

HyDelta

WP1F – Testing valves in the transmission grid (> 16 bar)

D1F.1 – Final report

Status: Final

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2020-HyDelta.

Document samenvatting

Corresponderende auteur

Corresponderende auteur	Nard Vermeltfoort
Verbonden aan	Kiwa Technology B.V.
Email adres	Nard.Vermeltfoort@kiwa.com

Document historie

Versie	Datum	Auteur	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzigingen
1	18-11-2021	Cees Lock	Kiwa Technology	Eerste pre-concept versie
2	24-12-2021	Nard Vermeltfoort & Sander Lueb	Kiwa Technology	Eerste concept versie
3	25-01-2022	Nard Vermeltfoort & Sander Lueb	Kiwa Technology	Conceptversie na verwerking 1e ronde aan opmerkingen.
4	01-02-2022	Nard Vermeltfoort	Kiwa Technology	Laatste conceptversie voor kwaliteitsborging.
5	14-03-2022	Nard Vermeltfoort	Kiwa Technology	Opmerkingen kwaliteitsborging verwerkt
6	04-04-2022	Nard Vermeltfoort	Kiwa Technology	Laatste opmerkingen verwerkt
7	26-04-2022	Nard Vermeltfoort	Kiwa Technology	Finale versie

Verspreidingsniveau

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

Document goedkeuring

Partner	Naam
Kiwa Technology	Cees Lock
Gasunie	Lammert Nijland
DNV	Karen van Bloemendaal
NEC, Kiwa, DNV, TNO, NBNL, Stedin, Alliander	HyDelta Supervisory Group

Executive summary

This report describes the execution and results of work package WP1F (Testing valves in the transmission grid), which is a part of the HyDelta research program. The research consists of measurements on the external leakages of ten ball valves with both natural gas and hydrogen at pressures above 16 bar. Additionally, the internal leakage of twelve ball valves and external leakage of seven plug valves in a natural gas grid were measured.

The goal of the measurements with both natural gas and hydrogen is to find a relation or ratio of the flow through a leak for both gases. Theoretically, it can be calculated that the ratio would be close to three. This factor could be used to identify if existing valves can be used, with respect to leakages, in a hydrogen distribution network. In this research, there were insufficient leakages measured to confirm or disprove this ratio. For the ten valves at which measurements were done, it can be concluded that if no leak can be measured with natural gas, also no leak can be measured with hydrogen. Because of the limited number of measurements and the absence of leakages, this cannot be guaranteed for the entire population of valves. It is therefore recommended that if a pipeline will be assigned to transport hydrogen, all the valves connected to this pipeline should be inspected individually according to the measuring method described in this report.

From 37,000 installed valves in the national gas grid with a pressure rating above 16 bar, a selection of 12 ball valves and 4 plug valves was made to represent the existing valves as good as possible. The selection criteria are based on the amount, and the most used brands/types installed in the grid. The measurements are divided between external leakages (from the valve to the environment) and internal leakages (from one side of the valve to the other). When a significant external leakage is detected using the “Leak Detection And Repair” (LDAR) method, an additional measurement is executed with a “Hi-flow sampler” (HFS) and/or a flow measurement. Two ball valves are found to have an internal leakage that was of such an order that the valve could not be filled with hydrogen. Therefore, out of the 12 ball valves, there were 10 measurements with hydrogen. The measurement of one of the selected plug valves could not be done, and four plug valves were additionally measured. This makes that in total 19 valves have been used in the measurements.

Plug valves are only tested on external leakages with natural gas. For plug valves, it was unfeasible to perform any type of measurement with hydrogen. A comparison between hydrogen and natural gas could therefore not be made for these types of valves.

Summarizing the measurements:

- Three of the twelve ball valves have a detectable amount of natural gas in the valve stem, all without a measurable flow.
- Four out of ten ball valves have a detectable amount of hydrogen in the valve stem, all without a measurable flow.
- For all ball valves, an external leakage could not be detected for both gases. A ratio of the leakage could therefore not be determined.
- Five out of the twelve ball valves had a measurable internal leakage for natural gas, of which three were above the Gasunie rejection limit. The internal leak tests could not be performed with hydrogen.
- Two out of the seven plug valves had a measurable external leakage in natural gas. These tests could not be performed with hydrogen.

Besides the leakage measurements, other properties of the existing valves have been examined. A literature research indicated that no problems are expected concerning the hydrogen suitability of

the materials used in valves, given the operating pressure and temperature. Manufacturers where inquired about the hydrogen capability of valves. The general response was that no problems are expected when hydrogen is used in the newer valves.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de uitvoering en resultaten van werkpakket WP1F (Testing valves in the transmission grid) dat een onderdeel is van het HyDelta onderzoeksprogramma. Het onderzoek bestaat uit het bepalen van de uitwendige lekkage van tien kogelafsluiters in zowel aardgas als waterstof onder drukken boven de 16 bar. Daarnaast is de inwendige lektheid van twaalf kogelafsluiters en de uitwendige lektheid van zeven plugafsluiters gemeten in aardgas.

Het doel van de metingen met aardgas en waterstof is om een relatie tussen beide lekdebieten af te leiden. Op theoretische gronden is berekend dat de verhouding ongeveer een factor drie zou zijn. Deze factor zou gebruikt kunnen worden om van bestaande, al geïnstalleerde, afsluiters met bekend lekdebiët te bepalen of ze - wat lekkage betreft - geschikt zijn voor gebruik in waterstof. Er zijn in dit onderzoek echter onvoldoende meetbare lekkages gevonden om de relatie tussen de lekdebieten bij aardgas en bij waterstof vast te stellen. Voor de onderzochte tien kogelafsluiters wordt geconcludeerd dat wanneer een afsluiter voldoende lektdicht is in aardgas, deze ook voldoende lektdicht is in waterstof. Vanwege het beperkte aantal en het ontbreken van meetbare lekkages is dit echter nog niet met voldoende zekerheid te garanderen voor de gehele populatie afsluiters. Aanbevolen wordt dan ook om, in het geval dat er overwogen wordt een specifieke leiding voor waterstof te gaan herbestemmen, de afsluiters individueel te onderzoeken.

Uit 37.000 in het landelijke transportnet geïnstalleerde afsluiters met een ontwerpdruk boven de 16 bar, is een zo representatief mogelijke selectie gemaakt van 12 afsluiters van het type “kogelafsluiter” en 4 van het type “plugafsluiter”. De selectie van beschikbare afsluiters is gebaseerd op de mate van voorkomen van de verschillende merken en types. Bij het meten van lekkage wordt onderscheid gemaakt tussen uitwendige lekkage (van binnen in de afsluiter naar de buitenlucht) en inwendige lekkage (tussen de bovenstroomse en de benedenstroomse zijde van de afsluiter). Wanneer een significante uitwendige lekkage is gedetecteerd met een lekdetectiemethode (LDAR), is het lekdebiët uitgevoerd met een Hi-flow sampler (HFS) en/of met een debietmeter. Twee kogelafsluiters waren dusdanig inwendig lek dat deze niet gevuld konden worden met waterstof. Hierdoor zijn er van de twaalf kogelafsluiters, tien met waterstof beproefd. Daarnaast was er 1 plugafsluiter die niet bemeaten kon worden, en zijn er vier extra plugafsluiters bemeaten. Het totale aantal bemeaten afsluiters kwam daarmee op 19.

Het is niet haalbaar gebleken om voor plugafsluiters de inwendige lekkage te meten of een meting uit te voeren met waterstof. Plugafsluiters zijn daarom alleen in aardgas getest op uitwendige lekkage en de vergelijking aardgas met waterstof kon voor deze afsluiters dus niet worden gemaakt.

De resultaten van de metingen kunnen als volgt worden samengevat:

- Drie van twaalf kogelafsluiters hebben een detecteerbare hoeveelheid aardgas in de klepsteel, echter zonder meetbaar lekdebiët.
- Vier van tien kogelafsluiters hebben een detecteerbare hoeveelheid waterstof in de klepsteel, echter zonder meetbaar lekdebiët.
- Noch in aardgas, noch in waterstof werd bij de geteste kogelafsluiters een meetbaar lekdebiët (uitwendige lekkage) geconstateerd. Een eventuele relatie tussen beide lekdebieten kon dus niet worden afgeleid.

- Vijf van de twaalf kogelafsluiters hadden een meetbaar inwendig lek bij aardgas, waarvan drie boven de afkeurgrens ($60 \text{ m}^3/\text{h}$) van de Gasunie. Deze testen konden niet worden uitgevoerd met waterstof.
- Twee van de zeven plugafsluiters hadden een meetbaar uitwendig lek in aardgas. Deze testen konden niet worden uitgevoerd met waterstof.

