

# HyDelta

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

### **D1C.1 vraagnummer 187 – Spoelen van aardgasleidingen met waterstof**

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	<a href="mailto:sander.lueb@kiwa.com">sander.lueb@kiwa.com</a>

### 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	20-04-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Uitwerking van versie 1
3	12-05-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Verwerking van diverse opmerkingen
4	26-05-2021	Sander Lueb	Kiwa Technology	Aanvullende opmerkingen m.b.t. uitsluiten kosten voorbereiding

### 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 goedkeuring

Partner	Naam	Email adres
Kiwa Technology	Cees Lock	<a href="mailto:cees.lock@kiwa.com">cees.lock@kiwa.com</a>
Leden van de begeleidingsgroep en stuurgroep (zie Bijlage I) hebben versie 1 en versie 2 beoordeeld en commentaar aangeleverd.		

## Executive summary

As part of the national research program HyDelta, a study has been carried out into the purging of existing natural gas pipelines with hydrogen. The research described in this report is part of the Work Package 1C "Pipes and indoor installations" and concerns the research question 187. This question is as follows:

How can existing gas distribution pipelines be safely decommissioned as a natural gas pipeline and (simultaneously) put into operation as a hydrogen pipeline during a conversion to a hydrogen network? What are the associated costs?

During the conversion of the natural gas network to a hydrogen network, the natural gas in the distribution pipes will have to be replaced by hydrogen. Assuming that no air enters the pipeline, this means that the natural gas can be directly expelled by hydrogen.

The purpose of this study is to determine whether the purging of a natural gas pipeline with hydrogen can be carried out safely and what purging speed is necessary to obtain a sufficient displacement of natural gas. In addition, the aim of this research is to determine the associated costs.

For the experiment two pipes (DN 100 and DN 200) with a length of approximately 200 meters per diameter have been used which were placed on the Kiwa site in Apeldoorn. The test pipes (which includes a bridge line) are equipped with measuring points at three distances. The minimum purging speed is determined by filling the pipe with 100% natural gas. After that, hydrogen was fed at different velocities.

The research shows that hydrogen can be used to expel natural gas from existing natural gas pipelines. A natural gas distribution pipeline can be put into operation as a hydrogen distribution pipeline after the expulsion of the natural gas.

It has also been shown that purging natural gas with hydrogen including flaring is safe and technically feasible.

With a purging speed of 0.2 m/s in both the DN 100 and the DN 200 the natural gas is completely displaced by hydrogen. However, practical conditions when purging pipes may be less favorable compared to purging the test lines. For this reason, a safety factor of two is applied to ensure that the pipes are fully purged. The minimum purging speed is therefore 0.4 m/s

To reduce the duration of purging, a speed of 1.0 m/s is recommended. The period when there is an open flame (flaring) is therefore also shortened. These minimum and recommended purging speeds are in line with the report Purging of hydrogen pipelines (Kiwa Technology GT-200289, reference [1]).

The global cost of purging main gas pipes with hydrogen are € 685 (excl. VAT) per kilometer. These costs are limited to actually performing the purging of the main pipes. The costs for the preparation of work (for instance drawings, switching plans, KLIC reports) and conversion into the house, etc. have not been taken into account, because these are very specific for the part of network to be converted.

## Samenvatting

In het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta is een onderzoek uitgevoerd naar het spoelen van bestaande aardgasleidingen met waterstof. Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is onderdeel van het werkpakket 1C “Leidingen en binneninstallaties” en betreft de onderzoeksvraag 187. Deze is als volgt:

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?

Tijdens de ombouw van het aardgasnet naar een waterstofnet zal het aardgas in de distributieleidingen moeten worden vervangen door waterstof. Onder de aanname dat er geen lucht in de leiding komt, betekent dit dat het aardgas rechtstreeks kan worden verdreven door waterstof.

Doel van dit onderzoek is vast te stellen of het spoelen van een aardgasleiding met waterstof veilig kan worden uitgevoerd en welke spoelsnelheid noodzakelijk is om een voldoende verdringing van aardgas te verkrijgen. Daarnaast is het doel van dit onderzoek om vast te stellen wat de daaraan verbonden kosten zijn.

Voor het uitvoeren van de beproevingen is gebruik gemaakt van de op het Kiwa terrein in Apeldoorn aanwezige leidingen met een lengte van circa 200 meter die voorzien zijn van meetpunten en een brugleiding. Het gaat hierbij om twee leidingdiameters (DN 100 en DN 200). De minimale spoelsnelheid is vastgesteld door de leiding te vullen met 100% aardgas. Daarna werd waterstof met verschillende snelheden toegevoerd.

Uit het onderzoek blijkt dat met waterstof het aardgas uit bestaande aardgasleidingen te verdrijven is. Hiermee is de aardgasdistributieleiding na het verdrijven van het aardgas direct in bedrijf gesteld als waterstofdistributieleiding.

Ook is gebleken dat het spoelen van aardgas met waterstof inclusief het affakkelen veilig en technisch uitvoerbaar is.

Met een spoelsnelheid van 0,2 m/s wordt bij zowel de DN 100 als bij de DN 200 het aardgas volledig verdreven door waterstof. Praktijkomstandigheden bij het spoelen van leidingen kunnen echter ongunstiger zijn in vergelijking met het spoelen van de testleidingen. Om die reden wordt een veiligheidsfactor van twee aangehouden om er zeker van te zijn dat de leidingen volledig zijn gespoeld. De minimale spoelsnelheid wordt hierdoor 0,4 m/s. Om de duur van het spoelen te verkorten wordt een snelheid van 1,0 m/s geadviseerd. De periode dat er sprake is van een open vlam (affakkelen) wordt daarmee ook beperkt. Deze minimale en geadviseerde spoelsnelheden zijn in lijn met de rapportage Spoelen van waterstofleidingen (Kiwa Technology GT-200289, referentie [1]).

De globale kosten voor het spoelen van hoofdleidingen met waterstof zijn € 685,= (excl. BTW) per kilometer. Deze kosten beperken zich tot het daadwerkelijk uitvoeren van het spoelen van de hoofdleidingen. De kosten voor de werkvoorbereiding (bijvoorbeeld het maken van tekeningen, schakelplannen, KLIC-meldingen) en omzetting in de woning e.d. zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze heel specifiek zijn voor het om te zetten gedeelte van het net.

## Table of contents

Document samenvatting .....	2
Executive summary .....	3
Samenvatting.....	4
1. Aanleiding.....	7
1.1 Algemeen.....	7
1.2 Probleemstelling.....	7
1.3 Onderzoeksvraag 187 .....	7
2. Doel .....	8
3. Methode.....	9
3.1 Werkwijze algemeen .....	9
3.2 Beschikbare informatie .....	9
3.3 Testprogramma metingen.....	9
3.4 Testleiding .....	10
4. Resultaat.....	12
4.1 Spoelmetingen leiding DN 100 .....	13
4.1.1 Leiding DN 100 – metingen 1 t/m 3 .....	13
4.1.2 Leiding DN 100 – metingen 4 en 5 .....	15
4.1.3 Leiding DN 100 – metingen 6 en 7 .....	16
4.1.4 Beschouwing resultaten DN 100 .....	17
4.2 Spoelmetingen leiding DN 200 .....	18
4.2.1 Leiding DN 200 – metingen 1 en 2 .....	18
4.2.2 Leiding DN 200 – metingen 3 en 4 .....	19
4.2.3 Leiding DN 200 – metingen 5 en 6 .....	20
4.2.4 Leiding DN 200 – metingen 7 en 8 .....	21
4.2.5 Beschouwing resultaten DN 200 .....	22
4.3 Verloop van nulpunt in relatie tot volledige verdrijving aardgas.....	22
4.4 Gemeten snelheden .....	23
4.5 Vaststelling volledige verdrijving aardgas en affakkelen .....	25
5. Inschatting van de kosten.....	26
6. Conclusies en beantwoording onderzoeksvraag.....	27
Referenties .....	28
I Overzicht van vragen HyDelta WP1C .....	29
II Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep deelvraag 187 .....	30
III Risico inventarisatie en evaluatie door Kiwa.....	31

IV	Memo testprogramma deelvraag 187 spoelen.....	32
V	Detailtekeningen van de testleiding.....	33
VI	Foto's van de testopstelling .....	35
VII	Gebruikte meetapparatuur .....	36
VIII	Verwijzing naar filmopnamen affakkelen.....	37
IX	Spoelsnelheden en debieten bij verschillende leidingdiameters.....	38

## 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 gasdistributie en heeft als doel om barrières voor innovatieve waterstofprojecten weg te nemen. Het volledige onderzoeksprogramma is ingedeeld in werkpakketten. Voor een toelichting op de verschillende werkpakketten zie [www.hydelta.nl](http://www.hydelta.nl)

### 1.2 Probleemstelling

Tijdens de ombouw van het aardgasnet naar een waterstofnet zal het aardgas in de leidingen moeten worden vervangen door waterstof. Onder de aanname dat er geen lucht in de leiding komt, betekent dit dat het aardgas rechtstreeks kan worden verdreven door waterstof. De snelheid waarmee een afdoende verdringing van het aardgas wordt verkregen moet daartoe worden vastgesteld. Overwogen kan worden de bestaande leiding eerst met stikstof te spoelen. Echter, in het Kiwa Technology rapport Spoelen van waterstofleidingen (GT-200289) is het volgende opgenomen: *Bij de ombouw van netten van aardgas naar waterstof is rechtstreeks verdringen van het aardgas door waterstof veiliger dan eerst spoelen met stikstof.*

*Toelichting:*

- Als aardgas rechtstreeks wordt verdreven door waterstof kan er geen brandbaar gasmengsel in de leiding ontstaan; geen kans op vlaminslag.
- Stikstof als buffergas toepassen heeft geen toegevoegde waarde in dit geval. Het heeft dan zelfs een (beperkt) nadeel, immers elke handeling geeft een kans op het maken van fouten.

Het Kiwa Technology rapport Spoelen van waterstofleidingen beschrijft het in bedrijf stellen en buiten bedrijf stellen van waterstofleidingen waarbij de leidingen eerst worden gespoeld met een inert gas. Dat onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Netbeheer Nederland.

### 1.3 Onderzoeksvraag 187

Deze rapportage geeft antwoord op de onderzoeksvraag 187 uit het werkpakket 1C Leidingen en binneninstallaties<sup>1</sup>.

De onderzoeksvragen zijn als volgt<sup>2</sup>:

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?

Op basis van de oorspronkelijke onderzoeksvraag is het uitgangspunt bij dit onderzoek dat een bestaande aardgasleiding wordt omgebouwd naar een waterstofleiding waarbij het aardgas rechtstreeks verdrongen wordt door waterstof.

---

<sup>1</sup> De overige vragen uit dit werkpakket zijn opgenomen in Bijlage I.

<sup>2</sup> De oorspronkelijke vraag zoals omschreven in de werkpakketomschrijving is: 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. In overleg met de begeleidingsgroep en sparringsgroep is de onderzoeksvraag geherformuleerd.

## 2. Doel

Doel van dit onderzoek is vast te stellen of het spoelen van een aardgasleiding met waterstof veilig kan worden uitgevoerd en welke spoelsnelheid noodzakelijk is om een voldoende verdringing van aardgas te verkrijgen. Daarnaast is het doel van dit onderzoek om vast te stellen wat de daarmee gepaard gaande kosten zijn.

Implementatie van het spoelen van aardgasleidingen met waterstof in de bedrijfsvoering van de netbeheerders, risico's bij affakkelen voor de omgeving en hoe om te gaan met het spoelen van aansluitleidingen zijn in dit onderzoek niet beschouwd of onderzocht.

### Opmerkingen:

De testleidingen DN 200 en DN 100 zijn, net als bij de eerdere onderzoeken, gekozen omdat circa 96% van de gasdistributieleidingen een diameter hebben kleiner of gelijk aan DN 200. Als het spoelen van de testleidingen mogelijk is met de spoelsnelheid zoals in dit rapport vermeld, dan kan ervan uit worden gegaan dat met diezelfde spoelsnelheid ook de overige leidingen met een kleinere diameter dan DN 200 kunnen worden gespoeld. Anders gezegd: door het bepalen van de benodigde spoelsnelheid voor de testleidingen, is voor 96%<sup>3</sup> van de gasdistributieleidingen de benodigde spoelsnelheid bekend.

Op basis van de resultaten verkregen met de metingen aan de DN 200 en DN 100 testleidingen wordt een opgave gedaan van de minimale spoelsnelheid bij overige leidingdiameters.

---

<sup>3</sup> Bron: "Overzicht van de aanwezige leidingmaterialen in het Nederlandse gasdistributienet", GT-080133 (Kiwa Technology rapport van 2008). Hierbij zij opgemerkt dat de binnendiameter van de SDR 17 PE-leiding DN 200 kleiner is dan van de meeste andere gasdistributieleidingen met dezelfde buitendiameter.



### 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 netbeheerders (zie Bijlage II).

De risico's in het kader van het spoelen van aardgas met waterstof in de lage druk distributieleidingen zijn aangedragen door de deelnemers van de sparringsgroep (zie Bijlage III en IV). Deze zijn vervolgens besproken waarbij, op basis van de reeds beschikbare rapportages (zie paragraaf 2.2), een voorstel voor een testprogramma is geformuleerd door de begeleidingsgroep (opgenomen in Bijlage IV). Dit testprogramma is door de sparringsgroep vastgesteld.

