

HyDelta

WP 1C Leidingen en binneninstallaties (componenten)

D1C.2 vraagnummer 124 – Dichtheid distributieleidingen

Status: definitief

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

Document samenvatting

Corresponderende auteur

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

Document historie

Versie	Datum	Auteurs	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzigingen
1	10-09-2021	A. Kooiman, S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Concept t.b.v. EAG
2	08-10-2021	A. Kooiman, S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Verwerking van opmerkingen EAG-group
3	26-10-2021	A. Kooiman, S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Definitieve versie, enkele aanpassingen op pagina 2.
4	12-01-2022	A. Kooiman, S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Revisie referentielijst en enkele taalkundige correcties.

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 	
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 beoordeling

Partner	Naam
Kiwa Technology	Peter Postma
Stedin	Dick Nieuwenhuizen
Rendo	Johan Jonkman
Alliander	Rob Nispeling
Enexis	Walter Koppenol
NEC, Kiwa, DNV, TNO, NBNL, Stedin, Alliander	HyDelta Supervisory Group

Samenvatting

In het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta is een onderzoek uitgevoerd naar dichtheidscriteria van aansluitleidingen indien deze worden bedreven met waterstof.

Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is onderdeel van het werkpakket 1C “Leidingen en binneninstallaties” en betreft de onderzoeksvraag 124. Deze is als volgt¹:

- Gelden de eisen voor de lektheid van een aardgasnet ook voor een net dat wordt bedreven met waterstof?
- Indien dat niet het geval is, wat zouden de criteria dan moeten zijn?

De focus in dit onderzoek ligt op aansluitleidingen. De te simuleren kleine lekken (5 l/h op basis van lucht) in hoofdleidingen zijn dusdanig klein (vergeleken met een aansluitleiding is het tracé van de hoofdleiding uitgestrekter) dat deze bij toepassing van waterstof niet tot problemen zullen leiden. Een dergelijke kleine lekkage komt niet in gebouwen terecht, maar zal vervliegen in de buitenlucht.

Voor de beantwoording van de bovengenoemde vraag zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Bij een viertal gecreëerde lekken mogelijk optredend in aansluitleidingen van circa 1 l/h stikstof zijn bij drukken van 30, 100 en 200 mbar de lekdebieten gemeten met de media stikstof, aardgas en waterstof. Uit de resultaten zijn de verhoudingen van de lekdebieten bepaald.
- Er is een theoretische beschouwing opgesteld voor de risicobepaling van kleine waterstoflekken aan de hand van de maximaal toelaatbare lekken in NEN 7244-7 en de bevindingen uit de rapportage van DNV GL over gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet.
- De meetresultaten zijn nader beschouwd en geanalyseerd en vervolgens gecombineerd met de theoretische risicobepaling.

De conclusies uit dit onderzoek zijn als volgt:

Voor nieuwe aansluitleidingen kunnen voor waterstof dezelfde dichtheidseisen als bij aardgas worden gehanteerd. Er is geen reden om de criteria strenger te maken.

Voor bestaande aansluitleidingen moeten de dichtheidseisen strenger worden gesteld. De maximaal toegestane lekhoeveelheid voor bestaande aansluitleidingen bij waterstof is 74% van die van aardgas. Dit is bepaald op basis van het volgende:

- De meetwaarden geven een factor 1,83 grotere lekkage bij waterstof
- De aanname dat de risico's van ontsteken van een gas-luchtconcentratie < 8 vol% voor waterstof lager is dan voor aardgas met een concentratie van 5,9 vol%

Deze dichtheidseisen kunnen worden verwerkt door uitbreiding van NEN 7244-7, tabel 4 voor waterstof, die er dan als volgt uit komt te zien:

¹ De oorspronkelijke vraag zoals omschreven in de werkpakketomschrijving is: Onderzoek naar de uitvoering van de sterkte- en dichtheidsbeproevingen. In overleg met de begeleidingsgroep en sparringsgroep is de onderzoeksvraag geherformuleerd.

Maximale leksgrootte bij een testdruk gelijk aan MOP		
Type leiding	Aardgas Max. leksgrootte [dm ³ /h]	Waterstof Max leksgrootte[dm ³ /h]
Hoofdleiding	5,0	5,0
Aansluitleiding nieuw*	0,2	0,2
Aansluitleiding bestaand	1,0	0,7
Meteropstelling*	0,1	0,1
*Een nieuwe leiding mag niet onnodig lekken door montage- of materiaalfouten. De maximale leksgrootte van 0,2 l/h wordt praktisch haalbaar en daarom wenselijk geacht voor nieuwe aansluitleidingen. (Praktisch haalbaar op basis van kleine toegestane lekkages van nieuwe componenten en variërende meetcondities). Deze eisen zijn voor waterstof en aardgas gelijk. Dit geldt ook voor de meteropstelling.		