Naast de lekdichtheidsmetingen is er ook gekeken naar de fysieke mogelijkheid om bestaande afsluiters te gebruiken in een waterstof distributienetwerk. Uit een literatuurstudie naar de geschiktheid van de toegepaste materialen blijkt dat bij de heersende drukken en temperaturen er geen reden is om aan de geschiktheid te twijfelen. Bij navraag aan de afsluiter leveranciers over de toepasbaarheid van bestaande afsluiters in waterstofnetten blijkt dat, wat de leveranciers betreft, er bij nieuwere afsluiters geen problemen worden verwacht.

Inhoudsopgave

Document samenvatting	2
Executive summary	3
Samenvatting.....	5
1. Aanleiding.....	8
2. Doel en aanpak op hoofdlijnen	9
2.1 Doelstelling.....	9
2.2 Oplevering	9
3. Methode.....	10
3.1 Selectie van afsluiters.....	10
3.2 Gebruikte lekdichtheidsmetingen: uitwendige lekdichtheid kogel- en plugafsluiters	11
3.3 Gebruikte lekdichtheidsmetingen: inwendige lekdichtheid kogelafsluiters.....	13
4. Literatuuronderzoek en leveranciers uitvraag.....	15
4.1 Literatuuronderzoek.....	15
4.2 Leveranciers uitvraag	16
4.3 Theoretische benadering van de lekfactor.....	16
5. Resultaten praktijkonderzoek	17
5.1 Uitgevoerde metingen aan kogelafsluiters	17
5.2 Meetresultaten uitwendige lekkage bij kogelafsluiters	18
5.3 Inwendige aardgaslekkage metingen bij kogelafsluiters	19
5.4 Meetresultaten uitwendige lekkage plugafsluiters.....	20
5.5 Interpretatie en beschouwing van de resultaten.....	21
6. Conclusies en aanbevelingen	22
6.1 Algemene conclusies	22
6.2 Kogelafsluiters	22
6.3 Plugafsluiters	22
6.4 Aanbevelingen.....	22
Bibliography.....	24
I. Details van de afsluiters	25
II. Modelering van gaslekken.....	26
III. Aanvullend onderzoek inwendige lekkage afsluiters.....	30

1. Aanleiding

Het gebruik van de bestaande gastransport- en distributienetwerken zijn sleutelementen in het minimaliseren van de maatschappelijke kosten van een grote uitrol van waterstof. Belangrijk daarbij is te weten of het bestaande aardgastransportnet voor waterstof omgebouwd kan worden en welke acties hiermee gepaard gaan.

Een van de openstaande vragen betreft de geschiktheid van de afsluiters in het bestaande landelijke transportnet. Dit transportnet wordt bedreven op drukken boven de 16 bar, in tegenstelling tot het regionale transportnet dat wordt bedreven op drukken onder de 16 bar. In het landelijke transportnet bevinden zich ongeveer 37.000 afsluiters van verschillende formaten, merken, typen en bouwjaren. De verscheidenheid van werkingsprincipes is beperkt maar in gebruik van afdichtingsmaterialen is de verscheidenheid groter.

In het in dit rapport beschreven onderzoek worden inwendige en uitwendige lekdichtheidsmetingen aan de afsluiters verricht. Het doel van het onderzoek is de hoeveelheid lekkage te bepalen onder zowel aardgas als waterstof condities. Dit is van belang om bij toekomstige metingen onder G-gas of H-gas condities, een uitspraak te kunnen doen wat de te verwachten lekkage zal bedragen onder waterstof condities. Middels de lekdichtheidsmetingen aan een aantal specifiek geselecteerde afsluiters zal een eerste gefundeerde inschatting gemaakt kunnen worden.

Kiwa heeft in de afgelopen jaren inwendige en uitwendige lekdichtheidsmetingen aan enkele uitgenomen afsluiters uit het transportnet uitgevoerd [1]. Deze afsluiters werden beproefd met waterstof bij een druk van 66 bar. Uit deze testen kwam een wisselend beeld naar voren waarbij de meeste afsluiters (nagenoeg) lekdicht bleken maar enkele afsluiters ook enige lekkage vertoonden (de gemeten externe lekkage varieerde tussen 0 en 136 l/h, en de inwendige tussen 0 en 411 l/h). Deze uitkomsten gaven aanleiding voor verder onderzoek.

2. Doel en aanpak op hoofdlijnen

2.1 Doelstelling

Het doel van dit werkpakket is de kennis over de geschiktheid van afsluiters voor de toepassing van waterstof te vergroten. Specifiek voor dit onderzoek is het de bedoeling om te onderzoeken of een uitspraak gedaan kan worden over de geschiktheid van in-situ (in gebruik zijnde) afsluiters in relatie met waterstof.

Met dit onderzoek is beoogd een antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag:

Kunnen de bestaande / geïnstalleerde afsluiters in het aardgastransportnet veilig gebruikt worden voor het transport van waterstof?

De bijbehorende deelvragen zijn:

- Wat is de interne- en externe lektheid (zowel met aardgas als waterstof) van een selectie van bestaande types afsluiters die mogelijk geschikt zijn voor gebruik in het waterstofnetwerk?
- Zijn de materialen (zowel staal als afdichtingsmaterialen) in de afsluiters geschikt voor gebruik met waterstof?
- Hoe zijn de uitkomsten van de metingen en de geschiktheid van materialen te vertalen naar een uitspraak over de geschiktheid van afsluiters in-situ?

Om deze vragen te beantwoorden, zijn er lektheidsmetingen met zowel aardgas als waterstof uitgevoerd. Daarnaast is onderzocht of deze kennis vertaald kan worden naar een manier om ook over in-situ afsluiters een uitspraak te kunnen doen over de geschiktheid voor waterstof. Op deze manier kan van een afsluiter(schema) in de praktijk een inschatting van de geschiktheid en eventuele risico's worden gemaakt.

2.2 Oplevering

Het werkpakket wordt afgerond met het opleveren van deze rapportage. Deze rapportage bevat de volgende onderdelen:

- De uitkomsten van de inventarisatie van gebruikte materialen in afsluiters en het onderzoek naar deze materialen.
- De meetresultaten en de interpretatie van de uitgevoerde interne- en externe lektheidsmetingen.
- Een vertaling van de uitkomsten naar de in-situ situatie.

3. Methode

Om de hoofdvraag uit hoofdstuk twee te kunnen beantwoorden is er een literatuuronderzoek en een praktijkonderzoeken uitgevoerd. Hierbij lag de focus van dit project vooral op het praktijkonderzoek. De aanpak en de resultaten uit het literatuuronderzoek worden in hoofdstuk 4 gepresenteerd. Daarna wordt het praktijkonderzoek besproken. Hierbij wordt eerst inzichtelijk gemaakt op welke basis de afsluiters zijn geselecteerd. Daarna worden kort de meetmethoden besproken. Omdat het praktijkonderzoek een continu leerproces was, zijn de metingen en meetmethoden op basis van voortschrijdend inzicht gedurende de metingen aangepast. Hierbij is getracht om de metingen zoveel mogelijk eenduidig te presenteren. Ook zijn niet alle meetgegevens gepresenteerd maar is er getracht in dit rapport een zo goed mogelijke representatie van de meetgegevens weer te geven.

3.1 Selectie van afsluiters.

Er is een inventarisatie uitgevoerd naar de meest voorkomende afsluiters in het bestaande Gasunie netwerk van hoofd- en regionale transportleidingen met een druk hoger dan 16 bar.

De inventarisatie heeft plaatsgevonden op basis van een aantal kenmerken. De belangrijkste kenmerken van een afsluiter zijn:

- Functie in het transportnet (sectioneren, aansluiten stations, etc.)
- ANSI-klasse (tot welke druk is de afsluiter ontworpen)
- Producent / merk van de afsluiter
- Dimensie van de aansluiting (DN 900, DN 1200, etc.)
- Aantal in gebruik
- Type (meest voorkomend zijn kogel-, schuif- of plugafsluiters)
- Leeftijd

Uit de inventarisatie blijkt dat afsluiters in het transportnetwerk van Gasunie globaal in de volgende verhouding zijn toegepast [2]:

- 70% kogelafsluiters
- 22% plugafsluiter
- 8% schuifafsluiters

De meest voorkomende merken kogelafsluiters in het hoofdtransportnetwerk (DN 900 – DN 1200) van Gasunie zijn Cameron, Grove en RMA. Cameron en Grove zijn grofweg tot het jaar 2000 toegepast, sindsdien worden voornamelijk RMA-kogelafsluiters geplaatst. De plugafsluiters zijn van de merken Christensen en AUDCO, waarbij Christensen het meeste is toegepast. Uit een inventarisatie door Gasunie blijkt dat deze afsluiters ook bij de andere Europese gastransportnetbeheerders veelvoorkomend zijn.

De selectie van afsluiters is gebaseerd op de frequentie van voorkomen van types afsluiters. Omdat kogelafsluiters het meest zijn toegepast is ervoor gekozen om een selectie te maken in de verhouding van 75% kogelafsluiters en 25% plugafsluiters.