#### 3.2 Beschikbare informatie

Het spoelen van aardgasleidingen en waterstofleidingen is in het recente verleden onderzocht en beschreven in de volgende rapportages:

- Kiwa Technology rapport GT-200075; Spoelen van aardgasleidingen. De minimale vastgestelde snelheid(DN 200) is 0,3 m/s, er wordt een spoelsnelheid van 1 m/s geadviseerd. Dit rapport bevat theoretisch berekende spoelsnelheden (met theoretische achtergronden) en praktisch vastgestelde spoelsnelheden.
- Kiwa Technology rapport GT-200289; Spoelen van waterstofleidingen, referentie [1]. De minimale vastgestelde snelheid(DN 200) is 0,4 m/s, er wordt een spoelsnelheid van 1 m/s geadviseerd. Dit rapport bevat theoretisch berekende spoelsnelheden (met theoretische achtergronden) en praktisch vastgestelde spoelsnelheden.
- Kiwa Technology rapport GT-200096; Affakkelen en afblazen van waterstof, referentie [2]. Daarin wordt in tabel 1 van de samenvatting ook de ombouw van aardgas naar waterstof benoemd. Hierin wordt geadviseerd het gas af te fakkelen (i.v.m. milieubelasting).

Het rechtstreeks spoelen van aardgas met waterstof vormde geen onderdeel van deze onderzoeken, dit rapport is daar een aanvulling op.

#### 3.3 Testprogramma metingen

De aanpak is overeenkomstig met de gehanteerde aanpak bij de reeds uitgevoerde experimenten in opdracht van Netbeheer Nederland zoals beschreven in de in paragraaf 2.2 genoemde rapportages.

De snelheid waarmee een afdoende verdringing van het aardgas wordt verkregen is daarmee vastgesteld en ook de ontwikkeling van het aardgas/waterstof mengsel tijdens het spoelen. De gevonden resultaten kunnen daarmee een referentie leveren voor de omzetting van aardgas naar waterstofgas, waarmee de voorschriften kunnen worden opgesteld.

Voor het uitvoeren van de beproevingen is gebruik gemaakt van de op het Kiwa terrein in Apeldoorn aanwezige leidingen met elk een lengte van circa 200 meter die voorzien zijn van meetpunten en een brugleiding. Het gaat hierbij om twee leidingdiameters (DN 100 en DN 200). De minimale spoelsnelheid is vastgesteld door de leiding te vullen met 100% aardgas. Daarna werd waterstof met verschillende snelheden toegevoerd.

Het spoelen van aardgas gevulde leidingen met waterstof is uitgevoerd aan PE-leidingen met de volgende spoelsnelheden

DN 100; 0,2 m/s, 0,4 m/s en 1,0 m/s.

DN 200; 0,2 m/s, 0,4m/s, 0,8 m/s en 1,0 m/s.

De metingen zijn in duplo uitgevoerd.

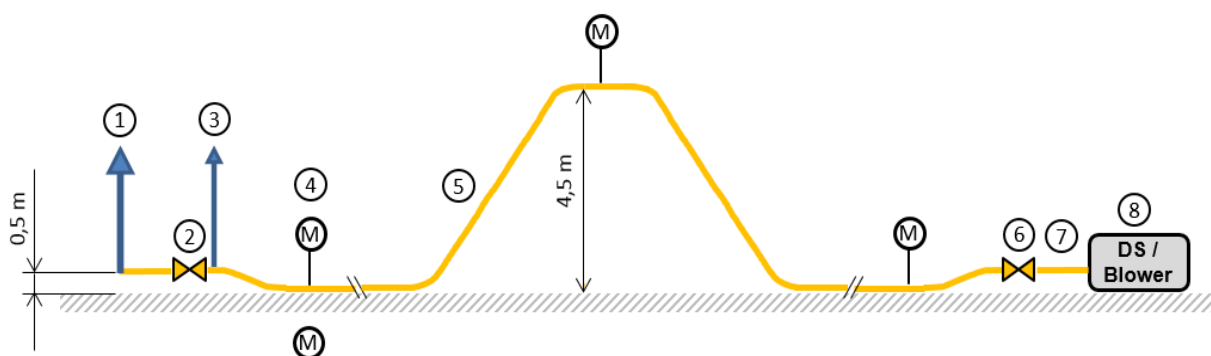
Tijdens de metingen is de afname van de aardgasconcentratie gemeten (iedere seconde een meting). De gebruikte meters zijn niet kruisgevoelig voor waterstof (IR-meetprincipe)<sup>4</sup>. Net voor de affakkelininstallaties is de concentratie waterstof gemeten, deze meter is kruisgevoelig voor de aanwezigheid van aardgas. Deze meting is gebruikt als controlepunt voor de aanwezigheid van 100% waterstof aan het eind van de meting. Zie Bijlage VII voor een overzicht van de gebruikte meetapparatuur.

Het aardgas gevolgd door het waterstof is afgefakkeld met een affakkelininstallatie (zonder vlamdover) zoals gebruikt voor aardgas. Het affakkelen is op film vastgelegd.

### 3.4 Testleiding

Onderstaande beschrijving geldt voor de leiding DN 200, de leiding DN 100 is op dezelfde wijze aangelegd.

Een overzichtstekening van de testleiding is gegeven in Bijlage V. Zie Bijlage VI voor enkele foto's.



Figuur 1. Testleiding met een totale lengte van circa 200 meter.

Nr.	Omschrijving	Toelichting
1	Afblaas grote diameter (DN 200)	Bij deze beproevingen niet gebruikt
2	Afblaasafsluiter DN 200	
3	Afblaaszadel diameter (1½")	Bij deze beproevingen gebruikt
4	Meetpunten gasconcentratie (M)	Op iedere afstand een meting boven, midden en onder in de buis
5	PE 100 SDR 17 DN 200 - lengte 200 m	De leiding is bovengronds aangelegd
6	Voedingsafsluiter stikstof/waterstof DN 200	
7	Flexibele aansluitslang	
8	Aardgas-waterstofvulpunt	P <sub>i</sub> max. 100 mbar, P <sub>u</sub> ~ atmosferisch

<sup>4</sup> De gebruikte meters geven het meetresultaat weer als CH<sub>4</sub>. De meters zijn echter ook kruisgevoelig voor hogere koolwaterstoffen. In het gebruikte aardgas zat hoofdzakelijk methaan (81,2%), stikstof (13,4%), kooldioxide (1,1%), ethaan (3,6%) en propaan (0,5%). Het percentage hogere koolwaterstoffen wordt als een hoger percentage methaan weergegeven. Bijvoorbeeld; daar waar 0,5% ethaan in een gas aanwezig is geeft de meter 1,8% CH<sub>4</sub> weer en daar waar 0,5% propaan in een gas aanwezig is geeft de meter 2% CH<sub>4</sub> weer. Dit verklaart waarom de meters 100% CH<sub>4</sub> weergeven bij aanbod van 100% Gronings aardgas.

Toelichting:

Door bij de meetpunten op drie verschillende hoogtes in de buis te meten (boven, midden en onder in de buis) wordt een beeld verkregen van de gelaagdheid van het waterstof-aardgasmengsel in de buis. Deze gelaagdheid kan ontstaan door het verschil in soortelijke massa van aardgas en waterstof.

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.

## 4. Resultaat

In dit hoofdstuk zijn de meetresultaten opgenomen van de uitgevoerde metingen.

Tabel 1. Uitgevoerde metingen

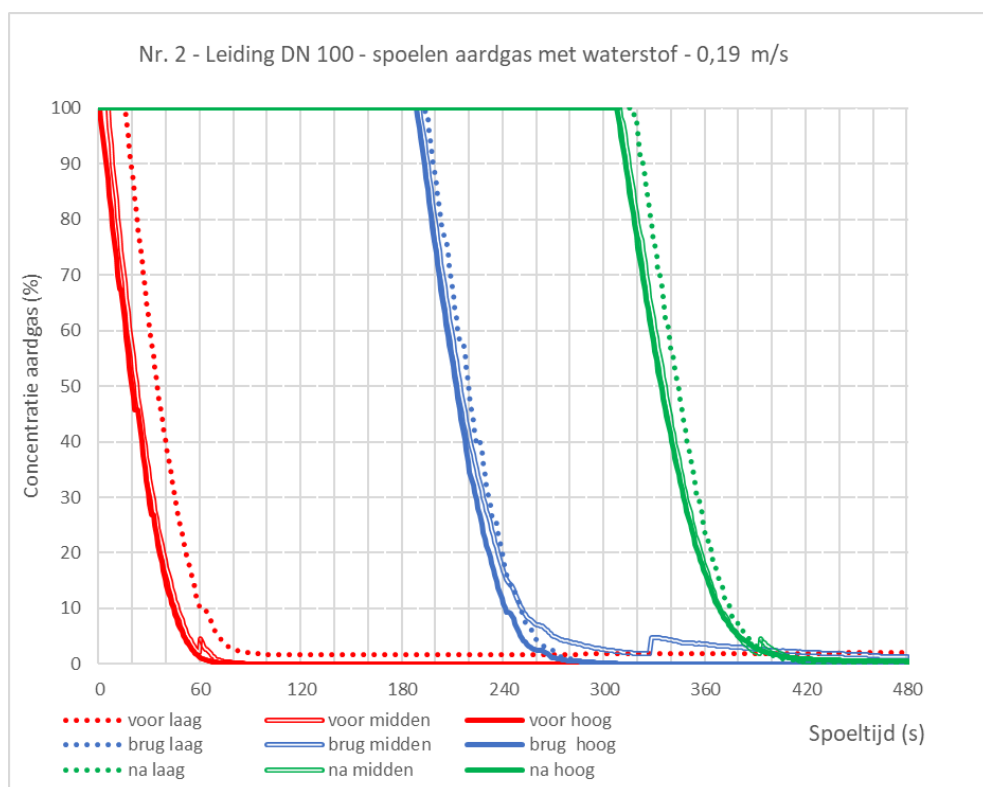
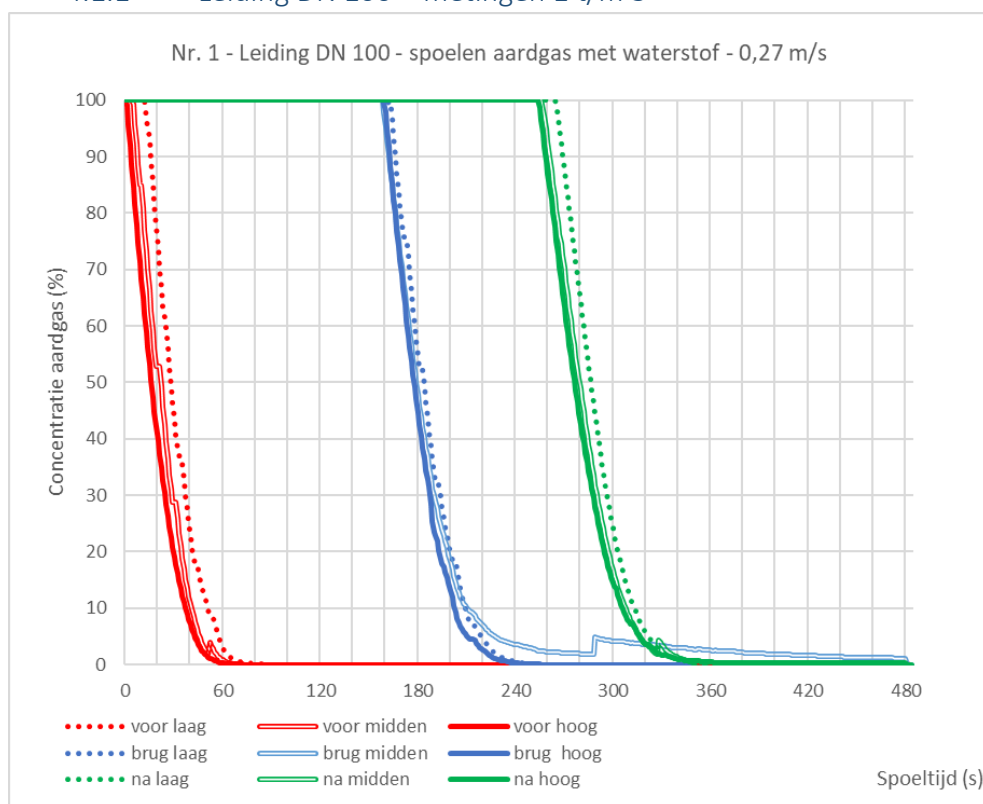
Metingnr.	Leidingdiameter	Initiële spoelsnelheid* (m/s)	Paragraaf
1	DN 100	0,27	4.1.1
2	DN 100	0,19	4.1.1
3	DN 100	0,19	4.1.1
4	DN 100	0,39	4.1.2
5	DN 100	0,38	4.1.2
6	DN 100	1,09	4.1.3
7	DN 100	1,00	4.1.3
Beschouwing	DN 100		4.1.4
1	DN 200	0,19	4.2.1
2	DN 200	0,20	4.2.1
3	DN 200	0,40	4.2.2
4	DN 200	0,40	4.2.2
5	DN 200	0,82	4.2.3
6	DN 200	0,82	4.2.3
7	DN 200	0,95	4.2.4
8	DN 200	0,97	4.2.4
Beschouwing	DN 200		4.2.5
<p><i>*De initiële spoelsnelheid betreft de snelheid zoals ingesteld aan het begin van de beproeving. Met name bij de DN 200 neem de snelheid gedurende de meting toe. Zie paragraaf 3.4 voor een toelichting. In de grafieken in 3.1 en 3.2 zijn de initiële spoelsnelheden opgenomen.</i></p>			

