het testprogramma en bij het beoordelen van de concept-rapportages.*

## Bijlage III Memo testprogramma vermenging waterstof met lucht

# Memo



Bestemd voor: Sparringsgroep deelvraag 187 WP1C  
onderwerp: Aanvulling diffusie op testprogramma deelvraag 187  
spoelen\_V2  
van: Sander Lueb  
datum: 26 februari 2021

Kiwa Technology B.V.  
Wilmersdorf 50  
Postbus 137  
7300 AC Apeldoorn

Tel. 088 998 35 21  
technology@kiwa.nl  
[www.kiwatechnology.com](http://www.kiwatechnology.com)

In de memo d.d. 5 februari 2021 is het testprogramma opgenomen m.b.t. het spoelen van aardgasleidingen rechtstreeks met waterstof.

Er is een verzoek van Pascal te Morsche (vanuit OGH2) gekomen welke mogelijk gecombineerd kan worden met de metingen in het kader van deelvraag 187 uit WP1C. Tijdens overleg met de sparringsgroep en begeleidingsgroep op 10 februari is afgesproken dat Kiwa een voorstel gaat opstellen.

## Verzoek

*Vanuit de OGH2 doet Kiwa (Henk Salomons) op dit moment onderzoek naar diffusie van waterstof, als je een met waterstof gevulde binnenleiding afkoppelt en open laat staan. Dus geen flow, maar 'stilstaand' gas, hoe snel vermengen lucht en waterstof dan in de leiding en leidt dat tot risicovolle mengsels?  
Voor 16 en 23 mm lijkt dat nu mee te vallen, weinig vermenging.*

*Met regelmaat komt de vraag voorbij, of we deze proef ook niet moeten doen voor grotere leidingen. Bijvoorbeeld bij een leidingbreuk, wordt de hoofdleiding drukloos en kan er lucht in de leiding komen. Hoe snel gaat dat?  
Op het Kiwa terrein liggen nu de 200 en 110 PE leidingen, die kun je daarvoor gebruiken.*

## **Bij deze dit voorstel:**

Het vertrekpunt van de spoelmetingen zijn met aardgas gevulde leidingen. De concentratie toename van waterstof wordt vastgesteld aan de hand van aardgasdetectoren (afname van aardgasconcentratie). Na afloop van de spoelmetingen zijn de PE leidingen 200 en 110 mm gevuld met waterstof. Daarna starten de metingen in het kader van diffusie. Ten behoeve van de diffusiemetingen wordt op 1, 10 en 25 meter afstand<sup>1</sup> van de inlaat meetpunten ten behoeve van een waterstofmeting aangebracht (meetpunt bovenin en onderin de leiding). Na afloop van de spoelmetingen wordt de inlaat in contact gebracht met de buitenlucht. De meetapparatuur werkt door middel van aanzuiging van het gas. Het afgezogen gas wordt tussen de hiervoor genoemde meetpunten weer in het leidingsysteem gebracht, zie onderstaande figuur. De concentratie waterstof wordt iedere 2 minuten opgenomen.

De tijdsduur van de diffusiemetingen is één uur (zie toelichting verderop). Er worden vier meetseries uitgevoerd. Twee met de 200 mm en twee met de 110 mm leiding. Na de meting wordt de leiding weer aardgasvoerend gemaakt door het toevoeren van aardgas (door toepassing van een affakkelininstallatie met vlamdover).

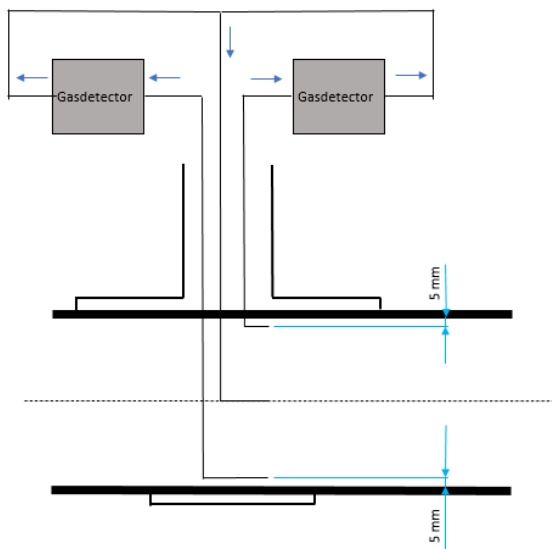
## Circulatie vanwege afzuiging:

Door het afzuigen en weer inbrengen van gas krijg je inderdaad wat circulatie. In het veld zal er als gevolg van wind ook een bepaalde menging plaats vinden. Bij deze metingen is het niet persé de bedoeling om de gelaagdheid van concentraties in beeld te brengen, maar om te bepalen tot welke afstand zich een explosief mengsel vormt. Waterstofstofsensoren zonder aanzuiging hebben wij op dit moment niet in ons bezit.

---

<sup>1</sup> Er is al een aftakking op 1 meter aanwezig. De aftakkingen op 10 en 25 meter zullen nog aangebracht worden.





### Tijdsduur

De metingen zijn bedacht met als achtergrond een leidingbreuk en dat netbeheerders een breuk niet langdurig open laten liggen (nadat de gastoevoer naar de breuk is gestopt). Vanwege het niet langdurig open laten liggen is er voor 1 uur gekozen. Het vormen van het explosief mengsel zal plaats gaan vinden na het zetten van de blazen. De vraag die we wilden beantwoorden; kan er lucht instromen en hoe snel gaat dat? De voorgestelde metingen van 1 uur geven daarin een eerste inzicht, mochten de metingen daar aanleiding voor geven zullen we de tijdsduur gaan verlengen. De verwachting (op basis van metingen uitgevoerd met een gasmeter) is dat waterstof snel zal uittreden.