De meest toegepaste merken zijn Cameron, Grove en RMA. Van elk van deze merken is een selectie gemaakt van vier afsluiters in de diameterreeks DN 900 tot en met DN 1200, ANSI 600 met een spreiding in leeftijd. Het is heel aannemelijk dat deze typen op dit moment ook in het beoogde nationale waterstofnetwerk zijn geïnstalleerd.

Ook plugafsluiters worden veel toegepast in het transportnetwerk, hiervan is het meest toegepaste merk (Christensen) geselecteerd in de diameter DN 400, ANSI 600 met een spreiding in leeftijd.

Van elk van de vier merk/types zijn vier afsluiters geselecteerd, dus in totaal zestien stuks, zie Tabel 1. Tijdens het voortraject was ervan uitgegaan dat er twaalf afsluiters getest zouden worden en er per merk een reserve afsluiter geselecteerd zou worden. Uiteindelijk is er voor gekozen om alle zestien afsluiters te onderzoeken om zo een beter inzicht te verkrijgen. Hierbij is een van de RMA afsluiters vervangen door een Börsig afsluiter vanwege praktische uitvoerbaarheid. Daarnaast zijn nog drie extra plugafsluiters bemeten waardoor het totaal op negentien bemeten afsluiters komt.

Zie voor detailinformatie over de geselecteerde afsluiters bijlage I.

Tabel 1. Geselecteerde afsluiters.

Producent	Type	DN-reeks	Bouwjaar	Aantal	Lekdichtheid
Grove	Kogelafsluiter	900 – 1200	1963-1993	4	In- en uitwendig
Cameron	Kogelafsluiter	900 – 1200	1974-2000	4	In- en uitwendig
RMA	Kogelafsluiter	900 – 1200	2006-2011	4	In- en uitwendig
Christensen	Plugafsluiter	400	1975 -2009	4	Uitwendig

3.2 Gebruikte lekdictheidsmetingen: uitwendige lekdictheid kogel- en plugafsluiters

De beschrijving van de lekdictheidsmetingen is uitgebreid vastgelegd in een meetprotocol [2]. Dit meetprotocol is niet publiek beschikbaar. Daarom worden de belangrijkste aspecten van de selectie van afsluiters, de uitwendige en de inwendige lekdictheidsbepalingen in onderstaande paragrafen toegelicht.

De uitwendige lekdictheidsbepaling bestaat uit drie stappen, waarbij elke volgende stap alleen wordt uitgevoerd bij significante waarden in de vorige stap:

1. LDAR-metingen (aardgas en waterstof)
2. Lekdebietmetingen met een Hi-flow sampler (alleen aardgas)
3. Lekdebietmetingen met rotameters 'Brooks' (aardgas en waterstof)

Een complete beschrijving van de metingen en de uitvoering hiervan is te lezen in het meetprotocol. [2]. Tijdens de metingen is de omgevingstemperatuur niet vastgelegd. Het effect van temperatuur op de metingen is minimaal. Daarnaast zijn de metingen in het najaar gedaan waarbij zoninstraling over het algemeen te verwaarlozen was. De belangrijkste punten worden hieronder toegelicht.

LDAR-metingen (aardgas en waterstof)

Bij alle afsluiters zijn de metingen aangevangen met een zogenaamde LDAR-meting analoog aan hoe deze door Gasunie gehanteerd wordt. LDAR staat voor Leak Detection And Repair campaign

(lekdetectie- en reparatiecampagne). Hierbij wordt met een gasconcentratiemeter de ventilatieopening van de verlengspindel van de afsluiter gedurende een bepaalde tijd bemeten en wordt de maximale waarde genoteerd. De op die manier gevonden methaanconcentratie (in ppm) is geen bepaling van de daadwerkelijke lekhoeveelheid, maar kan wel worden gehanteerd als indicator of reparatie nodig is. In het kader aan de rechterkant staat de LDAR uitleg zoals deze door Gasunie wordt gehanteerd. In het in dit rapport beschreven onderzoek wordt op twee punten afgeweken van de Gasunie praktijk: de grenswaarde en de meettijd.

Gasunie hanteert een waarde van 1000 ppm als grenswaarde voor reparatie van het gevonden lek. Met het oog op het doel van dit onderzoek - het afleiden van een relatie tussen metingen in aardgas en waterstof - zijn hier afwijkende grenswaarden gehanteerd: 500 ppm voor aardgas en 100 ppm voor waterstof. De keuze voor deze waardes is gebaseerd op de meetnauwkeurigheid van de gebruikte meetapparatuur.

Gasunie hanteert een meettijd van 5 seconden. In dit onderzoek zijn de concentratiemetingen minimaal 1 minuut uitgevoerd, omdat de gemeten waarde fluctueert tijdens de meting. Hierbij is de maximale gemeten waarde van belang en opgenomen in de tabellen. Door een langere tijd te meten is de kans om de maximale waarde te meten groter.

Voor de gassen waarmee in dit onderzoek is gewerkt geldt dat wanneer er geen gasconcentratie is gemeten, ervan kan worden uitgegaan dat er geen (of een verwaarloosbaar klein) lek is. Wanneer er wel een gasconcentratie is gemeten, zegt dit niet alles over de grootte van het lek. Een klein lek kan/zal op den duur leiden tot een hoge concentratie in de schutbuis. We nemen daarom aan dat bij het meten van een methaanconcentratie > 500 ppm er sprake is van een mogelijk meetbaar lek, waarna de daaropvolgende meting wordt aangevangen.

Lekdebietmetingen met een Hi-flow sampler (alleen aardgas)

Wanneer een concentratie > 500ppm werd gemeten met de LDAR meetmethode, is er vervolgens een meting met een HFS (Hi-flow sampler) uitgevoerd. Bij de HFS-meting wordt de hoeveelheid aardgas die lekt uit de ventilatieopening aangezogen en de meetunit bepaalt daarna de lekhoeveelheid. Belangrijk hierbij is dat er een stabiele situatie heerst tussen het lek en de hoeveelheid ventilatie in de schutbuis. Hierdoor is deze meting vooral bij grotere lekken bruikbaar.

De HFS is niet geschikt voor waterstof, aangezien deze alleen methaan registreert. Als bij de HFS meting een hoeveelheid aardgas is gemeten wordt, indien mogelijk, ook een debietbepaling uitgevoerd met de debietmeter.

Lekdebietmetingen met rotameters 'Brooks' (aardgas en waterstof)

Tijdens de debietmeting bij de kogelafsluiters is de manifold aangesloten op de drain (zie figuur 3). Op de manifold wordt de debietmeter (zie figuur 2) aangesloten en deze wordt weer aangesloten op de afblaasinstallatie. Daarna wordt door een naaldventiel de benodigde druk geregeld. De hoeveelheid die afgeblazen wordt, staat gelijk aan hetgeen er door beide afdichtingen heen lekt. Bij plugafsluiters wordt de debietmeter aangesloten op de ventilatieopening, waardoor het lek door de ventilatieopening wordt bemeten. Een uitgebreidere beschrijving van de meetmethode, alsmede de specificaties van de rotameters staan in het meetprotocol [2].

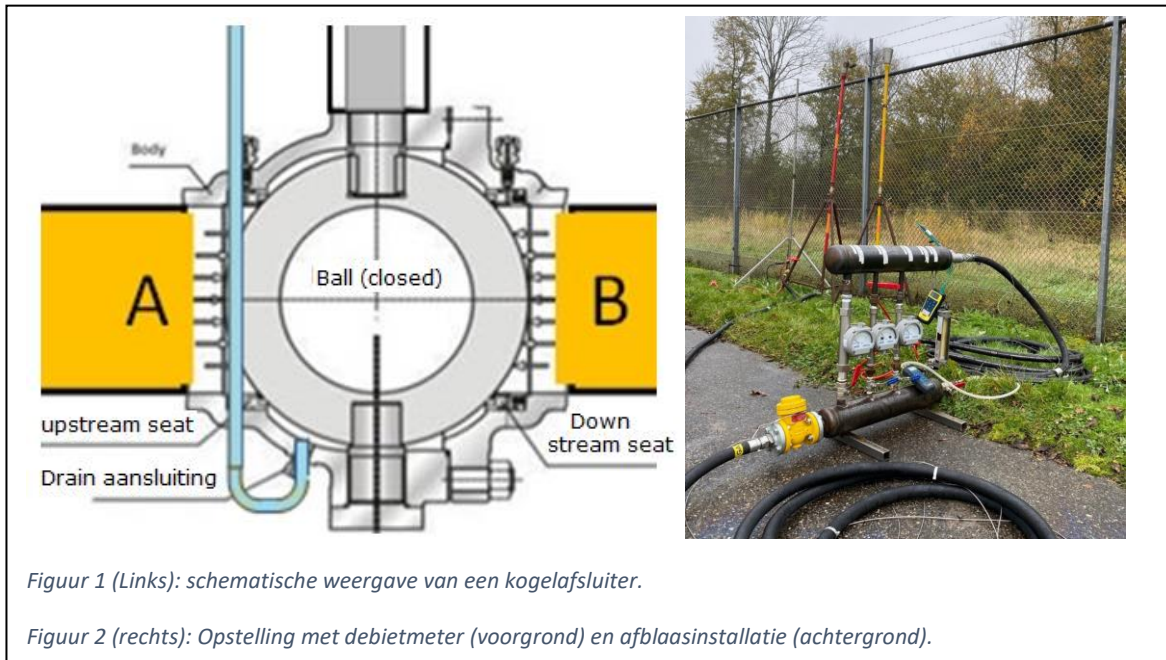
Toelichting Gasunie

Lekverliesmetingen (LDAR) gebieden
– Code: LEK-001 – Vakgroep: EIWI
(Gasunie):

De meetsonde van het TVAxx meetapparaat dient langzaam en zo dicht mogelijk rondom de potentiële lekbron te worden bewogen. De maximale meetwaarde is van belang. Houd de sonde een vijftal seconde rondom de positie met de maximale meetwaarde, en registreer deze waarde indien > 1000 ppm.