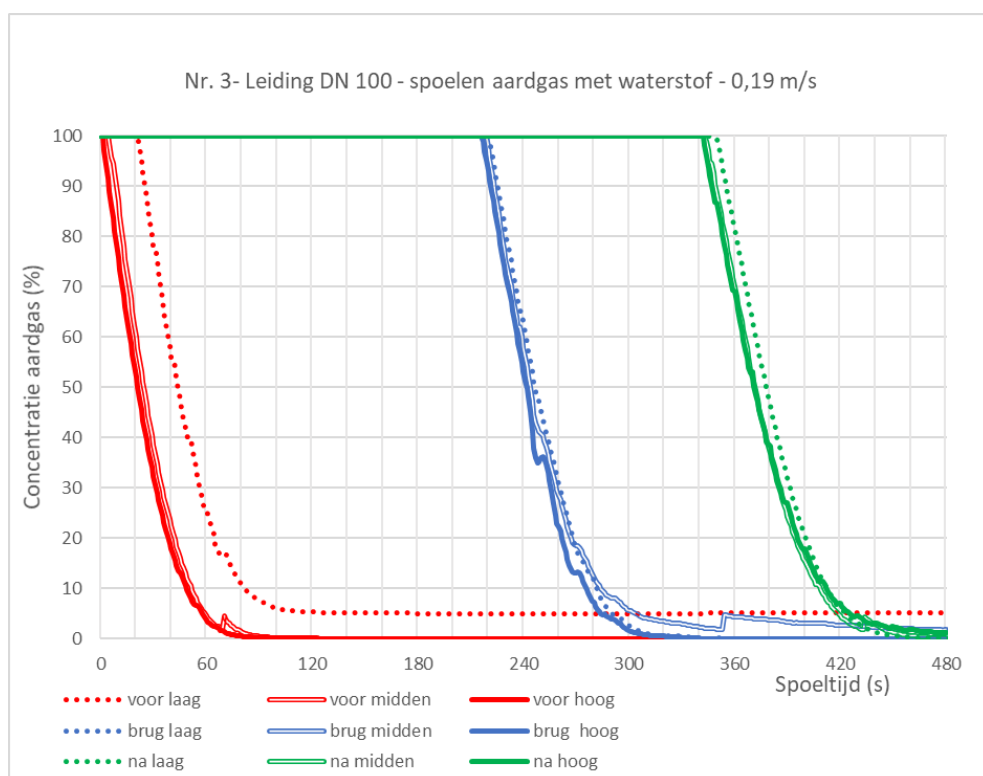
Aandachtspunten:

- In paragraaf 4.1.4 en 4.2.5 wordt een toelichting gegeven op de bij alle metingen waarneembare sprong in de aardgasconcentratie op het moment dat nagenoeg alle aardgas is verdreven.
- In paragraaf 4.3 wordt een toelichting gegeven op het waargenomen verloop van het nulpunt van enkele meters.
- In paragraaf 4.4 wordt aangegeven op basis waarvan de snelheden zijn bepaald.
- In paragraaf 4.5 worden de resultaten van het affakkelen beschreven.

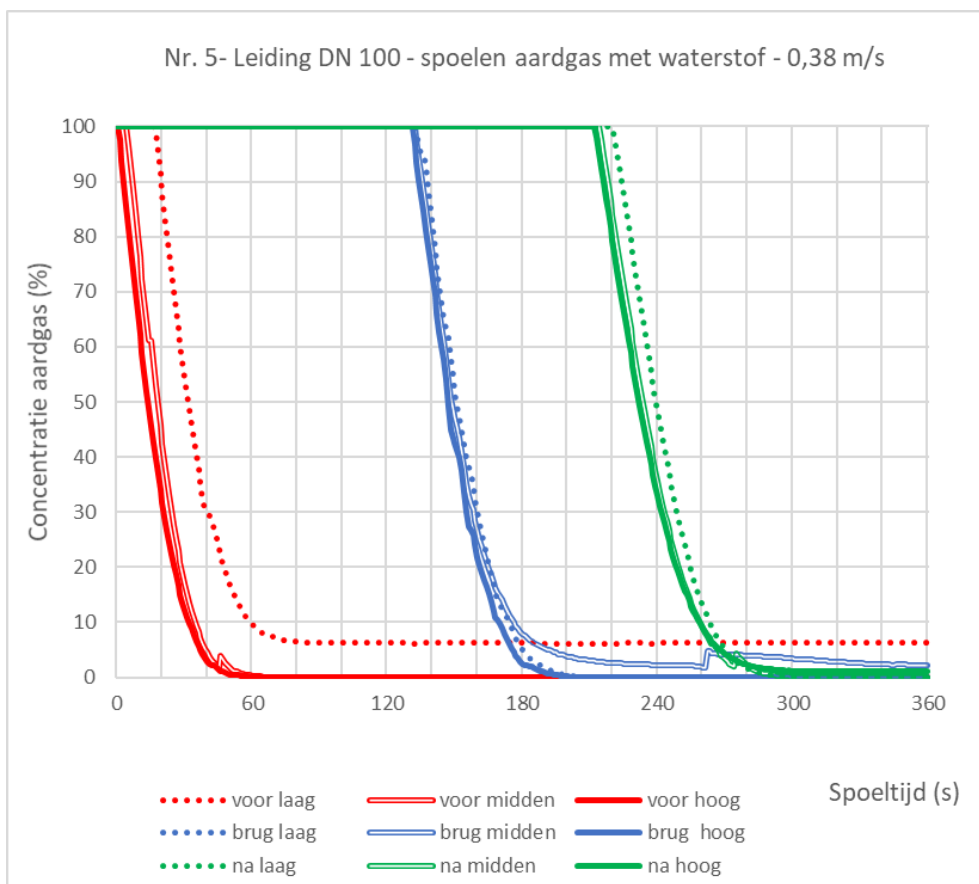
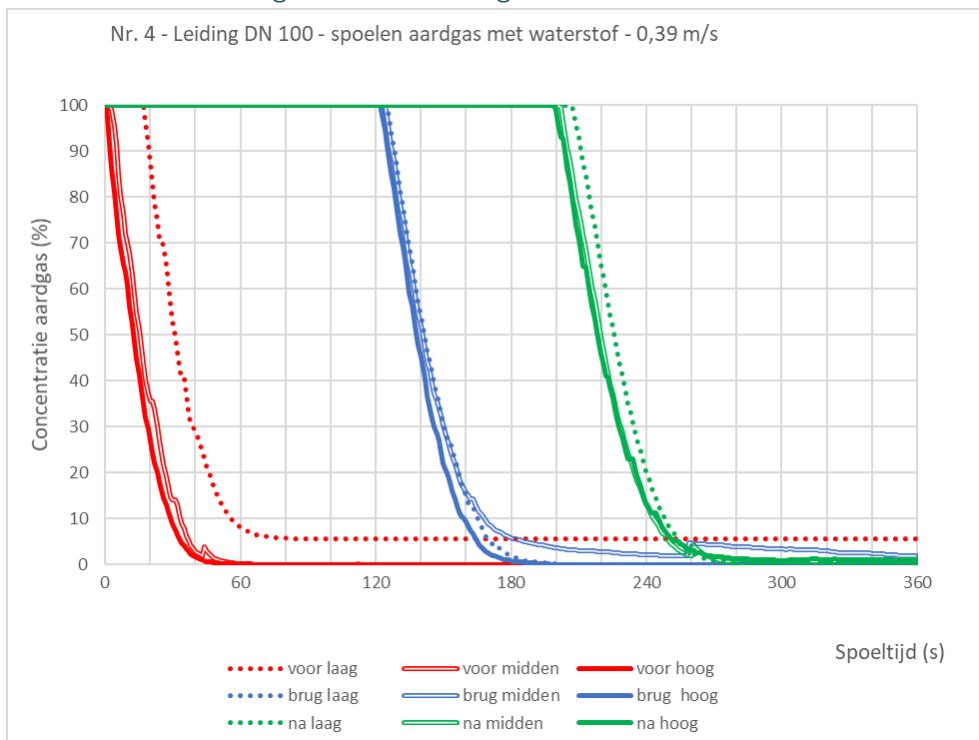
## 4.1 Spoelmetingen leiding DN 100

### 4.1.1 Leiding DN 100 – metingen 1 t/m 3

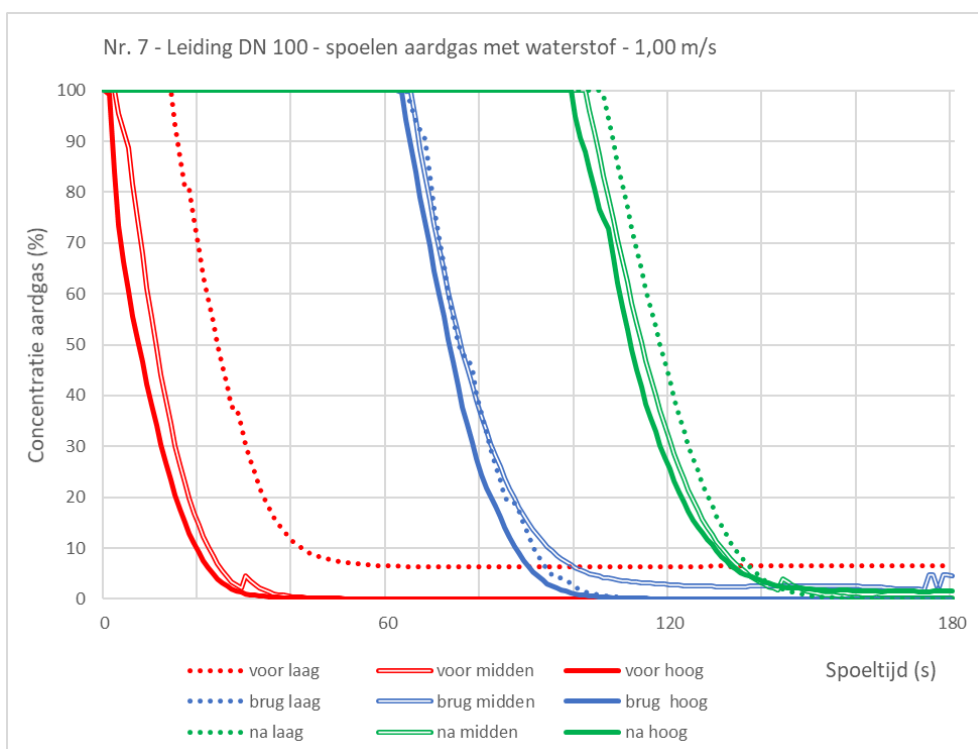
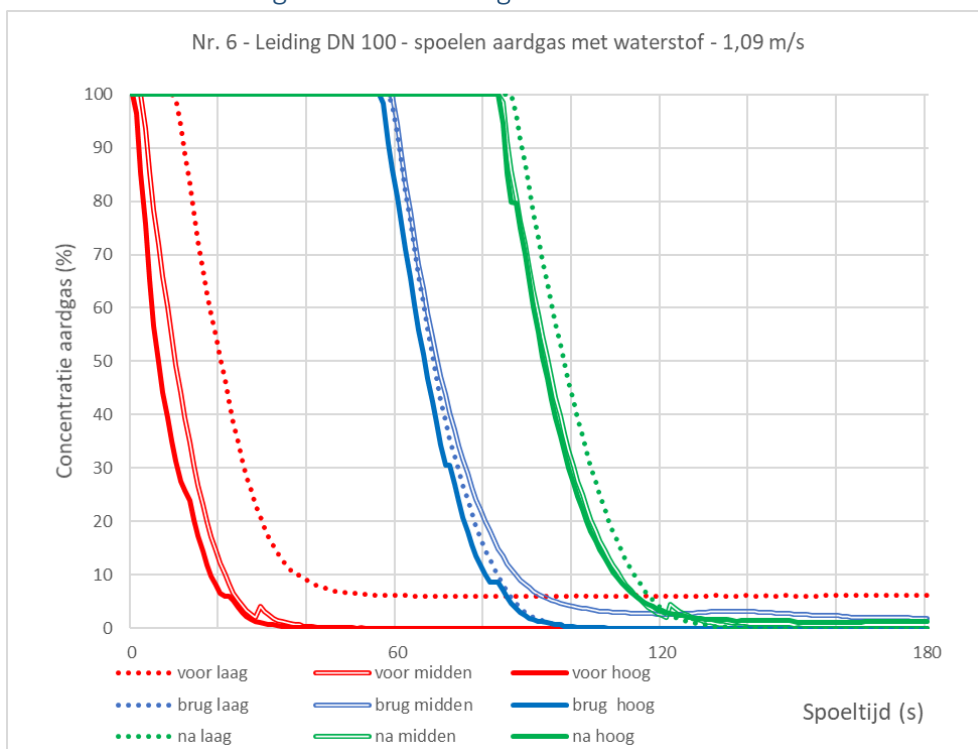