### Effecten wind

Om de opening wordt bij enkele metingen een afschermd tent geplaatst. Desondanks worden weersomstandigheden tijdens de metingen gelogd (windsnelheid, windrichting en temperatuur). In praktijk heeft de mate van wind uiteraard invloed op de metingen. Hoe harder het waait des te sneller zal er menging van gas en lucht in de leiding plaats vinden. Door bij de metingen een tent om de inlaat te plaatsen kijk je zoveel als mogelijk naar het werkelijk diffusie-proces. Stel dat er dan al over grote lengte een explosief mengsel wordt gevormd binnen bijvoorbeeld 30 minuten dan zal dat bij aanwezigheid van wind nog sneller gaan. We stellen dus de mate van diffusie vast. Vandaar dus het plaatsen van de tent.

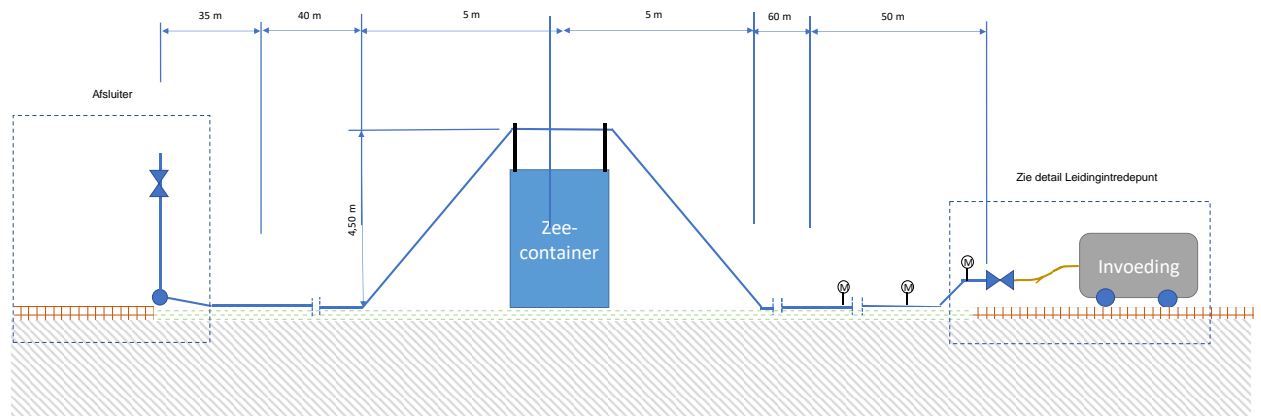
We hadden 4 meetseries voorgesteld (2 aan 110 en 2 aan 200). Om het effect van (de dan heersende) wind inzichtelijk te krijgen stellen we nu het volgende voor:

- 1 meetserie 110 met afscherming door een tent.
- 1 meetserie 110 zonder afscherming
- 1 meetserie 200 met afscherming door een tent.
- 1 meetserie 200 zonder afscherming

De meerkosten voor deze werkzaamheden (voorbereidingen, metingen en rapportage) zijn 5.500 Euro (ex. BTW). Vooralnog is echter de verwachting dat deze kosten binnen het gehele budget van WP1C uitgevoerd kunnen worden.

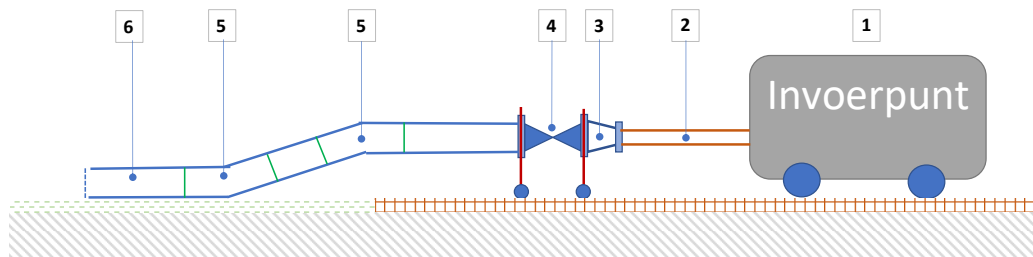
## Bijlage IV Detailtekeningen van de testleiding

## Totale tracé



Meetpunten (M) voor het meten van de concentratie waterstof op 1, 10 en 25 meter vanaf de afsluiter na het invoerpunt (niet op schaal). De gehele testleiding is gevuld met waterstof.

## Detail leidingintredepunt



- 1 Mobiel districstation
- 2 Flexibele aansluit slang
- 3 Verloop 4 inch - 8 inch
- 4 Schuifafsluiter DN 200
- 5 Bocht 22 gr - R 3,5 D
- 6 PE 200 - SDR 17

Naast de testleiding van DN 200 zoals hierboven weergegeven, is een testleiding DN 100 aangelegd, met hetzelfde leidingverloop.

Na het vullen van de leiding met waterstof zijn de onderdelen 1, 2 en 3 verwijderd. Daarna is de afsluiter (4) volledig geopend om de lekkage (open uitstroming) aan te brengen.



Bijlage V Foto's van de testopstelling



Intredepunten en aanstroomzijde brugleiding



Brugleiding en afstroomzijde brugleiding



De toegepaste afscherming om de geopende afsluiter.

## Bijlage VI Gebruikte meetapparatuur

Omschrijving	Fabriek en type	Kiwa-nr
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114632
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114633
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114634
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114635
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114636
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114638