3.3 Gebruikte lekdichtheidsmetingen: inwendige lekdichtheid kogelafsluiters

In dit project is de inwendige lekdichtheid alleen gemeten voor kogelafsluiters, vanwege de lagere relevantie hiervan voor plugafsluiters. Plugafsluiters worden als slijtafsluiter gebruikt met als doel om grote drukverschillen te vereffenen. Bij dit soort afsluiters mag daarom een mate van inwendige lekkage voorkomen.



Tijdens oriënterende metingen is geconcludeerd dat het uit praktisch oogpunt niet mogelijk is om de inwendige lekdichtheid voor waterstof te bepalen. De leidingsecties aan weerszijden van de afsluiter hebben in alle gevallen te veel volume om geheel te vullen met waterstof. Zelfs de kortste afsluitbare leidingsecties (bijvoorbeeld bij scrapertrap afsluiters) hebben een zo groot volume dat het praktisch niet haalbaar is de sectie te vullen met waterstof tot een druk van 67 bar. De hier beschreven inwendige lekdichtheidsmetingen zijn dus alleen uitgevoerd met aardgas.

De inwendige lekdichtheid is bepaald bij verschillende drukverschillen over de afdichtingen. De drukverschillen worden verkregen door het aflaten van druk in de body,

terwijl de druk in de doorgaande leiding aan beide zijden van de afsluiter vrijwel gelijk blijft. Wanneer het gewenste drukverschil bereikt is, wordt de druk door bediening van het naaldventiel richting de



debietmeters constant gehouden. Vervolgens werd het debiet afgelezen. De gemeten lekkage is de totale lekkage van de twee afdichtingen, de verhouding van lek grootte tussen de twee afdichtingen is onbekend.

4. Literatuuronderzoek en leveranciers uitvraag

Deel van de onderzoeksvraag gaat over de geschiktheid van materialen. Hiervoor is literatuuronderzoek gedaan, welke in de onderstaande paragraaf wordt beschreven. In het tweede deel van dit hoofdstuk worden de reacties van de fabrikanten op de vraag of bestaande afsluiters geschikt zijn in een waterstofnetwerk samengevat. Daarna wordt de theoretische benadering van de lekfactor besproken.

4.1 Literatuuronderzoek

In januari 2021 heeft Kiwa Technology een onderzoek afgerond naar de invloed van waterstof op zachte materialen [3]. Het onderzoek bevatte een deel literatuuronderzoek alsmede een deel experimenteel onderzoek. Het doel van het onderzoek was het in kaart brengen van eventuele tekortkomingen van zachte materialen, die een belemmering kunnen vormen om de distributie van waterstof veilig en betrouwbaar te laten plaatsvinden. Onder zachte materialen worden de polymeren verstaan: rubbers en plastics, smeermiddelen (hoofdbestanddeel olie), epoxyharsen en lijmen. Het onderzoek was gericht op de gasdrukregelininstallaties voor regionale netbeheerders (RNB's). De maximale druk in het net van de RNB's is 8 bar, terwijl deze voor de landelijke netbeheerder tot wel 80 bar is. Verderop zal blijken dat de conclusies uit het rapport ook goed bruikbaar zijn voor de hogere druk in het landelijke transportnet.

Het literatuuronderzoek wijst uit dat er in RNB gasdrukregelininstallaties geen materiaalinteracties met waterstof te verwachten zijn, omdat er geen hoge drukken van meer dan 900 bar of temperaturen van boven de 200 graden Celsius in voorkomen. API RP941 [4] geeft aan dat alleen dergelijke extreme condities zouden kunnen resulteren in volumeverandering en compressieverschillen in de materialen die kunnen leiden tot degradatie. Geconcludeerd wordt daarom dat de effecten van waterstof op de degeneratie van zachte (en overige) materialen verwaarloosbaar zijn bij de drukken en drukvariaties in de Nederlandse distributienetten. Aangezien ook in het landelijke transportnet van Gasunie de drukken ruim onder de 900 bar blijven, en de temperaturen ruim onder de 200 graden Celsius blijven, zijn er op dit aspect geen materiaalproblemen te verwachten. Wel moet rekening gehouden worden met een eventueel verhoogde waterstofpermeatie bij materialen waar permeatie een rol speelt. Hierdoor moet er bij oudere afsluiters per afsluiter onderzocht worden of ze materiaal- en constructietechnisch voldoen aan de eisen om veilig waterstof te transporteren.

Voor 2006 werden afsluiters afgenomen zonder aanvullende specificatie ten aanzien van vluchtige emissies (*fugitive emissions*). Destijds gold algemeen TA-luft/VDI 2440 [5], een Duitse nationale richtlijn met de bijbehorende testprocedure. Deze richtlijn werd opgesteld in 1964 en was tot 2006 de enige erkende industrienorment voor afsluiters die werden gebruikt om vluchtige emissielekkage naar de atmosfeer te classificeren. De richtlijn specificeerde hoeveel een klepsteellafdichting of pakking mocht lekken, maar er werd niet gespecificeerd onder welke omstandigheden. In plaats daarvan was het aan de fabrikant om de onderdelen te testen onder de - naar hun inschatting - van toepassing zijnde omstandigheden. Dit kan door velen als willekeurig worden beschouwd, aangezien het dan aan elke individuele fabrikant is om te beslissen onder welke omstandigheden lektesten worden uitgevoerd. TA-luft specificeerde niet hoeveel mechanische of thermische testcycli de afsluiter moet ondergaan om de testen te doorstaan [6].

Vanaf 2006 geldt de internationale norm ISO 15848-1, annex B. Deze norm is ingevoerd vanwege een toegenomen vraag naar duurzame afsluiters. Het ontbreken van een geharmoniseerde norm om de milieu-impact van lekkage naar de atmosfeer van afsluiters te verifiëren en te classificeren, was de

belangrijkste drijfveer. In tegenstelling tot TA-luft, vermeldt de ISO 15848-1 de testvoorwaarden duidelijk. Het testen kan worden uitgevoerd in drie verschillende klassen waarbij temperatuur en druk worden gevarieerd tussen kamertemperatuur en testtemperatuur, respectievelijk tussen atmosferische druk en testdruk. Velen zijn van mening dat de testprocedure voor deze norm beter aangeeft wat de algehele prestatie van de afsluiter is, aangezien alle afsluiters op exact dezelfde manier worden getest.

4.2 Leveranciers uitvraag

Aan de fabrikanten van de afsluiters is gevraagd of de afsluiters compatibel zijn met waterstof. Onderstaand staat per fabrikant een citaat van de reactie.

RMA: Afsluiters zijn geschikt voor gebruik met waterstof.

GROVE: Wil graag overleggen over de mogelijkheden.

Cameron: Het lijkt erop dat Cameron kogelafsluiters bestand zijn tegen waterstof.

Christensen: Oudere afsluiters zijn niet getest volgende de huidige norm en voldoen daarom mogelijk niet aan de huidige emissie eisen. De nieuwe ontwerpen vallen wel binnen de huidige norm.

Op basis van het literatuuronderzoek, alsmede de reactie van de leveranciers en Gasunie, worden geen problemen verwacht met de zachte (polymeren) of harde (koolstofstaal) delen in de afsluiters. Deze aspecten zijn dan ook geen criterium voor de selectie van afsluiters in de experimenten in dit onderzoek.

4.3 Theoretische benadering van de lekfactor

In bijlage II staat een theoretische afleiding voor de te verwachten verhouding tussen het debiet aardgas en het debiet waterstof dat door een gelijke uitstroomopening heen gaat. Hierbij zijn modellen van gas dat door een klein gat heen stroomt gebruikt om de lekfactor tussen aardgas en waterstof te bepalen. De conclusie op basis van deze theoretische analyse is dat de te verwachten lekkage van waterstof bij een gelijkblijvende lekoppervlakte, globaal drie keer zo groot in volume zal zijn dan bij aardgas.