#### 4.1.2 Leiding DN 100 – metingen 4 en 5



#### 4.1.3 Leiding DN 100 – metingen 6 en 7





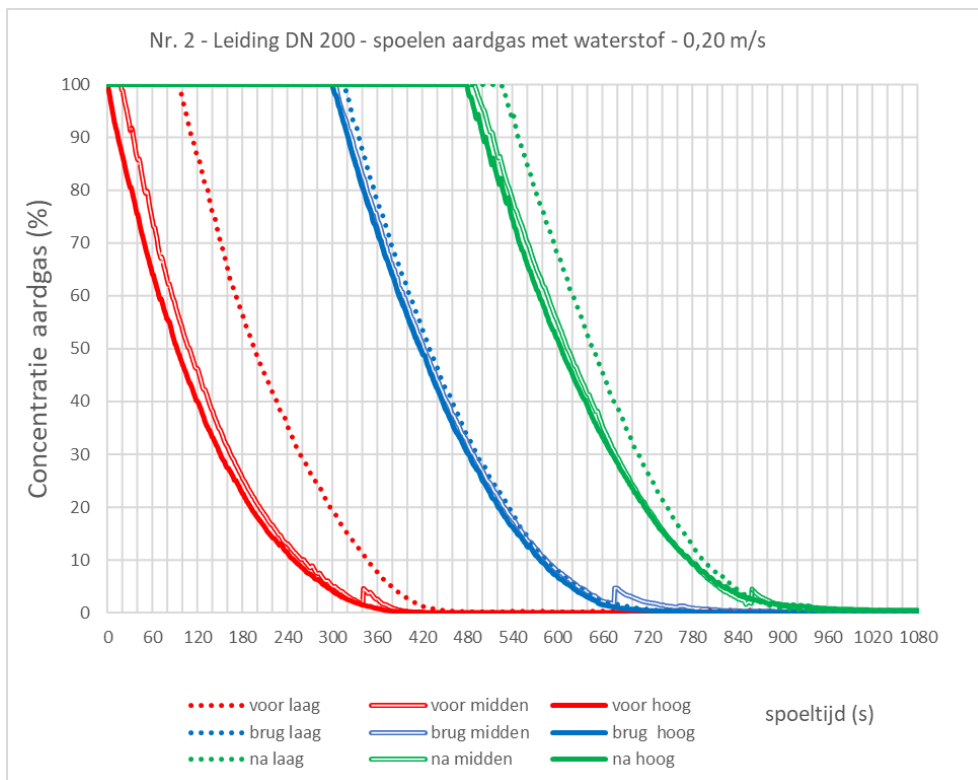
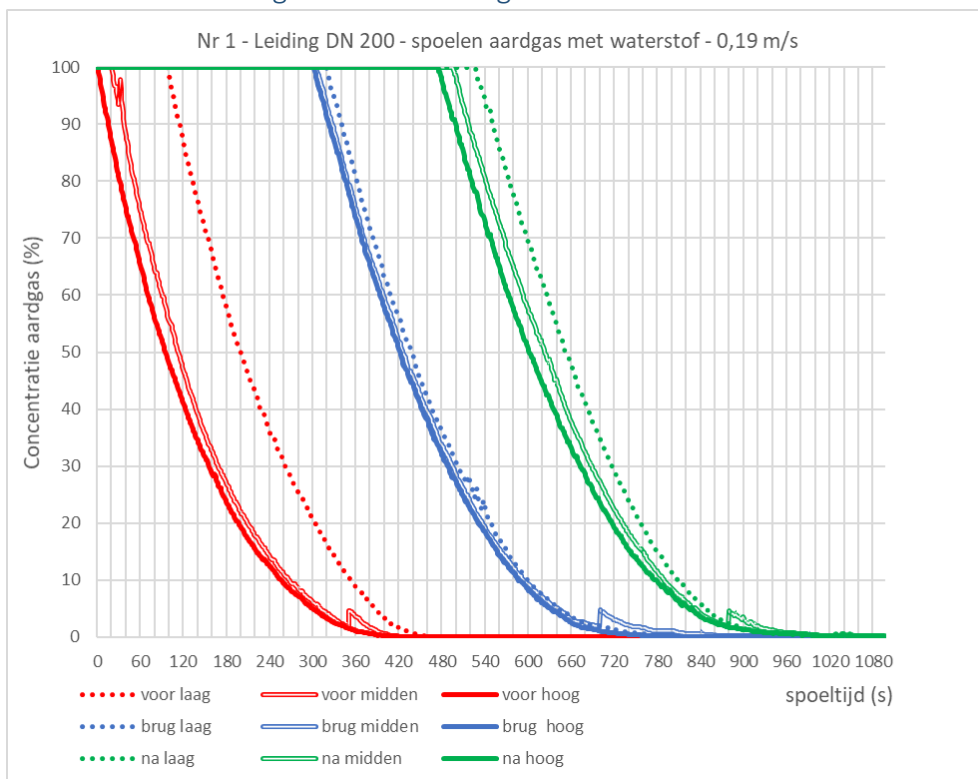
#### 4.1.4 Beschouwing resultaten DN 100

Uit de grafieken zoals opgenomen in 4.1.1 t/m 4.1.3 blijkt het volgende:

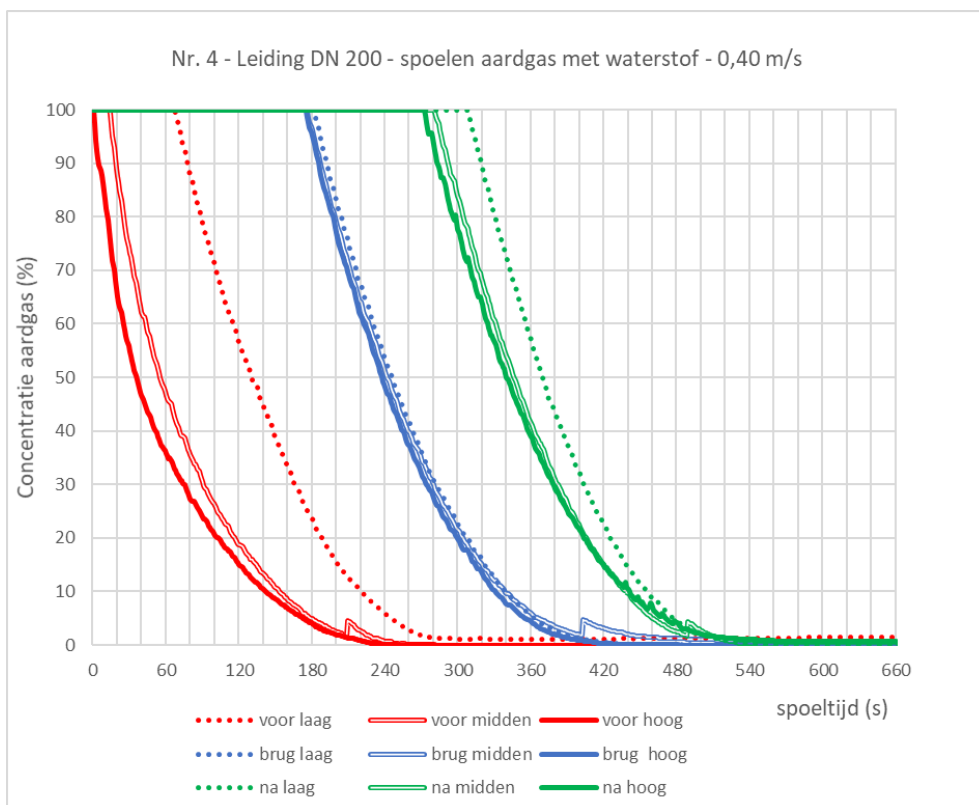
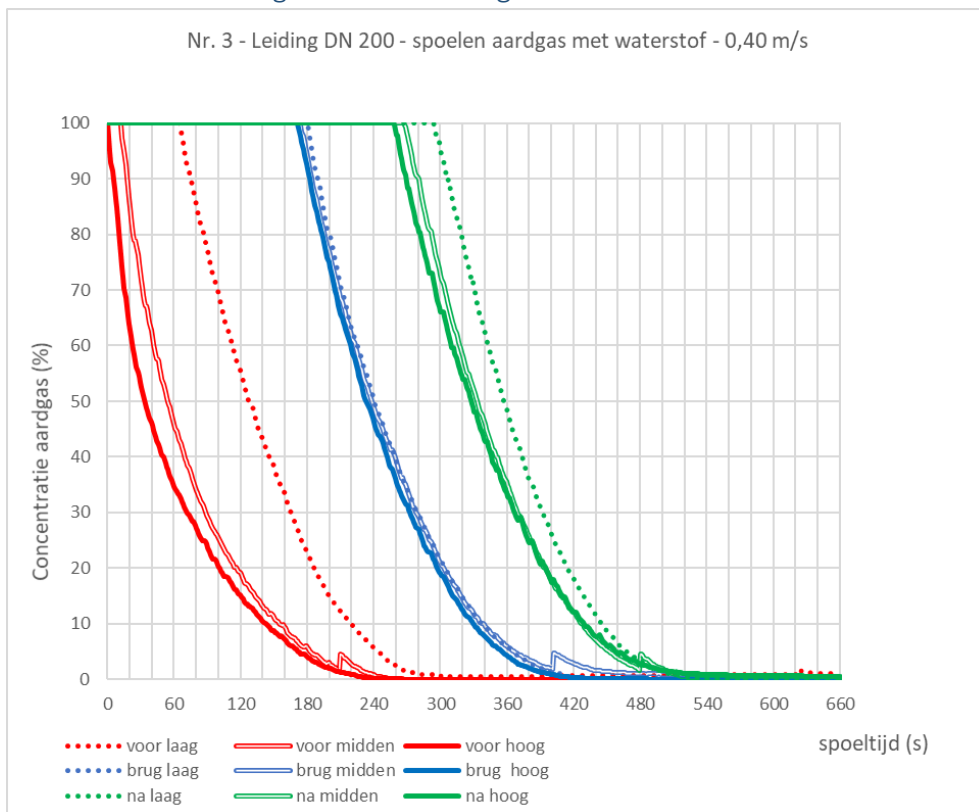
- Bij meting 1 verdringt waterstof volledig het aardgas. Bij de andere grafieken lijkt het er op dat er bij meetpunt “voor-laag” nog een deel aardgas achterblijft. Het nulpunt wordt echter niet correct bereikt (zie hierna en paragraaf 4.3)
- Bij alle metingen daalt de concentratie aardgas als eerste bovenin de leiding. Dit geldt voor iedere positie in de testleiding (voor de brug, op de brug en na de brug) en bij alle spoelsnelheden. De concentraties op de drie meetpunten op de brug liggen dicht bij elkaar dan bij de meetpunten voor én na de brug.
- Het nulpunt van de aardgasdetector aangesloten op het meetpunt “voor-laag” verloopt gedurende de metingen. Het nulpunt van de aardgasdetector aangesloten op het meetpunten “brug-midden” wordt laat of niet bereikt en verloopt gedurende de metingen enigszins. Het nulpunt van de aardgasdetector aangesloten op het meetpunt “brug-hoog” verloopt gedurende de metingen enigszins. Zie paragraaf 4.3 voor een nadere toelichting.
- De drie meetpunten in het midden van de leidingen op alle posities (voor de brug, op de brug en na de brug) vertonen als de concentratie aardgas onder de 5% raakt, plotseling een stijging van enkele procenten. Een mogelijke verklaring hiervoor is een overgang van turbulente naar laminaire stroming. Tijdens het spoelen wordt het aardgas langzaam verdrongen door waterstof. Hierdoor neemt de concentratie van aardgas geleidelijk af en neemt die van waterstof toe. Door het verschil in fysische eigenschappen (dichtheid en viscositeit) is het stromingsgedrag van aardgas bij de gehanteerde snelheden vooral turbulent en die van waterstof laminair. Op het grensvlak van aardgas en waterstof zal door wervelingen (de overgang van turbulent naar laminair) opmenging plaatsvinden. Hierdoor mengt een geringe hoeveelheid aardgas terug in waterstof. Dit zorgt voor een kleine piek in de grafiek, zichtbaar vlak voordat de aardgasconcentratie helemaal nul is.

## 4.2 Spoelmetingen leiding DN 200

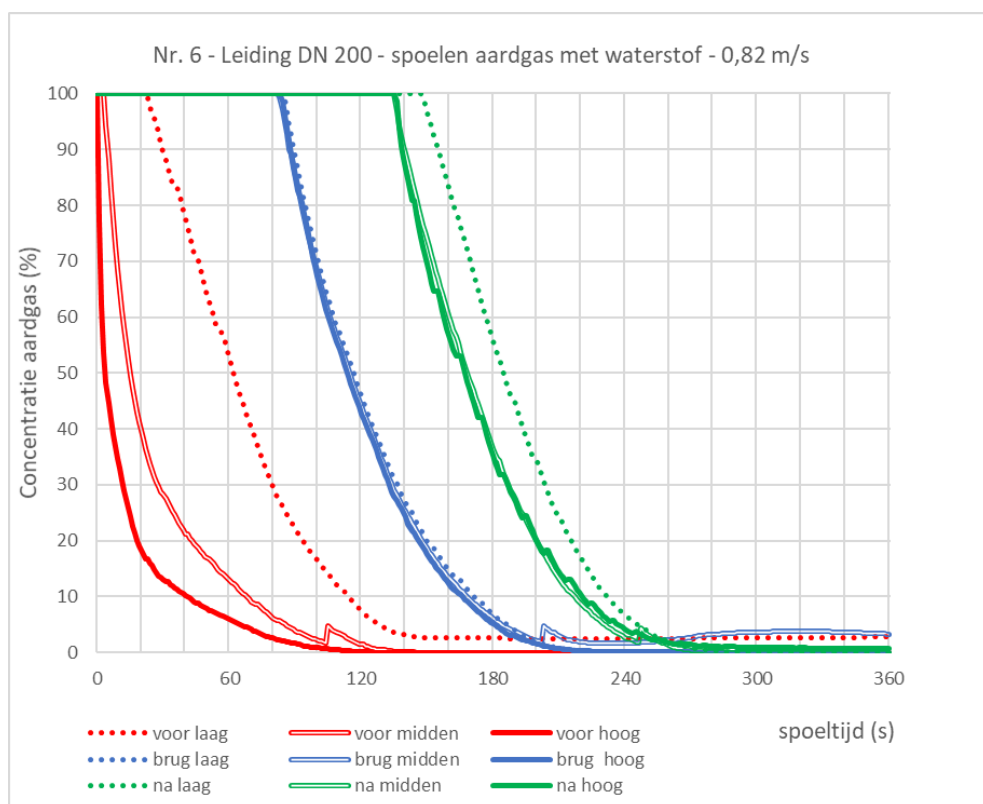
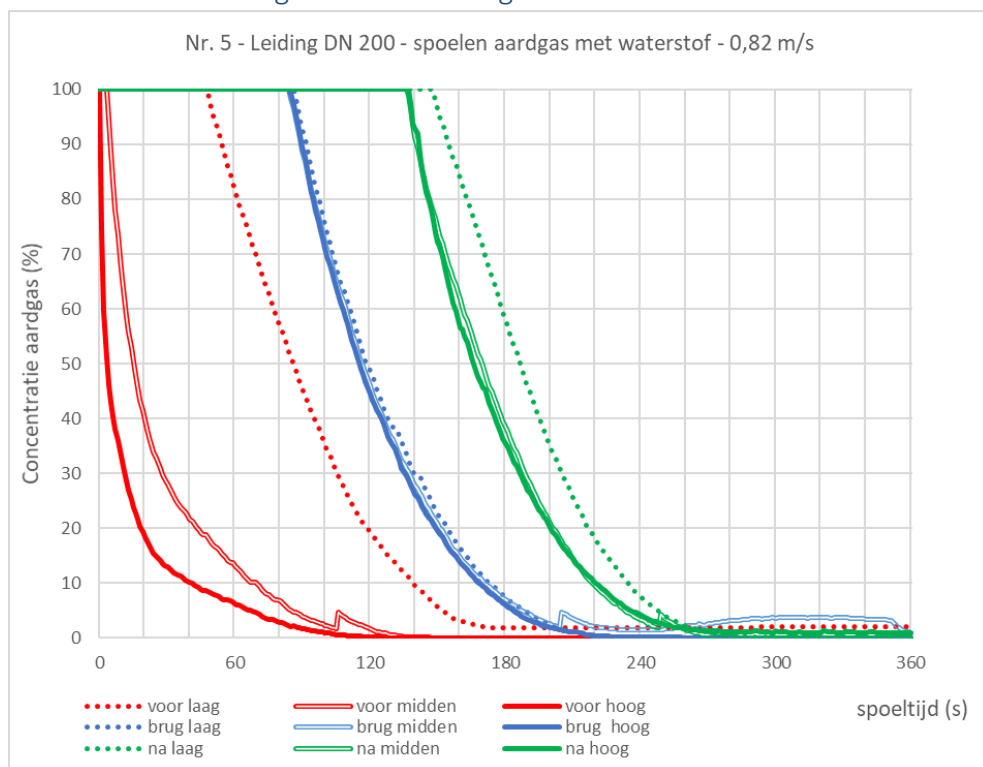
### 4.2.1 Leiding DN 200 – metingen 1 en 2



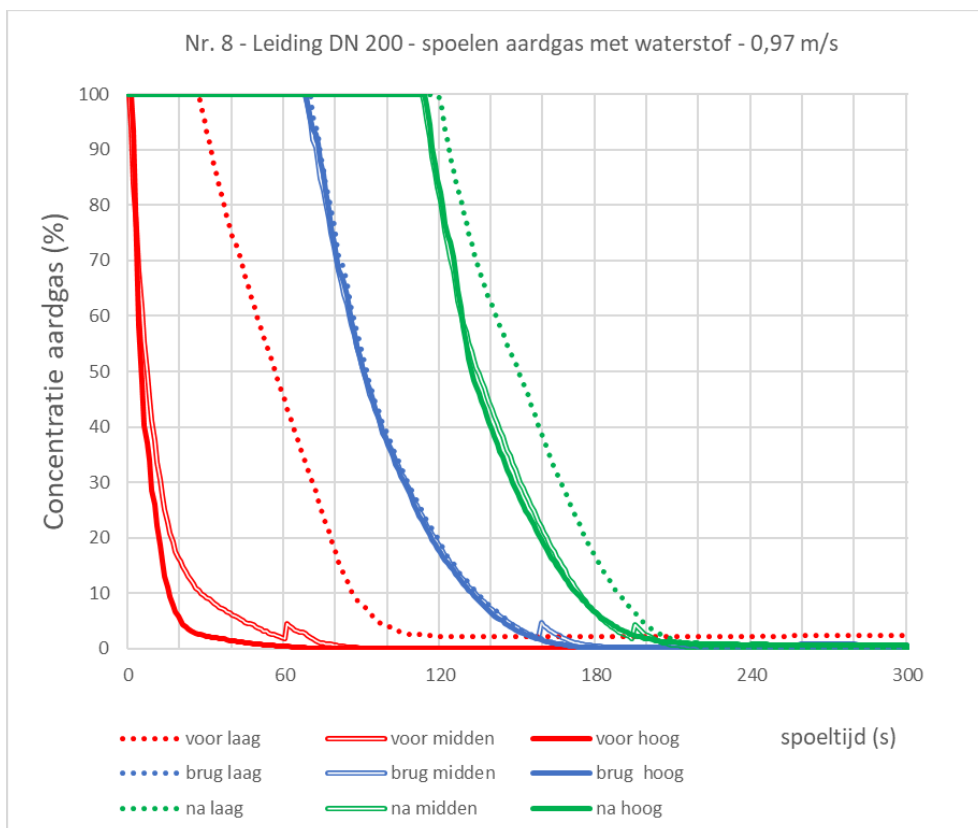
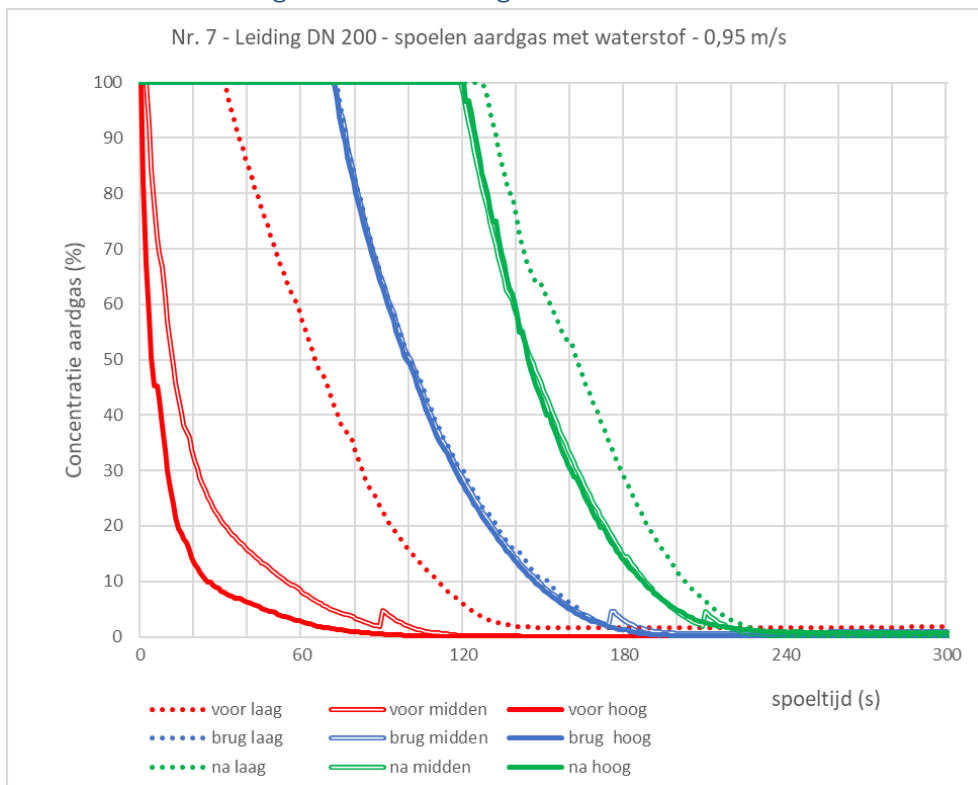
#### 4.2.2 Leiding DN 200 – metingen 3 en 4



#### 4.2.3 Leiding DN 200 – metingen 5 en 6



#### 4.2.4 Leiding DN 200 – metingen 7 en 8



#### 4.2.5 Beschouwing resultaten DN 200

Uit de grafieken zoals opgenomen in 4.2.1 t/m 4.2.4 blijkt het volgende:

- Bij meting 1 en 2 verdringt waterstof volledig het aardgas. Bij de andere grafieken lijkt dat er bij meetpunt het “voor-laag” nog een deel aardgas achterblijft. Het nulpunt wordt echter niet correct bereikt (zie hierna en paragraaf 4.3)
- Bij alle metingen daalt de concentratie aardgas als eerste bovenin de leiding. Dit geldt voor iedere positie in de testleiding (voor de brug, op de brug en na de brug) en bij alle spoelsnelheden. De concentraties op de drie meetpunten op de brug liggen dicht bij elkaar dan bij de meetpunten voor én na de brug.
- Het nulpunt van de aardgasdetector aangesloten op het meetpunt “voor-laag” verloopt gedurende de metingen. Het nulpunt van de aardgasdetector aangesloten op het meetpunten “brug-midden” wordt laat of niet bereikt en verloopt gedurende de metingen enigszins. Het nulpunt van de aardgasdetector aangesloten op het meetpunt “brug-hoog” verloopt gedurende de metingen enigszins. Zie paragraaf 4.3 voor een nadere toelichting.
- De drie meetpunten in het midden van de leidingen op alle posities (voor de brug, op de brug en na de brug) vertonen als de concentratie aardgas onder de 5% raakt, plotseling een stijging van enkele procenten. Een mogelijke verklaring hiervoor is een overgang van turbulente naar laminaire stroming. Tijdens het spoelen wordt het aardgas langzaam verdrongen door waterstof. Hierdoor neemt de concentratie van aardgas geleidelijk af en neemt die van waterstof toe. Door het verschil in fysische eigenschappen (dichtheid en viscositeit) is het stromingsgedrag van aardgas vooral turbulent zijn en die van waterstof laminair. Op het grensvlak van aardgas en waterstof zal door wervelingen (de overgang van turbulent naar laminair) opmenging plaatsvinden. Hierdoor mengt een geringe hoeveelheid aardgas terug in waterstof. Dit zorgt voor een kleine piek in de grafiek, zichtbaar vlak voordat de aardgas concentratie helemaal nul is.

#### 4.3 Verloop van nulpunt in relatie tot volledige verdrijving aardgas

Zoals in 4.1.4 en 4.2.5 vermeld verlopen de nulpunten van de aardgasdetectors gedurende de metingen. Dit betreft de volgende meetpunten;

- voor-laag
- brug-midden
- na-hoog

Dit is zowel zichtbaar bij de meetserie aan de leiding DN 100 als aan de leiding DN 200. Op basis van de gemeten concentraties ter plaatse van meetpunten “na- laag” en “na-midden”<sup>5</sup>, de eerste meting aan de DN 100 met lage spoelsnelheid én de eerste twee metingen met leiding DN 200 mm met lage spoelsnelheid wordt geconcludeerd dat het waterstof niet over de onderste laag aardgas stroomt, maar volledige verdrijving plaatsvindt.

De leverancier van de detectieapparatuur heeft aangegeven dat driften rond het nulpunt kan optreden bij infrarood sensoren en dat het meestal wordt veroorzaakt door luchtvochtigheid. In dit geval is droog gas aangeboden, dus die oorzaak is onwaarschijnlijk.

Bij de metingen wordt na het spoelen met waterstof de leiding weer gevuld met aardgas. Het startpunt bij iedere meting is 100% aardgas (dat gaven alle meters ook aan).

---

<sup>5</sup> Bij alle 15 metingen is de gemeten concentratie aardgas op het meetpunt “na-laag” en “na-midden” aan het einde van de meting 0,0%.

Het verschuiven van het nulpunt is een effect dat bij drie van de negen sensoren optreedt en versterkt in de loop van de tijd (meetdag). Bij de metingen met lage snelheden is het theoretisch denkbaar dat aardgas achterblijft en dat het waterstof er overheen stroomt, maar juist bij die lage snelheden komt het meetpunt “voor-laag” wel tot het nulpunt. Dit betrof metingen aan het begin van de dag. Om die reden wordt gesteld dat waterstof niet over het aardgas stroomt.

Het nulpunt dat het meest verschuift betreft het meetpunt “voor-laag”. Deze verloopt bij de metingen aan de DN 100 leiding stapsgewijs naar uiteindelijk 6,5% aardgas en bij de metingen aan de DN 200 leiding uiteindelijk naar 2,5% aardgas. De metingen aan de DN 100 leiding zijn uitgevoerd op 2 maart en de metingen aan de DN 200 leiding zijn uitgevoerd op 3 maart. Op 2 maart begon de dag kouder en eindigde warmer in vergelijking met 3 maart. Dit kan een oorzaak zijn van het waargenomen verschil.

#### 4.4 Gemeten snelheden

Het waterstofdebiet is bij aanvang ingesteld en gevolgd gedurende de metingen. Op basis van deze debieten (bedrijfscondities) is de snelheid bij de start en aan het eind van de meting vastgesteld. De snelheid is tevens vastgesteld op basis van de tijd tussen de eerste daling van aardgasconcentratie (positie “hoog”) tussen het eerste en laatste meetpunt. Dit levert de volgende snelheden op.

Tabel 2. Snelheden in leiding DN 100

Meting	Snelheid berekend o.b.v. startdebiet I	Snelheid berekend o.b.v. einddebiet II
	(m/s)	(m/s)
1	0,27	0,28
2	0,19	0,20
3	0,19	0,19
4	0,39	0,40
5	0,38	0,38
6	1,09	1,10
7	1,00	1,01
I = Op basis van debietmeting bij intrede bij aanvang van de meting		
II = Op basis van debietmeting bij intrede bij einde van de meting		

Tabel 3. Snelheden in leiding DN 200

Meting	Snelheid berekend o.b.v. startdebiet I	Snelheid berekend o.b.v. eindebiet II
	(m/s)	(m/s)
1	0,19	0,19
2	0,20	0,20
3	0,40	0,42
4	0,40	0,42
5	0,82	0,99
6	0,82	0,99
7	0,95	1,31
8	0,97	1,34
I = Op basis van debietmeting bij intrede bij aanvang van de meting		
II = Op basis van debietmeting bij intrede bij einde van de meting		

#### Vergelijking waarden I en II

Bij de metingen aan de DN 100 en de DN 200 is dezelfde affakkelininstallatie gehanteerd. De diameter van de leiding tussen het zadel en de affakkelininstallatie is DN 32 en heeft een lengte van 10 meter. De diameter van het aansluitpunt van de affakkelininstallatie dat op het zadel wordt gemonteerd is 29,8 mm. Het aanboorgat op de DN 100 leiding heeft een diameter van 28 mm en het aanboorgat op de DN 200 leiding heeft een diameter van 37 mm.