In deelvraag 124 van het HyDelta Werkpakket 1C wordt verder ingegaan op de lekfactor tussen aardgas en waterstof, hiervan staan de resultaten in rapport D1C_D1C.2.

5. Resultaten praktijkonderzoek

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen beschreven. Hierbij worden eerst de resultaten van de kogelafsluiters gegeven, daarna volgen de resultaten van de plugafsluiters. In de laatste alinea een korte beschouwing gegeven over de interpretatie van de meetresultaten.

5.1 Uitgevoerde metingen aan kogelafsluiters

In Tabel 2 staan welke metingen zijn verricht aan de kogelafsluiters. Hierin staat aan de linkerkant de fabrikant en de locatie en staat aan de rechterkant (in groen) welke metingen zijn verricht.

Tabel 2: Uitgevoerde metingen bij de kogelafsluiters.

Fabrikant	Locatie	Aardgas				Waterstof	
		uitwendig	uitwendig	uitwendig	inwendig	uitwendig	uitwendig
		LDAR	HFS	Debiet	Debiet	LDAR	Debiet
Grove	Montfort	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Grove	Nieuwstadt Zuid	ja	nee	nee	ja	ja	nee
RMA	Angerlo	ja	nee	nee	ja	ja	nee
Cameron	Spijk	ja	ja	ja	deels	ja	ja
Grove	Noordbroek	ja	nee	nee	ja	ja	nee
Borsig	Nieuwediep	ja	nee	nee	ja	ja	nee
Cameron	Nieuw Balinge	ja	nee	nee	ja	ja	nee
Cameron	Beltrum	ja	ja	nee	nee	nee	nee
Grove	Kielwindveer	ja	nee	nee	ja	ja	nee
RMA	Workum	ja	nee	nee	ja	ja	ja
RMA	Workum	ja	ja	nee	ja	ja	ja
Cameron	Anjum	ja	ja	nee	ja	ja	ja

Toelichting op de tabel:

- **Uitwendig lektheid:**
Elke afsluiter is bemeaten met een LDAR meting. Een HFS meting is alleen toegepast wanneer er met de LDAR een concentratie aardgas van 500 ppm of meer is geconstateerd.
- **Inwendige lektheid:**
Een debietmeting is alleen uitgevoerd wanneer de HFS meting een significante waarde gaf.

Bij de metingen met waterstof werd dit gedaan wanneer er met de LDAR meting een verhoogde concentratie werd gemeten.

- De volgorde is bepaald door de datum en het tijdstip van de uitvoering van de meting. Door voortschrijdend inzicht konden metingen efficiënter worden uitgevoerd. Ook is er bij de laatste metingen vaker een HFS en/of debiet meting toegepast ter validatie van de LDAR meting.

5.2 Meetresultaten uitwendige lekkage bij kogelafsluiters

In Tabel 3 staan de gemeten waarden van de kogelafsluiters. Aan de linkerkant staan hierbij het volgnummer in volgorde waarin gemeten is, de fabrikant en de locatie. Daarna is er een verdeling tussen metingen met aardgas (geel) en waterstof (blauw). Alle debietaanduidingen in dit verslag zijn normaal kubieke meters per uur of in normaal liters per uur.

Tabel 3: Gemeten waarden kogelafsluiters.

Nummer	Fabrikant	Locatie	LDAR	HFS	Uitwendig debiet	LDAR		Uitwendig debiet
			Aardgas			Waterstof		
			ppm	m3/h	m3/h	ppm	max druk (bar)	m3/h
1	Grove	Montfort	< 500	-	-	-	-	-
2	Grove	Nieuwstadt Zuid	< 500	-	-	<100	30	-
3	RMA	Angerlo	< 500	-	-	<100	46	-
4	Cameron	Spijk	500	0	0	150	62	0
5	Grove	Noordbroek	< 500	-	-	<100	39	-
6	Borsig	Nieuwediep	< 500	-	-	<100	59	-
7	Cameron	Nieuw Balinge	< 500	-	-	<100	60	-
8	Cameron	Beltrum	2.000	0	-	-	-	-
9	Grove	Windeweer	< 500	-	-	<100	60	-
10	RMA	Workum	< 500	-	-	>12.000	60	0
11	RMA	Workum	700	0	-	>12.000	62	0
12	Cameron	Anjum	< 500	0	-	2500	64	0

Toelichting bij tabel 3:

- Lichtgeel geeft aan dat er een significante verhoging is.
- Bij de metingen in Workum (afsluiters 10 en 11) en Anjum (afsluiter 12) was met LDAR een significante waterstof concentratie gemeten. Voor deze meting is een andere meter gebruikt. Ter verificatie zijn hier zowel bij aardgas als bij waterstof extra metingen uitgevoerd. Later bleek dat de meter kruisgevoelig was voor methaan, waardoor deze waarden geen goed beeld geven en er dus vooral naar de debietmetingen moet worden gekeken.
- De druk waarop is beproefd met waterstof is niet overal gelijk aan de netdruk. In twee gevallen (afsluiters 1 en 8) was het niet mogelijk om te beproeven met waterstof omdat er

teveel interne lekkage was. In de overige gevallen (afsluiters 2,3 en 5) kon de netdruk niet gehaald worden door een beperkte beschikbare voorraad waterstof die meegenomen mag worden.

- De afsluiter in Spijk (nummer 4) had een grote inwendige lekkage van aardgas, hoewel kleiner dan de gestelde limiet van 70 m³/h. Hierdoor is bij het vullen met waterstof een samenstelling is ontstaan van aardgas en waterstof waarbij enkel waterstof wordt bemeten bij de uitwendige lekkage (dit zijn dan de metingen voor H₂, dus in de blauwe kolom). Dit kan resulteren in de lager dan verwachte meetwaarde voor waterstof.

5.3 Inwendige aardgaslekkage metingen bij kogelafsluiters

De inwendige lekkage is bij verschillende drukverschillen gemeten, de resultaten hiervan staan in Tabel 4.

Tabel 4: de inwendige lekkage als functie van het drukverschil over de afdichtingen.

Nummer	Fabrikant	Locatie	Inwendige lekkage bij ΔP van ...				ΔP max (bar)
			16 bar	25 bar	40 bar	ΔP max	
			(m ³ /h)	(m ³ /h)	(m ³ /h)	(m ³ /h)	
1	Grove	Montfort	> 70	-	-	-	-
2	Grove	Nieuwstadt Zuid	30,0	38,3	42,2	33,8	54
3	RMA	Angerlo	28,8	18,8	7,5	4,9	56
4	Cameron	Spijk	~ 62	-	-	-	-
5	Grove	Noordbroek	-	-	-	2,6	64
6	Christensen	Nieuwediep	-	-	-	23,0	59
7	Cameron	Nieuw Balinge	1,36	0,78	1,66	0,56	60
8	Cameron	Beltrum	-	-	-	> 70	-
9	Grove	Windeweer	7,5	4,3	7,0	4,2	60
10	RMA	Workum (36)	13,5	7,5	1,35	0,31	59
11	RMA	Workum (04)	7,5	8,4	5,8	6,2	59
12	Cameron	Anjum	10,5	6,4	3,4	1,54	64

Een groot inwendig lek werd geconstateerd wanneer er geen significante drukdaling werd gemeten tijdens het afblazen van het aardgas in de body. Bij deze grote inwendige lekken was het niet mogelijk de afsluiter met waterstof te vullen. Hierbij stroomt het aardgas dusdanig snel in de body dat het met de huidige opstelling praktisch onmogelijk is om in het korte tijdsbestek voldoende waterstof in de body te krijgen. Het lekdebiet voor waterstof kon daarom bij grote inwendige lekken voor aardgas ook niet worden geconcludeerd op basis van deze metingen. Echter, dit is ook minder relevant omdat het toelaatbare inwendige lek, zoals gespecificeerd door Gasunie voor de afsluiters met een afmeting tussen de DN 750 en DN 1200, 60 m³/h is. De lekken zijn zo groot dat deze afsluiter ook voor aardgas afgekeurd zouden worden. Eén kogelafsluiter (nummer 4) zit op de grens van afkeur met 62 m³/h. De meting aan deze afsluiter dient indicatief te worden opgevat omdat de meting is afgebroken vanwege het verstopt raken van het filter van de meetunit door vervuiling uit het aardgasnet. Deze drie afsluiters zijn donkergeel gearceerd in tabel 4. Twee afsluiters lekken significant maar zitten niet over de afkeurgrens, deze zijn lichtgeel gearceerd. Bij deze inwendige

lektheidsmetingen bleek dat de uitkomst van de metingen afhankelijk was van de bedieningstoestand van de kogel. Op het moment dat de afsluiter bediend en teruggezet werd, waardoor de kogel dus verdraaide ten opzichte van de afdichtingen, veranderde het gemeten inwendige lekdebiet.