In tabel 1 is te zien dat bij de DN100 het debiet (en daarmee de spoelsnelheid) tijdens de meting nauwelijks verandert. Tabel 2 laat zien dat bij de DN 200 het debiet (en daarmee de spoelsnelheid) van het doorstromende waterstof gedurende de metingen toeneemt vanaf een spoelsnelheid van ca. 0,8 m/s. Een verklaring hiervoor is het verschil in de weerstand van de affakkelininstallatie bij de DN 100 metingen en de DN 200 metingen. De weerstand van de affakkelininstallatie is bij het spoeldebiet bij de leiding DN 100 laag en daarmee is ook de invloed van het nog aanwezige aardgas beperkt. Bij de DN 200 leiding zijn de verschillen tussen de startsnelheden en eindsnelheden groter. Bij de DN 200 leiding moet er, in vergelijking met de DN 100 leiding, nu eenmaal meer gas door dezelfde affakkelininstallatie om dezelfde spoelsnelheid te verkrijgen. Aardgas ondervindt meer weerstand in vergelijking met een gelijk debiet waterstof. De hoeveelheid aardgas in de leiding neemt gedurende de meting af, daardoor neemt ook de weerstand van de affakkelinrichting af en daarmee neemt de snelheid van het toegevoerde waterstof toe.

Het vaststellen van de spoelsnelheid kan in de praktijk bijvoorbeeld uitgevoerd worden op basis van een drukverschilmeting over een flens (restrictie) of via een gasmeter.



#### 4.5 Vaststelling volledige verdrijving aardgas en affakkelen

In Bijlage VIII is een verwijzing opgenomen naar de filmopnamen van het affakkelen bij verschillende spoelsnelheden.

De overgang van aardgas naar waterstof is bij alle metingen goed zichtbaar via de affakkelinstallatie. De vlamkleur verloopt bij alle metingen van een volledig oranje kleur, naar een vlam met flarden oranje en vervolgens naar een volledig kleurloze vlam. De overgang van aardgasvlam naar waterstofvlam verloopt rustig. De waterstofvlam blijft bij alle metingen intact. Ter plaatse van de affakkelinstallatie is een waterstofdetector geplaatst, het spoelen is gestopt zodra deze meter 100% waterstof aangaf.

## 5. Inschatting van de kosten

Indien is vastgesteld dat de bestaande hoofdleidingen zoals ingezet voor aardgas geschikt zijn voor het distribueren van waterstof, dan zijn deze leidingen veilig in bedrijf te nemen door middel van het rechtstreeks verdrijven van aardgas met waterstof.

De globale kosten voor het spoelen van hoofdleidingen met waterstof worden hieronder per kilometer weergegeven.

Uitgangspunten:

- PVC hoofdleiding, max DN 200
- Uitvoering door drie medewerkers (2 kopgaten graven en spoelwerkzaamheden).
- Duur werkzaamheden 3 uur.
- Uurtarief € 65,- .
- Materiaal: 2 zadels.
- Materiaalkosten per zadel € 50,-.

De kosten voor het spoelen van een kilometer leiding bedragen derhalve:

$$[9 \times € 65,-] + [2 \times € 50,-] = € 685,-$$

Genoemde bedragen zijn exclusief BTW en beperkt tot het daadwerkelijk uitvoeren van het spoelen van de hoofdleidingen. De kosten voor de werkvoorbereiding (bijvoorbeeld het maken van tekeningen, schakelplannen, KLIC-meldingen) en omzetting in de woning e.d. zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze heel specifiek zijn voor het om te zetten gedeelte van het net.

Het spoelen met waterstof zal kort voorafgaande aan een omzetting van een aardgasnet naar een waterstofnet plaatsvinden. Als dat wordt gedaan zullen de aangesloten toestellen in de woningen ook geschikt moeten zijn voor waterstof. Hoe die overgang en ombouw bij de afnemers gaat plaatsvinden zal toegelicht moeten worden bij de beantwoording van vraag 55 (na beantwoording van alle deelvragen in dit werkpakket). Het ligt voor de hand om bij het spoelen van de hoofdleidingen de hoofdkranen in de panden van alle afnemers te sluiten. Nadat de hoofdleiding afdoende is gespoeld, zal het spoelen van de aansluitleidingen en de binneninstallaties bij de afnemers moeten plaatsvinden.

## 6. Conclusies en beantwoording onderzoeksvraag

Uit het onderzoek blijkt dat met waterstof het aardgas uit bestaande aardgasleidingen te verdrijven is. Hiermee is de aardgasdistributieleiding na het verdrijven van het aardgas direct in bedrijf gesteld als waterstofdistributieleiding.

Ook is gebleken dat het spoelen van aardgas met waterstof inclusief het affakkelen veilig en technisch uitvoerbaar is. Echter, bij het affakkelen van waterstof moet men erop bedacht zijn dat een waterstofvlam minder goed zichtbaar is. Daarnaast zijn er geen andere risico's dan bij het spoelen van aardgasleidingen.

De globale kosten voor het spoelen van hoofdleidingen met waterstof zijn € 685 (excl. BTW) per kilometer. Deze kosten zijn exclusief de kosten voor de werkvoorbereiding en een omzetting in de woning.

### Spoelen leiding DN 100

Bij alle gehanteerde spoelsnelheden van 0,2 - 0,4 en 1,0 m/s wordt het aardgas volledig verdrongen door waterstof. Bij alle gehanteerde spoelsnelheden is het affakkelen goed uitvoerbaar. Bij de overgang van aardgas naar waterstof blijft de vlam op de affakkelininstallatie bij de gehanteerde spoelsnelheden intact.

### Spoelen leiding DN 200

Bij alle gehanteerde spoelsnelheden van 0,2 - 0,4 - 0,8 en 1,0 m/s wordt het aardgas volledig verdrongen door waterstof. Bij alle gehanteerde spoelsnelheden is het affakkelen goed uitvoerbaar. Bij de overgang van aardgas naar waterstof blijft de vlam op de affakkelininstallatie bij de gehanteerde spoelsnelheden intact.

Met een spoelsnelheid van 0,2 m/s wordt bij zowel de DN100 als bij de DN 200 het aardgas volledig verdrongen door waterstof. Praktijkomstandigheden bij het spoelen van leidingen kunnen echter ongunstiger zijn in vergelijking met het spoelen van de testleidingen. Om die reden wordt een veiligheidsfactor van twee aangehouden om er zeker van te zijn dat de leidingen volledig zijn gespoeld. De minimale spoelsnelheid wordt hierdoor gesteld op 0,4 m/s. Dit is in lijn met de rapportage Spoelen van waterstofleidingen (Kiwa Technology GT-200289).

Om de duur van het spoelen te verkorten wordt een snelheid van 1,0 m/s geadviseerd. De periode dat er sprake is van een open vlam (affakkelen) wordt daarmee ook beperkt. De geadviseerde spoelsnelheid van 1 m/s zoals genoemd in rapportage GT-200289 is ook toepasbaar in geval van rechtstreeks spoelen van aardgas met waterstof. In Bijlage IX worden de minimale spoelsnelheden en debieten bij diameters afwijkend van DN 100 en DN 200 benoemd. Deze opgave is overeenkomstig de Kiwa Technology rapportage GT-200289.

## Referenties

- [1] A.J. Kooiman, C. Lock en C.J.A. Pulles, "Spoelen van waterstofleidingen", Kiwa Technology, rapport GT-200289, maart 2021
- [2] C.J.A. Pulles, J.C. de Laat en C. Lock, "Affakkelen en afblazen van waterstof", Kiwa Technology, rapport GT-200096, april 2021.

## 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?

## II Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep deelvraag 187

Tabel 4. 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.			

### III Risico inventarisatie en evaluatie door Kiwa

Bestemd voor: Sparringgroep WP1c  
Betreft: Spoelen HL, AL en GMO bij de ombouw van  
aardgasdistributie naar waterstofdistributie.  
Risico's  
Van: Cees Lock, Kiwa Technology  
Datum: 3 februari 2021

Bij het benoemen van risico's bij de ombouw van de hoofd- en aansluitleidingen en gasmeteropstellingen van aardgasdistributie naar waterstofdistributie is de methode van Fine en Kinney gebruikt.

Onderstaande inleiding op de RI&E is een citaat uit de RI&E Gastechische risico's (versie 2, d.d. 02-12-2019) zoals deze is geactualiseerd door werkgroep VIAG 2019. Zie voor de volledigheid [www.beiviag.nl](http://www.beiviag.nl) onder 'overige documenten'.

## RI&E volgens Fine en Kinney

Bij het opstellen van de RI&E is de methode volgens Fine en Kinney voor de diverse gastechische activiteiten toegepast. Bij deze methode wordt de risico-index bepaald d.m.v. het toekennen van een waarde voor de **kans** op het risico, de **frequentie** van de blootstelling aan het risico en het **effect** van de schade. **Voor de bepaling van het effect is uitgegaan van het potentieel gevolg. (worst case scenario).** De tabel van Fine en Kinney is op de laatste pagina van deze bijlage toegevoegd.

Er is gekeken naar de algemene gastechische risico's als brand, explosie, verstikking en vlaminslag (bij affakkelen). Indien andere voor de hand liggende, specifiek met de betreffende gastechische activiteit verbonden risico's aanwezig zijn, zijn deze ook opgenomen.

Voor elke gastechische activiteit is een initiële risicoscore bepaald ervan uitgaande dat de werkzaamheden door een niet deskundige persoon worden uitgevoerd. Vervolgens zijn conform de arbeidshygiënische strategie bronmaatregelen (incl. technische- en organisatorische maatregelen) bepaald welke vooral de kans op het risico reduceren. In een beperkt aantal gevallen wordt tegelijkertijd het effect beperkt. Hierna is opnieuw een risico weging gemaakt. Als tweede stap zijn beschermende maatregelen in kaart gebracht welke vooral het effect van het risico reduceren en is ook hier een resterende risicoweging gemaakt. In een beperkt aantal gevallen wordt hierbij ook de kans beperkt.

Risico's van activiteiten niet direct gerelateerd aan de uit te voeren gastechische activiteiten zijn niet meegenomen. Hiervoor wordt verwezen naar de Arbocatalogus Netwerkbedrijven, relevante normen en bedrijfseigen voorschriften/procedures en risico inventarisaties.

Toelichting op de wijze van bepaling van de risicoweging:

1. De kans op het initiële risico is gebaseerd op het uitvoeren van de gastechische activiteit door een ondeskundig persoon. Een belangrijke bronmaatregel is de deskundigheid van personeel (opleiding, aanwijzing en instructie).
2. De blootstelling / frequentie is gebaseerd op de activiteiten door één persoon of één ploeg (Netbeheerder of uitbested) die deze werkzaamheden standaard/continue uitvoert. Dit is gedaan om te voorkomen dat voor elke activiteit "voortdurend" ingevuld wordt, daar de activiteiten verspreid over de verschillende verzorgingsgebieden van de netbeheerders dagelijks en dus voortdurend voorkomen.
3. Het initiële effect is gebaseerd op het worst case scenario zonder dat de medewerker beschermende maatregelen heeft genomen (bijv. PBM's.)
4. De gastechische activiteiten conform de onderverdeling zoals gebruikt in de VWI's gas zijn beoordeeld. In de leeswijzer zijn daarbij uitgangspunten opgenomen. Deze uitgangspunten kunnen ook gehanteerd worden bij activiteiten die niet in een VWI zijn vastgelegd.



Voor het opstellen van een complete RI&E moeten de volgende stappen worden doorlopen:

1. Inventariseren en valideren risico's.
2. Taak-risico analyse. Op te stellen indien
  - a. Werkzaamheden met een hoog risico moeten worden uitgevoerd die niet of niet geheel volgens de reeds bestaande procedures of werkinstructies kunnen worden uitgevoerd.
  - b. Procedures opgesteld of geëvalueerd moeten worden.
  - c. Werkzaamheden voor het eerst worden uitgevoerd, waarvan de risico's en ongewenste gevolgen (nog) niet bekend zijn.

In deze bijlage wordt alleen stap 1 voor gastechnische activiteiten doorlopen. Stap 2 wordt in deze bijlage niet doorlopen.

### Risico-index volgens Fine en Kinney:

#### Kans van het risico: K

Waarde	Omschrijving
0,1	Bijna niet denkbaar (nooit van gehoord)
0,2	Praktisch onmogelijk (nooit van gehoord binnen bedrijfstak en branche)
0,5	Denkbaar, maar onwaarschijnlijk (wel van gehoord binnen bedrijfstak, maar niet binnen bedrijf zelf)
1	Onwaarschijnlijk, maar mogelijk in grensgeval (in laatste 10 jaar niet binnen bedrijf voorgekomen)
3	Ongewoon, maar mogelijk (in de laatste jaren binnen het bedrijf wel eens gebeurd)
6	Zeer wel mogelijk (enkele keren per jaar binnen het bedrijf gebeurd)
10	Te verwachten (komt vaak/vaker voor binnen het bedrijf)

#### Blootstellingfrequentie van het risico: B

Waarde	Omschrijving
0,5	Zeer zelden (1x per jaar)
1	Zelden (jaarlijks)
2	Soms (maandelijks)
3	Af en toe (wekelijks)
6	Geregeld (dagelijks)
10	Voortdurend

#### Effect van het risico: E

Waarde	Omschrijving
1	Gering: letsel zonder verzuim (EHBO) of hinder
3	Belangrijk: letsel en verzuim
7	Ernstig: irreversibel effect (invaliditeit)
15	Zeer ernstig: één dode (acuut of op termijn)
40	Ramp: enkele doden (acuut of op termijn)

#### Risicoscore: $R=K*B*E$

Klasse	Risicoscore	Actie
5	$R \leq 20$	Geen (risico aanvaardbaar)
4	$20 < R \leq 70$	Aandacht vereist (mogelijk risico)
3	$70 < R \leq 200$	Maatregelen vereist (belangrijk risico)
2	$200 < R \leq 400$	Directe verbetering vereist (hoog risico)
1	$R > 400$	Werkzaamheden stoppen (zeer hoog risico)

Gasdistributienet ombouwen van aardgasdistributie naar waterstofdistributie																
NR	ACTIVITEIT	GEVAAR/ARBO-RISICO	K	B	E	Risico index	Maatregel ter voorkoming	K	B	E	Risico index	Maatregelen ter bescherming	K	B	E	Risico index
	LD-Hoofdleidingen ombouwen (uit (aardgas)bedrijf nemen en in (waterstof)bedrijf nemen. Spoelen van hoofdleidingen (vermaasd)	<ul style="list-style-type: none"><li>Niet alle aardgas is vervangen door waterstof <sup>1)</sup></li><li>H2-toestel veroorzaakt brand, explosie</li></ul>	6	3	7	126	<ul style="list-style-type: none"><li>Waterstoftoestellen die door hun constructie veilig functioneren of naar een veilige toestand gaan en/of beveiligd zijn tegen aardgas-waterstofmengsel (ter info: de H2-ketel die in de Kiwa/Liander-woning is geïnstalleerd voldoet hieraan)</li><li>Opstellen van een uitvoeringsplan</li><li>Opleiding, aanwijzing en instructies</li></ul>	0,5	3	7	10,5	<ul style="list-style-type: none"><li>Geen</li></ul>	0,5	3	7	10,5
G20	LD-Hoofdleidingen ombouwen (uit (aardgas)bedrijf nemen en in (waterstof)bedrijf nemen. Affakkelen of afblazen	<ul style="list-style-type: none"><li>Brand, explosie, bedwelming en verstikking, potentiaal verschillen</li></ul>	10 10	3 6	15 15	450	<ul style="list-style-type: none"><li>Voldoende ventilatie</li><li>Voorkomen van ontstekingsbronnen</li><li>Opleiding, aanwijzing en instructies</li><li>Afbakenen werkplek (i.v.m. concentratie medewerker en veiligheid omstanders/dieren)</li><li>Voorkomen vrije gasuitstroming</li><li>Werken onder &lt;10% LEL concentratie</li><li>Werken met minimaal twee personen</li><li>Opstellen van een uitvoeringsplan</li><li>Affakkel- afblaasinstallatie<ul style="list-style-type: none"><li>Met RVS afblaaspijp</li><li>Aarden</li><li>Borgen tegen omvallen</li></ul></li></ul>	0,5 0,5	3 6	15 15	22,5	<ul style="list-style-type: none"><li>Gassignaleringsapparatuur</li><li>Zuurstofmeter</li><li>Antistatische/vlamvertragend/nauwsluitend werkkleding</li><li>Brandblusser ABC 6kg, blusdeken</li><li>Gasuitstroming naar een bewaakte, veilige plek</li></ul>	0,5 0,5	3 6	3 3	4,5
	LD-Aansluitleidingen en Gasmeteropstelling ombouwen (uit (aardgas)bedrijf nemen en in (waterstof)bedrijf nemen. Spoelen	<ul style="list-style-type: none"><li>Niet alle aardgas is vervangen door waterstof</li><li>H2-toestel veroorzaakt brand, explosie</li><li>Waterstof-luchtmengsel in binneninstallatie <sup>2)</sup></li></ul>	6	3	7	126	<ul style="list-style-type: none"><li>Waterstoftoestellen die door hun constructie veilig functioneren of naar een veilige toestand gaan en/of beveiligd zijn tegen aardgas-waterstofmengsel en tegen waterstof-luchtmengsels (ter info: de H2-ketel die in de Kiwa/Liander-woning is geïnstalleerd voldoet hieraan)</li><li>Opleiding, aanwijzing en instructies</li></ul>	0,5	3	7	10,5	<ul style="list-style-type: none"><li>Geen</li></ul>	0,5	3	7	10,5
G13	LD-Aansluitleidingen en Gasmeteropstelling ombouwen (uit (aardgas)bedrijf nemen en in (waterstof)bedrijf nemen. Affakkelen of afblazen	<ul style="list-style-type: none"><li>Brand, explosie, bedwelming en verstikking, potentiaal verschillen</li></ul>	6 6	3 6	15 15	270	<ul style="list-style-type: none"><li>Voldoende ventilatie</li><li>Gecontroleerde gasuitstroming</li><li>Voorkomen van ontstekingsbronnen</li><li>Aarding / vereffening</li><li>Gebruik gecertificeerde antistatische halfgeleidende slang type Ω (Ohm)</li><li>Opleiding, aanwijzing en instructies</li><li>Werken met twee personen</li><li>Afbakenen werkplek (i.v.m. concentratie medewerker en veiligheid omstanders/dieren)</li></ul>	0,5 0,5	3 6	15 15	22,5	<ul style="list-style-type: none"><li>Gasuitstroming naar een bewaakte, veilige plek</li><li>Brandblusser ABC 6kg / blusdeken</li><li>Gassignaleringsapparatuur</li><li>Zuurstofmeter (bij toepassing van inert gas)</li><li>Antistatische/vlamvertragend/nauwsluitend werkkleding</li></ul>	0,5 0,5	3 6	3 3	4,5
	Ombouw algemeen - binneninstallatie	<ul style="list-style-type: none"><li>Niet vervangen aardgastoestel veroorzaakt brand, explosie</li></ul>	3	3	15	135	<ul style="list-style-type: none"><li>Inventarisatie van de toestellen bij alle om te bouwen gebruikers</li></ul>	0,5	3	15	22,5	<ul style="list-style-type: none"><li>Geen</li></ul>	0,5	3	15	22,5
	Ombouw algemeen - distributienet	<ul style="list-style-type: none"><li>Lekhoeveelheid neemt toe <sup>3)</sup></li></ul>	10	10	3	300	<ul style="list-style-type: none"><li>Lekzoekronde voor en na ombouw</li></ul>	1	10	3	30	<ul style="list-style-type: none"><li>Lekzoekronde herhalen 1 maand na ombouw</li></ul>	0,5	10	3	15
Opmerking		Optionele extra maatregelen ter voorkoming: de uitstroomopening van de affakkel- afblaasinstallatie (-slang) voorzien van een waterstof-vlamdover.														
Toelichting		Continue bewaking van de gasuitstroom en mogelijkheid tot bediening affakkel- afblaasinstallatie (-slang). Dit dient continue gelijktijdig plaats te kunnen vinden.														
		<sup>1)</sup> Bijvoorbeeld door een (dode) aftakking die over het hoofd is gezien, onjuist spoelplan. <sup>2)</sup> T.b.v. het ontluchten van de AL en GMO wordt de verbinding GMO-binneninstallatie losgekoppeld en na het spoelen weer gemonteerd. Hierbij wordt een geringe hoeveelheid lucht ingesloten. <sup>3)</sup> De lekkage met waterstof is maximaal factor drie groter. Bij kleine lekkages (bijv. door corrosie) zal het risico nauwelijks toenemen echter bij grotere lekkages (vanaf ca. 100 l/h) zal het risico toenemen (zie Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet - DNV-GL 2020 en Kiwa-Veilig Sectioneren Waterstofnetten GT-200231 (nog concept)) <ul style="list-style-type: none"><li>De rood gekleurde waarden gelden bij de toepassing van waterstof</li><li>De oranje gekleurde waarden gelden bij de toepassing van aardgas (vermeld om gemakkelijk te kunnen vergelijken, zo is ook het nummer van VWI Gas vermeld)</li><li>De rode tekst zijn de extra maatregelen i.v.m. de toepassing van waterstof</li></ul>														

#### IV Memo testprogramma deelvraag 187 spoelen

# Memo



Bestemd voor: Sparringsgroep deelvraag 187 WP1C  
onderwerp: Testprogramma deelvraag 187 spoelen  
van: Begeleidingsgroep deelvraag 187 WP1C  
datum: 5 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)

**Uitgangspunt bij dit onderzoek:** De functie van een bestaande aardgasleiding wordt omgebouwd naar een waterstofleiding waarbij het aardgas rechtstreeks verdrongen wordt door waterstof.

**Doelstelling bespreking 3-2-21 begeleidingsgroep:** opstellen van het testprogramma t.b.v. deelvraag 187 aan de hand van:

- Beschreven risico's door leden van de sparringsgroep
- (Concept) rapport afblazen/affakkelen waterstof.
- (Concept) rapport spoelen waterstof, hierin is vastgelegd welke spoelsnelheid noodzakelijk is voor het verdringen van stikstof door waterstof.

Aan het eind van deze memo is het voorstel voor het testprogramma opgenomen.

**Doelstelling bespreking 10-2-21 sparringsgroep:** vaststellen van het testprogramma t.b.v. deelvraag 187 aan de hand van:

- Beschreven risico's door leden van de sparringsgroep
- (Concept) rapport afblazen/affakkelen waterstof.
- (Concept) rapport spoelen waterstof, hierin is vastgelegd welke spoelsnelheid noodzakelijk is voor het verdringen van stikstof door waterstof.

## Aangeleverde risico's mbt vraag 187 – Spoelen WP1C

Deze zijn tijdens de bespreking van 3-2-2021 besproken en daar waar nodig aangevuld.

- Kiwa - memo - risico inventarisatie van 12-1-21 (vervangen door 3-2-21).  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** in een enkele cel moet de kleur aangepast.

Daarnaast (aanlevering Johan Jonkman, Walter Koppenol en Rob Nispeling);

- Extra stof door 3x hogere snelheid van het gas.  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** Door de hogere snelheid kan er stof losraken en verderop in het net terecht komen. Dit effect wordt onderzocht bij vraag 173 WP1B. Dit risico is niet van invloed op de risico's bij het verdringen van aardgas rechtstreeks door waterstof waarbij het gas wordt afgefakkeld, zie ook verderop.
- Waterstof voldoet niet aan kwaliteit door achterblijvende "restanten" van aardgas  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** beschouwing bij vraag 135 WP1C.
- Problemen bij affakkelen van het gas doordat de samenstelling in fases veranderd van aardgas naar waterstof.  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** het affakkelen onderdeel laten zijn van de metingen. Er is geen inslag te verwachten omdat er geen lucht wordt bijgemengd (bleek ook bij recente ervaringen met het waterstofhuis bij Kiwa).
- Niet voldoen aan veiligheidsworkinstructies (VIAG) wanneer in verband met bovenstaande punt gekozen wordt voor afblazen i.p.v. affakkelen.  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** dit werd gesteld met de gedachte dat afblazen niet is toegestaan, dit bleek niet juist. Volgorde in VIAG is leegbufferen, dan affakkelen of afblazen. Bij het verdringen van aardgas rechtstreeks door waterstof is affakkelen de beste optie.





- Spontaan ontbranden van waterstof.  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** zelfontbranding zal niet optreden, er is altijd een externe ontstekingsbron nodig. Bij het afblazen van waterstof kan meegevoerd stof mogelijk tot ontbranding van de waterstofwolk leiden. Dit is, naast het voorkomen van milieubelasting door afblazen aardgas/waterstof, een extra beweegreden om te kiezen voor affakkelen.
- Onvoldoende kwaliteit van het gas (waterstof) meteen na de ombouw. Door de hogere snelheid wordt de voorgestelde ondergrens van 98% H<sub>2</sub> mogelijk niet gehaald. De hoge snelheid leidt mogelijk tot veel meer vervuiling.  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** vervuiling zoals aardgascondensaat, water (extreem geval), THT dat met H<sub>2</sub> wordt meegevoerd. Vervuiling door THT, permeatie zuurstof, stikstof en waterdamp is onderdeel van vraag 135 WP1C. Stof en vuil is onderdeel van de beantwoording van vraag 173 in WP1B. De aanwezigheid van aardgascondensaat en grote hoeveelheden water komen naar verwachting niet vaak voor. Waterstof wordt weliswaar met een grote snelheid door de leidingen gevoerd, maar heeft ook een lagere dichtheid. Het is nog maar de vraag of de kracht voldoende is om meer aardgascondensaat en water mee te voeren dan dat dit het geval is bij aardgas. Dit aspect blijft in het kader van deze vraag (187) buiten beschouwing.
- Toestellen (o.a. cv-combi-ketels) krijgen een mengsel van waterstof en lucht te verwerken (wordt benoemd in de tabel van de Kiwa - memo - risico inventarisatie, zal ook aandachtspunt moeten zijn bij de beantwoording van vraag 101 WP1C)  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** vanuit ervaringen Kiwa UK (project Hy4Heat) geven twee toestelfabrikanten aan dat toestellen niet kunnen ontsteken bij een mengsel van waterstof en lucht in de gasleiding. Dit omdat er bij deze voorgemengde toestellen nog eens lucht wordt bijgemengd, waardoor het buiten de ontstekingsgrenzen komt te liggen. O.b.v. ervaring Kiwa UK is het advies om geen vlamdovers voor cv-toestellen te plaatsen (geen meerwaarde, kan zelfs tot ongewenst verbrandingsgedrag leiden). Bovendien zal lucht bij het rechtstreeks verdringen met waterstof niet meegevoerd worden (tenzij er een bedieningsfout wordt gemaakt)
- Toestellen (o.a. cv-combi-ketels) ingesteld voor aardgas krijgen een mengsel van waterstof en aardgas te verwerken (Kiwa: indien vergeten is het toestel te wisselen). (Wordt benoemd in de tabel van de Kiwa - memo - risico inventarisatie, zal ook aandachtspunt moeten zijn bij de beantwoording van vraag 101).  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** het is niet getest door Remeha (leverancier (aardgas- en waterstofketel waterstofhuis). Bij beantwoording vraag 101 nagaan of dit door andere fabrikanten wel is gedaan.
- Toestellen (o.a. cv-combi-ketels) krijgen een druk van 100 mbar te verwerken (door falende drukregelaar door meevoeren van bijvoorbeeld stof).  
**Opmerkingen/oordeel 3-2-21:** dit is een aandachtspunt bij de beantwoording van vraag 101, falen drukregelaar is aandachtspunt bij vraag 185 in WP1C.