Bij afsluiters waarbij is gemeten met meerdere drukverschillen wordt in de meeste gevallen (bij vijf van de zeven kogelafsluiters) de laagste inwendige lekkage verkregen bij het hoogste drukverschil. Bij drie van de twaalf geteste kogelafsluiters is het inwendig lek groter dan 60 m³/h en wijkt daarmee af van de door Gasunie gestelde grens. Bij zeven van de twaalf geteste kogelafsluiters is het inwendig lek < 10 m³/h. Bij twee van de twaalf geteste kogelafsluiters heeft het inwendig lek bij het grootste drukverschil een waarde tussen 10 en 60 m³/h. Bij meerdere testen blijkt dat het lekdebiet met een kleiner drukverschil over de afdichtingen groter wordt.

5.4 Meetresultaten uitwendige lekkage plugafsluiters

In tabel 5 staan de verrichte metingen en bijbehorende resultaten voor plugafsluiters.

Tabel 5: de verrichte metingen en de uitkomsten voor plugafsluiters.

Nummer	Fabrikant	Locatie	LDAR	HFS	Uitwendig debiet
			Aardgas		
			ppm	l/h	l/h
1	Christensen	Nieuwediep	< 500	-	-
2	Audco	Nieuw Balinge	>50000	135	280
3	Christensen	Beltrum	< 500	-	-
4	Audco	Beltrum	< 500	-	-
5	Christensen	Windeweer	< 500	-	-
6	Audco	Windeweer	>50000	32	-
7	Christensen	Workum	< 500	-	-

Toelichting bij tabel 5:

- Aan de rechterkant staan de metingen. Er waren twee plugafsluiters die een meetbaar (> 500 ppm) lek hadden (donkergeel).
- De waardes gemeten met de LDAR methode waren hoger dan de maximale waarde die bij kogelafsluiters met de LDAR methode werd gemeten.
- Er zijn meer plugafsluiters bemeaten dan er geselecteerd waren om extra inzicht te verkrijgen

- In Windeweer (nummer 6) is een extra plugafsluiter bemeten omdat hiervan bekend was dat deze lek was. Hiervan is geen debiet meting gedaan omdat de HFS meting op het moment van uitvoeren van de meting voldoende representatief werd geacht.
- Het lekdebiet gemeten in plugafsluiter 2 zit bij beide metingen in dezelfde orde. In beide gevallen fluctueerde de meetwaarde, hierdoor is een directe vergelijking lastig. Daarnaast meet de HFS meting methaan, en meet de debietmeting het totale debiet. Hierdoor zullen de meetwaardes bij de debietmeting over het algemeen hoger liggen.

5.5 Interpretatie en beschouwing van de resultaten

Bij alle afsluiters is de LDAR meting met aardgas gedaan. Voor zes afsluiters (vier kogel afsluiters en twee plugafsluiters) is ook de HFS meting met aardgas gedaan. Deze zes metingen zijn uitgevoerd aan vijf afsluiters waar bij de LDAR meting een significante concentratie is gemeten, bij één afsluiter (nummer 12) heeft een controlemeting plaatsgevonden. Hieruit blijkt dat de eerdere aanname (zie paragraaf 3.2) dat bij een gemeten gasconcentratie van <500 ppm er een zeer geringe lekkage aanwezig is, goed is te verdedigen. Lekkages waarbij een concentratie wordt gemeten van 2000 ppm of minder, blijken voor deze afsluiters geen meetbare waarde op te leveren met de HFS.

Bij twee plugafsluiters is met de HFS meting een lekdebiet vastgesteld. Bij een van deze afsluiters is daarna ook een debietmeting gedaan. Bij deze debietmeting werd een lekdebiet vastgesteld wat in dezelfde orde van grootte was als wat bij de HFS meting werd vastgesteld.

Wat opvalt is dat bij het merendeel van de afsluiters geen uitwendige lekkage is vastgesteld voor aardgas en/of waterstof. Bij kogelafsluiters waarbij wel een uitwendige waterstoflekkage is waargenomen met de LDAR methoden werden vervolgens geen lekdebieten geconstateerd. Daarnaast is vastgesteld dat met name bij waterstof de gemeten waarde tijdens de LDAR meting meer fluctueerde in de tijd. Gezien de dynamica van een gaslek is dit niet verrassend. De fluctuerende waarde bevestigt dat de LDAR methode alleen goed is om het bepalen of er een lek is, maar niet hoe groot het lek is.

Om inwendige lekverliezen te beperken zou het, gezien de resultaten in Tabel 4, aan te raden zijn om zo snel mogelijk de druk af/op te bouwen. Uit de resultaten van Tabel 4 kan ook worden opgemaakt dat een verlaging van de netdruk om (interne en externe) lekverliezen te reduceren, juist een groter intern lekdebiet geeft over de afsluiter. Deze situaties komen bijvoorbeeld voor bij werkzaamheden, wanneer een leiding drukloos moet worden gemaakt.

De metingen waren afhankelijk van de bedieningstoestand van de kogel of plug. Op het moment dat de afsluiter bediend werd, veranderde het gemeten lek. Ook is elke afsluiter uniek: op basis van de geselecteerde en bemeten afsluiters is geen correlatie te vinden tussen merk en bouwjaar.

Mochten er vervolgmetingen door Gasunie of Kiwa worden uitgevoerd, moet met een aantal zaken rekening gehouden worden. De LDAR methode bleek voor waterstof minder bruikbaar omdat de meetwaarde erg fluctueerde. Een andere meetmethodiek is aan te raden zodat er niet onnodig vaak een debietmeting uitgevoerd hoeft te worden. Omdat de HFS meting niet geschikt is voor waterstof, en de meetwaardes voor aardgas overeen kwamen met de debietmeting, zou de HFS meting voor het bemeten van lekkages in afsluiters achterwege gelaten kunnen worden.

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1 Algemene conclusies

De met LDAR waargenomen uitwendige lekkages bij de geteste kogelafsluiters zijn zowel met aardgas als met waterstof dusdanig klein dat deze niet zijn terug te leiden naar een meetbaar lekdebiet. Bij de plugafsluiters zijn de twee waargenomen uitwendige lekkages (gemeten met aardgas) wel terug te leiden naar een meetbaar lekdebiet. Echter is hiermee de onderzoeksvraag niet eenduidig beantwoord: er waren onvoldoende lekken gevonden om een goede relatie te leggen tussen aardgaslekkages en waterstoflekkages in afsluiters. Op basis van de geselecteerde en bemeten afsluiters is geen correlatie te vinden tussen merk en bouwjaar. Op basis van literatuuronderzoek en uitvraag bij fabrikanten worden geen obstakels in materiaalgebruik verwacht om de afsluiters te gebruiken voor waterstof.

6.2 Kogelafsluiters

Uitwendige lekdichtheid aardgas

Bij de uitwendige lekkage metingen met aardgas blijkt er bij drie van de twaalf geteste kogelafsluiters sprake te zijn van een verhoogde concentratie aardgas in de schutbuis. Na aanvullende Hi-flow sampler (HFS) metingen blijkt er geen sprake te zijn van een meetbaar lekdebiet. Bij de overige negen geteste kogelafsluiters is de concentratie aardgas in de schutbuis kleiner dan 500 ppm.

Uitwendige lekdichtheid waterstof

Bij de metingen van de uitwendige lekkages wordt er met waterstof in drie situaties een hogere concentratie waterstof gemeten in vergelijking met de concentratie aardgas. Bij deze verhoogde concentraties waterstof is er echter nog geen sprake van een meetbaar lek. Op basis van de verkregen resultaten valt geen eenduidige relatie te leggen tussen de verhouding van het lekdebiet aardgas en lekdebiet waterstof. Dat komt omdat de gemeten lekdebieten nagenoeg nul waren.

Inwendige lekdichtheid aardgas

Niet alle afsluiters zijn voldoende inwendig dicht. Drie van de twaalf overschrijden de grenswaarde van 60 m³/h. Omdat aangenomen kan worden dat inwendige lekkage van deze afsluiters met waterstof een factor 2,3 (zie bijlage III) tot maximaal 3 (zie bijlage II) groter is, raden we aan deze afsluiters niet toe te passen in een nieuw waterstofnetwerk. Voordat een reeds geïnstalleerde afsluiter gebruikt gaat worden in een waterstofnetwerk is het aan te raden de inwendige lekkage te bepalen. Dat dit met aardgas gebeurt is geen probleem indien er rekening wordt gehouden met de bovenstaande factor.

6.3 Plugafsluiters

Bij twee van de zeven geteste plugafsluiters is er sprake van een duidelijk meetbare concentratie aardgas. Hierbij is een lekdebiet gemeten van 135 en 30 liter per uur. Eén van de afsluiters was al door de Gasunie aangemerkt als uitwendig lek. Een uitwendige lekdichtheidsmeting met waterstof was niet mogelijk met plugafsluiters. Een inwendige lekdichtheidstest met aardgas is voor dit type afsluiters minder relevant omdat ze worden gebruikt als slijtafsluiters.