Aanvullende risico's benoemd tijdens overleg van 3-2-21:

- Gebrek aan ervaring.
- Gebruik van elektronische apparatuur. In de werkpakketomschrijving WP1C is een beschouwing gegeven m.b.t. het gebruik van gereedschap en meetapparatuur. Deze beschouwing heeft betrekking op het gebruik bij gasdetectie bovengronds lekzoeken. Vooralsnog wordt veronderstelt dat het gebruik van gereedschappen/meetapparatuur explosie-veilig moet zijn en dat nader onderzoek niet nodig is.

#### Is of komt er informatie uit pilots beschikbaar met betrekking tot het spoelen van aardgasleidingen met waterstof?

- Hoogeveen (Rendo); 80-100 woningen in een nieuwe wijk worden direct op waterstof aangesloten (dat wordt verwacht in 2022). Daarna wordt er een bestaande naastliggende wijk (Erflanden) overgezet van aardgas naar waterstof. Dat zal niet voor 2023 plaatsvinden
- Lochem (Alliander) Q4 2021 van start. Ca. 15 woningen. Inzet van het bestaande aardgasnet .
- Enexis wil in de zomer 2022 in Groningen pilot gaan draaien. Nog niet duidelijk of bestaand net omgezet gaat worden. Mogelijk nieuw aardgasnet en bestaand net ombouw naar H<sub>2</sub>.



Wat zijn de ervaringen vanuit het project Uithoorn (Stedin)? Bestaand aardgasnet op waterstof? Of is een nieuw waterstofnet gelegd en is er alleen gebruik gemaakt van de bestaande binneninstallaties?

### **Beschikbare rapportages**

- Rapport Kiwa GT200075; spoelen van aardgasleidingen.  
Minimale vastgestelde snelheid (DN200) is 0,3 m/s, advies is 1 m/s
- Rapport Kiwa GT-200289-concept; spoelen van waterstofleidingen (nog niet definitief)  
Minimale vastgestelde snelheid (DN200) is 0,4 m/s, advies is 1 m/s
- Rapport Kiwa GT-200096-concept; affakkelen en afblazen van waterstof (nog niet definitief).  
Daarin wordt in tabel 1 v.d. samenvatting al ombouw aardgas naar waterstof benoemd. Hierin wordt alleen affakkelen benoemd (i.v.m. milieubelasting).

### **Voorstel voor testprogramma:**

Spoelen met waterstof van PE-leidingen met diameter 110 mm en 200 mm gevuld met aardgas.

Spoelsnelheden 0,2 – 0,4 – 1,0 m/s. Metingen in duplo.

Afhankelijk van resultaten eventueel aanvullende snelheden.

Bij het spoelen met waterstof zal de snelheid uiteindelijk toenemen. Goed rekening houden met het feit dat snelheden tijdens het spoelen zullen veranderen.

Meetopstelling zoals beschreven in rapportage Kiwa GT-200289-concept: figuur 3 en Bijlage II.

Meting van concentratie aardgas (afname van concentratie tijdens het spoelen met waterstof). Meters zijn selectief voor aardgas. De meters voor waterstof zijn niet volledig selectief voor waterstof (kruisgevoelig voor de aanwezigheid van aardgas). Voorstel om wel 1 meetpunt net voor de affakkelininstallatie te plaatsen met een H<sub>2</sub> meting.

Loggen van meetgegevens iedere seconde.

Affakkelen, praktisch vaststellen of het affakkelen werkt bij de uit te voeren metingen (conform aanbevelingen/aanwijzingen uit bovengenoemd concept-rapport).

Ter discussie; wel / of niet experimenteren met afblazen?

Bij verdringing van aardgas door waterstof wordt geen vlamdover toegepast.

Met name het affakkelen wordt op film vastgelegd.

### 3-2-21 Walter:

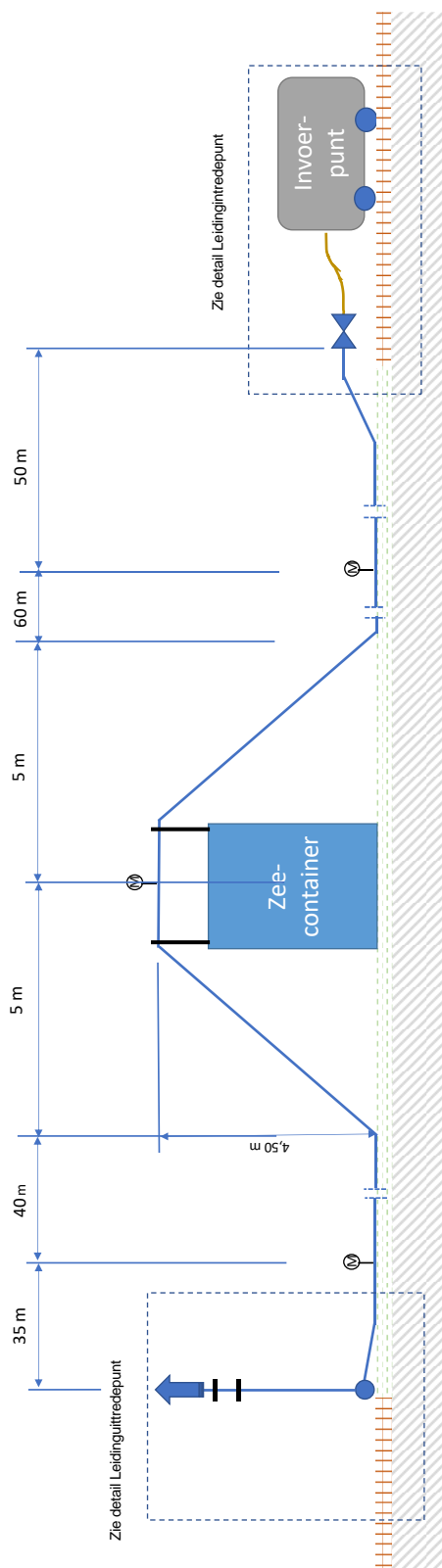
Kan 110 en 200 mm aan elkaar gekoppeld worden (parallel) om zodoende een simulatie te maken van een grotere leidinginhoud? Het advies van 1 m/s is in de praktijk mogelijk niet altijd (eenvoudig, met standaard apparatuur) haalbaar bij grote leidingdiameters (groot af te fakkelen volumes). Apparatuur (w.o. air-mover) kan dit niet altijd aan. Esders wel (tot DN 200), andere fabrikant(en) (nog) niet.

Hier rechtstreeks spoelen met 100 mbar H<sub>2</sub>, dus geen air-mover nodig. Hier beperken tot het vaststellen van de minimaal benodigde spoelsnelheid. Overigens is de 1 m/s een advies, de minimaal benodigde snelheid ligt lager (zie eerder genoemde rapporten m.b.t. het spoelen).

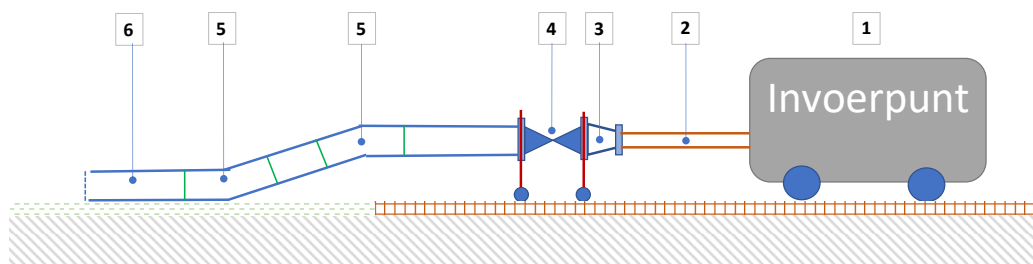
### **Mogelijk in de toekomst**

Rapportage spoelen waterstof (rapport Kiwa GT-200289-concept) en op te stellen rapportage aardgas-waterstof met elkaar combineren.

## V Detailtekeningen van de testleiding

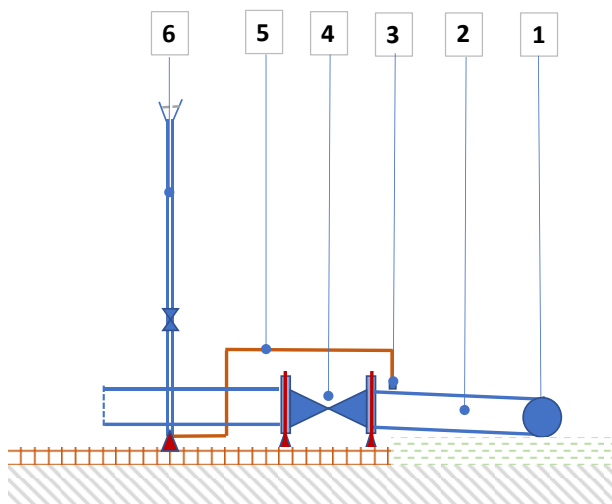


### Detail leidingintredepunt



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

### Detail leidinguittredepunt



- 1 Bocht 200 - 90 gr - R 3,5 D
- 2 PE 200 - SDR 17
- 3 Zadel GF 200 t.b.v. opzetstuk voor blaas
- 4 Schuifafsluiter DN 200
- 5 Afblaasslang
- 6 Afblaas (klein)

Naast de testleiding van DN 200 zoals hierboven weergegeven, is een testleiding DN 100 aangelegd, met hetzelfde leidingverloop. Bij het affakkelen van het aardgas en waterstof is zowel bij de DN 200 als bij de DN 100 leiding gebruik gemaakt van een afblaasleiding met diameter 1½" (in de tekening weergegeven als nummer 6).



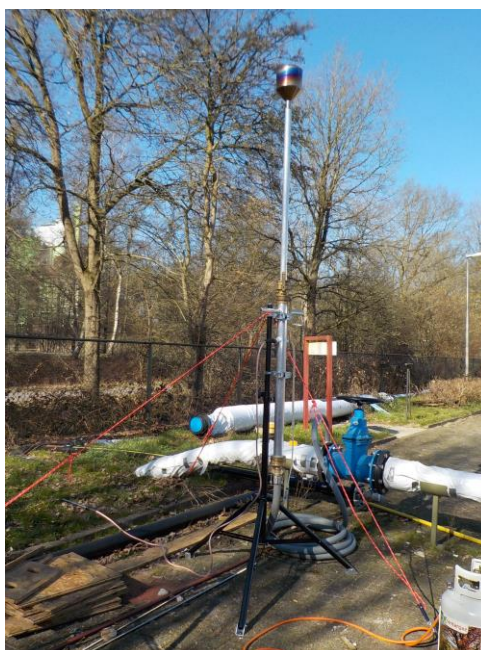
## VI Foto's van de testopstelling



Intredepunten en aanstroomzijde brugleiding



Brugleiding en afstroomzijde brugleiding



Uittredepunten (rode pijlen) en affakkelinstallatie

## VII Gebruikte meetapparatuur

Omschrijving	Fabrikaat en type	Kiwa-nr
Aardgasdetector	MultiRAE - Lite IR	114033
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114034
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114036
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114037
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114038
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114039
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114040
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114041
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114043
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114633
Gasmeter	Elster - RVG G65	-
Electronisch Volume Herleidings Instrument	Wigersma Sikkema - Unigas 300	-

## VIII Verwijzing naar filmopnamen affakkelen

Hieronder een verwijzing naar enkele filmopnamen van het affakkelen bij verschillende spoelsnelheden:

<https://youtu.be/S2woOm4YrqY>

## IX Spoelsnelheden en debieten bij verschillende leidingdiameters

Op basis van voorliggende rapportage is onderstaande tabel met toelichtingen<sup>6</sup> ook van toepassing op het verdrijven van aardgas met waterstof.

Leiding-diameter	Minimaal benodigde spoelsnelheid [m/s]	Benodigd debiet bij de minimaal benodigde spoelsnelheid [m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /h]	Benodigd debiet bij de geadviseerde spoelsnelheid van 1,0 m/s [m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /h]
DN 32	0,4	2	3
DN 50	0,4	3	8
DN 80	0,4	8	19
DN 100	0,4	12	29
DN 150	0,4	26	64
DN 200	0,4	46	113
DN 250	0,5	89	177
DN 300	0,6	153	255
DN 400	0,8	362	452

Opmerkingen:

- De minimaal benodigde spoelsnelheid snelheid geldt voor alle leidingmaterialen.
- De benodigde spoelsnelheid van minimaal 0,4 m/s geldt voor leidingen met een diameter kleiner of gelijk aan DN 200. Voor leidingen met een grotere diameter moet de spoelsnelheid evenredig met de diameter groter zijn.
- Voor het benodigde debiet is er gerekend met de nominale diameter, dus voor DN 200 is met een binnendiameter gerekend van 200 mm. Voor bijvoorbeeld een PE-leiding DN 200 (inwendige diameter 177 mm) is het benodigde debiet kleiner (36 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h), voor een stalen leiding DN 200 (inwendige diameter 210 mm) wat groter (50 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h).
- Daar waar sprake is van verschillende leidingdiameters in het te spoelen tracé moet de benodigde spoelsnelheid van de grootste leidingdiameter worden aangehouden.

<sup>6</sup> Bron: Kiwa Technology rapportage "Spoelen van waterstofleidingen GT 200289" – Referentie [1]