6.4 Aanbevelingen

Er zijn niet genoeg lekken gevonden bij de kogelafsluiters om een goede verhouding te krijgen tussen aardgaslekkages en waterstoflekkages. Wanneer het belangrijk is hier toch een goede factor voor te krijgen met waardes gemeten in de praktijk, is het aan te bevelen meer metingen uit te voeren. Hierbij moet de kanttekening worden geplaatst dat de aanname is dat door meer afsluiters te bemeten, er ook meer afsluiters met een lekkage worden gevonden. De set van afsluiters besproken

in dit rapport heeft echter niet aangetoond dat dit ook daadwerkelijk zo is. De resultaten van de metingen beschreven in bijlage III kunnen hierbij als start dienen.

De meetwaardes voor de LDAR methode fluctueerden tijdens de meting, vooral bij de metingen met waterstof. Om een betrouwbaardere waarde te krijgen is het aan te bevelen om de fluctuerende meetwaardes automatisch op te slaan en deze te analyseren. Dit geeft betrouwbaardere, achteraf verifieerbare, metingen waardoor er meer inzicht ontstaat in de fluctuaties van de meetwaarden. Wanneer deze metingen gecombineerd worden met debietmetingen zou dit ook meer inzicht geven in de grenswaardes die gehanteerd kunnen worden en een mogelijke aanpassing van het Gasunie meetprotocol. Hierbij is het aan te bevelen om een nieuwe Gasunie reparatienorm op te stellen voor waterstof.

Het uitvoeren van de metingen beschreven in dit rapport is een relatief lage investering in verhouding tot de aanschaf van een afsluiter. Het is daarom aan te bevelen om, wanneer er duidelijk is welke afsluiters mogelijk worden hergebruikt voor waterstof, voor elk van die afsluiters de in- en uitwendige lekdichtheid met aardgas te bepalen volgens de in het onderzoek gehanteerde meetmethode. Dit verschaft relatief eenvoudig bruikbare informatie over de staat van de afsluiter.

Bibliography

- [1] Kiwa Technology, „Kiwa - Rapport Inzicht in lekdichtheid TOF en in effecten afblazen H₂ - Gasunie - GT190076,” 2019.
- [2] Kiwa Technology, „HyDelta - Meetprotocol lekdichtheid HD afsluiters - versie 10,” 2021.
- [3] N. V. M. van der Laan, „De invloed van waterstof op de zachte materialen in RNB gasdrukregelinstallaties,” Kiwa Technology B.V., Apeldoorn, 2021.
- [4] API, „RP941 Steels for Hydrogen services at elevated temperatures”.
- [5] E. V.-K. R. d. L. (. -. Normenausschuss, „VDI 2440 Emission control - Mineral oil refineries” .<https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2440-emission-control-mineral-oil-refineries>.
- [6] P. D.-I. A. Riedl, „Emission measurements of industrial valves according to TA Luft and EN ISO 15848-1,” *Fugitive Emission Control*, 2007.
- [7] NEN_EN_ISO, „Compatibility of non-metallic materials with gases, table 1.,” *NEN-EN-ISO 11114-2*, 2013.

I. Details van de afsluiters

In de onderstaande tabel staan de afsluiters die voorafgaand aan de metingen waren geselecteerd en welke daadwerkelijk bemeten zijn voor dit onderzoek.

Nummer	Type	Producent	Bouwjaar	DN	Locatie	Functieplaats	Bemeten	Geselecteerd
1	Kogelafsluiter	Cameron	1974	900	Spijk	S-471-901-GV-85	Ja	Ja
2	Kogelafsluiter	Cameron	1990	900	Beltrum	S-254-GV-03	Ja	Ja
3	Kogelafsluiter	Cameron	1996	900	Anjum	S-721-GV-31	Ja	Ja
4	Kogelafsluiter	Cameron	2000	1200	Nieuw Balinge	S-221-GV-02	Ja	Ja
5	Kogelafsluiter	Grove	1963	900	Windeweer	S-008-GV-01	Ja	Ja
6	Kogelafsluiter	Grove	1965	1050	Montfort	S-054-901-GV-02	Ja	Ja
7	Kogelafsluiter	Grove	1993	1200	Nieuwstadt Zuid	S-687-901-GV-01	Ja	Ja
8	Kogelafsluiter	Grove	1993	1050	Noordbroek	S-263-GV-034	Ja	Ja
9	Kogelafsluiter	RMA	2006	900	Workum	S-344-GV-04	Ja	Ja
10	Kogelafsluiter	RMA	2008	1200	Nieuwediep	S-214-901-GV-04	Nee	Ja
11	Kogelafsluiter	RMA	2009	1050	Angerlo	S-032-901-GV-66	Ja	Ja
12	Kogelafsluiter	RMA	2011	1200	Workum	S-344-GV-36	Ja	Ja
13	Kogelafsluiter	Borsig	1991	1200	Nieuwediep	S-214-GV-03	Ja	Nee
14	Plugafsluiter	Christensen	1992	400	Beltrum	S-254-HV-23	Nee	Ja
15	Plugafsluiter	Christensen	1975	400	Windeweer	S-002-901-HV-31	Nee	Ja
16	Plugafsluiter	Christensen	2009	400	Nieuwediep	S-214-HV-26	Ja	Ja
17	Plugafsluiter	Christensen	2009	400	Workum	S-344-HV-28	Ja	Ja
18	Plugafsluiter	Audco	1971	400	Nieuw Balinge	S-221-HV-22	Ja	Nee
19	Plugafsluiter	Audco	1972	400	Beltrum	S-254-HV-24	Ja	Nee
20	Plugafsluiter	Christensen	1986	400	Windeweer	S-008-HV-26	Ja	Nee
21	Plugafsluiter	Audco	1986	400	Windeweer	S-008-EV-22 *	Ja	Nee

II. Modelering van gaslekken.

In de onderstaande beschouwing wordt verder ingegaan op de theoretische benadering van een lek-grootte.

In the event of the accidental release of gas into open space, the flow can be characterized as a high momentum gas jet which will mix with the air around the gas leak. In order to understand this phenomena, an assessment can be done by reviewing a one-dimensional gas flow through a nozzle (or orifice) where the gas expansion shall be considered to be frictionless (or thermodynamically reversible) as well as adiabatic.

The shape of the leak itself is likely to have an effect on the resulting gas dispersion in the circumference of the leak. For now, the overall cross sectional area will only be considered to simplify the approach.

The most important parameter in defining the source of a gas leak is its mass release rate. This mass release rate will be dependent on the pressure and temperature of the gas in the pressurized confined space which can be a pipeline, a valve housing or an isolated gas station releasing gas to the surroundings. Schematically, a generic sketch of a gas release in open space can be defined as follows;

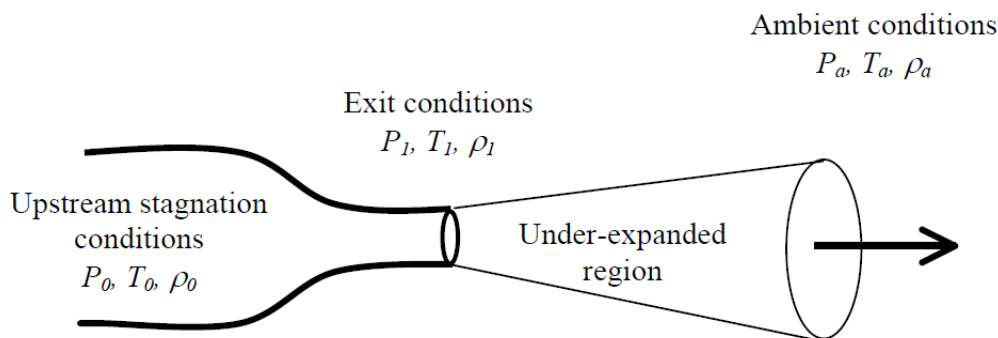


Figure II.1: Schematic overview of a gas release in open space

The method to calculate the characteristics of a gas release will be dependent on specific conditions during the release of gas. Depending on the pressure and temperature in the confined space (the stagnation conditions) and the nature of the gas, a gas release can be either subsonic or sonic.

Both the released and ambient gas conditions can be described using the ideal gas law where the density of the gas can be defined as;

$$\rho = \frac{PM_w}{RT}$$

Where P is the pressure (in Pa), R is the universal gas constant (in J/kg.K), Mw is the molecular weight (in kg/kmol) and T is the temperature (in K). The local speed of sound is a function of the gas' thermodynamic properties which can be written as;

$$a = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M_w}}$$

Where γ is the ratio of specific heat of the isentropic expansion factor, defined as;

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

The release of gas through a restricted opening (a gas leak) will be either sonic or subsonic depending on the stagnation pressure. The transition between these criteria is defined in the critical pressure ratio defined as;

$$\frac{P_*}{P_0} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Where P^* is the critical pressure (the critical pressure ratio is a property of the gas only). If the pressure ratio is less than the critical pressure ratio, the flow is considered to be choked, sonic or critical and the Mach number at the exit is unity ($M_1 = 1$). For natural gas ($M_w = 18.6 \text{ kg/kmol}$ and $\gamma = 1.315$), the critical pressure ratio is 0.543 which means that the release is sonic if the stagnation pressure is exceeding 0.85 barg.

Subsonic (lower pressure drops)

In case of the gas release being subsonic, the pressure ratio P_a/P_0 is more than the critical pressure ratio and the Mach number at the exit can be calculated from the following equations (meaning the Mach number will be less than 1);

$$\frac{P_0}{P_1} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \cdot M_1^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$\frac{T_0}{T_1} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} \cdot M_1^2$$

$$\frac{\rho_0}{\rho_1} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \cdot M_1^2 \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}$$

Subsequently, the mass velocity ($G = F_m/A$) where F_m is the mass flow rate and A is the nozzle exit area, at the nozzle exit is given by;

$$G = P_0 \sqrt{\frac{\gamma M_w}{RT_0}} \cdot \frac{M_1}{\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} \cdot M_1^2 \right)^{(\gamma + 1)/(2(\gamma - 1))}}$$

Sonic (higher pressure drops)

If the pressure ratio P_a/P_0 is less than the critical pressure ratio, the flow is considered to be choked, sonic or critical and the Mach number at the exit is unity ($M_1 = 1$). In this case, the pressure at the exit is far greater than the pressure of the surrounding in which the gas will discharge. This discharge is characterized by a series of depressurization shocks which are highly non-isentropic. Such a flow condition is denoted with an asterisk and thus M_1 is denoted as M_1^* . Since the Mach number is consistently considered as unity for sonic conditions, the following equations are simplified to;

$$\frac{P_*}{P_o} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$\frac{T_*}{T_o} = \frac{2}{\gamma + 1}$$

$$\frac{\rho_*}{\rho_o} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Subsequently, the mass velocity ($G^* = F_m/A$) where F_m is the mass flow rate and A is the nozzle exit area, at the nozzle exit is given by;

$$G^* = P_o \sqrt{\frac{\gamma M_w}{RT_o}} \cdot \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/(\gamma - 1)}$$

Under choked conditions, the exit velocity is a function of the local temperature T^* where the exit velocity is also scaled according as;

$$a^* = \sqrt{\frac{\gamma RT^*}{M_w}}$$

Where γ is again the ratio of specific heat of the isentropic expansion factor. During choked conditions during expansion, the gas will experience a significant pressure drop where internal energy will be converted to kinetic energy. Recovery of initial enthalpy will occur as the discharging gas jet will decelerate.

Calculations

Assumptions

Check GasUnie approach

Frictionless, adiabatic expansion

Speed of sound as function of dT

<https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Geluidssnelheid>

The shape of the leak is not taken into account

Rule of thumb; temperature drops with 0,5°C per bar actual pressure

Input

		NG (G-gas)	H2
Mw	kg/kmole	18,60	2,02
Density	kg/m3	0,833	0,09
Critical pressure ratio	[-]	0,543	0,527
Isentropic coefficient (k)	[-]	1,315	1,41
Leak Area	m2	1,00E-06	
Leak Area	mm2	1	
Leak Diameter	mm	1,1284	

SUBSONIC						
Case 1 (subsonic)				Case 2 (subsonic)		
		0,03 bar(g)			0,1 bar(g)	
Upstream Pressure (P0)	bar(g)	0,03		Upstream Pressure (P0)	bar(g)	0,1
Upstream temperature (T0)	°C	10		Upstream temperature (T0)	°C	10
Downstream Pressure (P2)	bar(g)	0		Downstream Pressure (P2)	bar(g)	0
Pressure Ratio (P0/P2)	[-]	1,03		Pressure Ratio (P0/P2)	[-]	1,10
Critical Pressure ratio (P2/P0)	[-]	0,971		Critical Pressure ratio (P2/P0)	[-]	0,910
Upstream density	kg/m3	0,824	0,089	Upstream density	kg/m3	0,880
Isentropic coefficient (k)	[-]	1,315	1,41	Isentropic coefficient (k)	[-]	1,315
Factor (k-1)/k	[-]	0,240	0,291	Factor (k-1)/k	[-]	0,240
Mach number		0,211	0,204	Mach number		0,380
Subsonic/ sonic		Subsonic	Subsonic	Subsonic/ sonic		Subsonic
Valid statement		VALID	VALID	Valid statement		VALID
Isentropic/ Mach factor		1,007	1,009	Isentropic/ Mach factor		1,023
Critical pressure (P1)	[bar(g)]	0,00	0,00	Critical pressure (P1)	[bar(g)]	0,00
Critical temperature (T1)	[C]	11,99	12,41	Critical temperature (T1)	[C]	16,46
Speed of sound (@ P1, T1)	[m/s]	409,390	1288,605	Speed of sound (@ P1, T1)	[m/s]	412,587
Gas velocity (@ P1, T1)	[m/s]	86,4	262,7	Gas velocity (@ P1, T1)	[m/s]	157,0
Mass flow	[kg/h]	0,249	0,082	Mass flow	[kg/h]	0,452
Volume flow	[m3/h(n)]	0,299	0,912	Volume flow	[m3/h(n)]	0,543
Ratio's between natural gas and hydrogen				Ratio's between natural gas and hydrogen		
Velocity ratio (@ P1, T1)	[-]	0,329		Velocity ratio (@ P1, T1)	[-]	0,328
Mass flow ratio	[-]	0,330		Mass flow ratio	[-]	0,330
Volume flow ratio	[-]	3,051		Volume flow ratio	[-]	3,058

SONIC						
Case 3 (sonic)				Case 4 (sonic)		
		39 bar(g)			66 bar(g)	
Upstream Pressure (P0)	bar(g)	39		Upstream Pressure (P0)	bar(g)	66
Upstream temperature (T0)	°C	10		Upstream temperature (T0)	°C	10
Downstream Pressure (P2)	bar(g)	0		Downstream Pressure (P2)	bar(g)	0
Pressure Ratio (P0/P2)	[-]	39,49		Pressure Ratio (P0/P2)	[-]	66,14
Critical Pressure ratio (P2/P0)	[-]	0,025		Critical Pressure ratio (P2/P0)	[-]	0,015
Upstream density	kg/m3	31,615	3,427	Upstream density	kg/m3	52,948
Isentropic coefficient (k)	[-]	1,315	1,41	Isentropic coefficient (k)	[-]	1,315
Factor (k-1)/k	[-]	0,240	0,291	Factor (k-1)/k	[-]	0,240
Mach number		1,000	1,000	Mach number		1,000
Subsonic/ sonic		Sonic	Sonic	Subsonic/ sonic		Sonic
Valid statement		VALID	VALID	Valid statement		VALID
Isentropic/ Mach factor		1,158	1,205	Isentropic/ Mach factor		1,158
Critical pressure (P1)	[bar(g)]	21,7	21,1	Critical pressure (P1)	[bar(g)]	36,4
Critical temperature (T1)	[C]	-28,53	-38,17	Critical temperature (T1)	[C]	-28,53
Speed of sound (@ P1, T1)	[m/s]	379,192	1168,918	Speed of sound (@ P1, T1)	[m/s]	379,192
Gas velocity (@ P1, T1)	[m/s]	379,2	1168,9	Gas velocity (@ P1, T1)	[m/s]	379,2
Mass flow	[kg/h]	27,127	9,150	Mass flow	[kg/h]	45,431
Volume flow	[m3/h(n)]	32,565	101,668	Volume flow	[m3/h(n)]	54,539
Ratio's between natural gas and hydrogen				Ratio's between natural gas and hydrogen		
Velocity ratio (@ P1, T1)	[-]	0,324		Velocity ratio (@ P1, T1)	[-]	0,324
Mass flow ratio	[-]	0,337		Mass flow ratio	[-]	0,337
Volume flow ratio	[-]	3,122		Volume flow ratio	[-]	3,122

III. Aanvullend onderzoek inwendige lekkage afsluiters

Nadat de metingen voor dit onderzoek afgerond waren, zijn aanvullend aan ref [1] in januari 2022 inwendige dichtheidsmetingen aan een DN100 kogelafsluiter uitgevoerd. Bij deze dichtheidsmetingen bij 16, 25, 40 en 67 bar is er sprake van een inwendige methaanlekage van 350 tot 1445 l/h en een inwendige waterstoflekage van 840 tot 3275 l/h. Bij 67 bar is de inwendige waterstoflekage 2,3 keer hoger dan de inwendige methaanlekage, bij 40 bar is dat een factor 2,2, bij 25 bar een factor 2,3 en bij 16 bar een factor 2,4. Gemiddeld is de inwendige waterstoflekage een factor 2,3 keer hoger dan de inwendige methaanlekage. Dit gemiddelde is gebaseerd op 10 metingen per testdruk per medium. Het rapport dat deze metingen beschrijft wordt naar verwachting halverwege februari 2022 opgeleverd.