De uitvoering van de dichtheidsbeproevingen voor een waterstofnet kan worden uitgevoerd door uitbreiding (*cursief*) van de volgende zinsnede in VWI G-12:

Een bestaande aansluitleiding wordt als lekdicht beschouwd als tijdens een overdrukmeting (bij een constante temperatuur) de beproevingsdruk ≤ 5 mbar daalt (*voor waterstofleidingen: ≤ 4 mbar*)

Table of contents

Document samenvatting	2
Samenvatting.....	3
1. Aanleiding.....	6
1.1 Algemeen.....	6
1.2 Probleemstelling.....	6
1.3 Onderzoeksvraag 124.....	6
2. Doel	7
3. Methode.....	8
3.1 Werkwijze algemeen	8
3.2 Scope van het onderzoek	8
3.3 Testprogramma metingen.....	9
4. Resultaten theoretische beschouwing lekcriteria	10
4.1 Debietratio's	10
4.2 Uitgangspunten voor risicobepaling	10
4.3 Risiconiveau bij aardgaslek volgens huidige regelgeving.....	10
4.4 Bepaling criterium voor dichtheidsbeproeving.....	11
4.5 Stromingseigenschappen bij gaslekkages	12
5. Resultaten metingen	15
6. Beschouwing resultaten	18
6.1 Bepaling factor voor criterium lekdichtheidsbeproeving.....	18
6.2 Voorstel voor aanpassing dichtheidseis voor waterstof	20
7. Conclusies, beantwoording onderzoeksvraag en advies.....	22
7.1 Conclusies en beantwoording onderzoeksvraag.....	22
7.2 Advies	23
Referenties	24
I Overzicht van vragen HyDelta WP1C	25
II Overzicht samenstelling Expert Assessment Group (EAG) deelvraag 124	26
III Overzicht van criteria lekdichtheid.....	27
IV Detailtekeningen van de testopstellingen	28
V Methode voor het aanbrengen van lekken.....	30
VI Meetgegevens lekdichtheidsmetingen	34
VII Gebruikte meetapparatuur	48

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.hydelt.nl

1.2 Probleemstelling

Bij het uitvoeren van dichtheidsbeproevingen aan nieuwe netten wordt meestal gebruik gemaakt van het medium lucht. De werkwijze daarvoor staat beschreven in NEN 7244-7. Ook wordt in deze norm een maximaal toelaatbare lekkage beschreven voor nieuwe en bestaande netten, die in praktijk afdoende is gebleken voor aardgas. De vraag is echter of de bij de lekdichtheidstest gebruikte criteria ook geldig zijn voor een net dat met waterstof wordt bedreven.

1.3 Onderzoeksvraag 124

Deze rapportage geeft antwoord op de onderzoeksvraag 124 uit het werkpakket 1C Leidingen en binneninstallaties².

De onderzoeksvragen zijn als volgt³:

- Gelden de eisen voor de lekdichtheid van een aardgasnet ook voor een net dat wordt bedreven met waterstof?
- Indien dat niet het geval is, wat zouden de criteria dan moeten zijn?

² De overige vragen uit dit werkpakket zijn opgenomen in Bijlage I.

³ De oorspronkelijke vraag zoals omschreven in de werkpakketomschrijving is: Onderzoek naar de uitvoering van de sterkte- en dichtheidsbeproevingen. In overleg met de begeleidingsgroep en sparringsgroep is de onderzoeksvraag geherformuleerd. Een sterkte-beproeving wordt uitgevoerd bij het in gebruiknemen van nieuwe netten. Dit wordt volgens NEN 7244-7 gedaan met lucht, inert gas of water. Deze beproeving is ook identiek toepasbaar bij het in gebruik nemen van een nieuw aangelegd leidingnet dat voor waterstof gebruik gaat worden. Dit onderzoek richt zich daarom alleen op de dichtheidsbeproevingen.

2. Doel

Doel van dit onderzoek is vaststellen of de eisen voor lekdichtheid zoals van toepassing in een aardgasnet ook gelden voor een net dat bedreven wordt met waterstof. Indien dit niet het geval is, vaststellen wat dan de criteria zouden moeten zijn.

3. Methode

3.1 Werkwijze algemeen

De uitvoering van dit onderzoek is afgestemd met een Expert- and Assessment Group, deze bestaat uit deelnemers vanuit de netbeheerders (zie bijlage II).

Het is een gegeven dat een bepaalde lekopening met het medium waterstof tot een groter lekdebiet zal leiden in vergelijking met het medium aardgas. In dit onderzoek werd vastgesteld hoeveel groter dit lekdebiet zal zijn voor kleine lekkages in aansluitleidingen. De resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

Daarnaast is het van belang om te weten welke lekdebiet waterstof acceptabel is. Deze hoofdzakelijk theoretische beschouwing is opgenomen in hoofdstuk 4.

In hoofdstuk 6 worden de uitkomsten van de metingen en de uitkomst van de theoretische beschouwing gecombineerd tot een vermenigvuldigingsfactor die leidt tot lekdichtheidscriteria voor waterstof.

Oorspronkelijk was de gedachte om in het kader van deze deelvraag enkel lekdichtheidsmetingen uit te voeren om zodoende een correctiefactor te bepalen voor het vaststellen van lekdichtheidscriteria bij toepassing van waterstof.

Hieronder volgen nog enkele belangrijke uitgangspunten bij de uitvoering van de metingen.

3.2 Scope van het onderzoek

De reikwijdte van het onderzoek is als volgt:

- De focus ligt op aansluitleidingen. De te simuleren kleine lekken (5 l/h op basis van lucht) in hoofdleidingen zijn dusdanig klein (vergeleken met een aansluitleiding is het tracé van de hoofdleiding uitgestrekter) dat deze bij toepassing van waterstof niet tot problemen zullen leiden. Een dergelijke kleine lekkage komt niet in gebouwen terecht, maar zal vervliegen in de buitenlucht. Uitgaande van een worst case met een turbulent lek komt een lekgrootte van 5 l/h stikstof of lucht overeen met een aardgaslek van ongeveer 6,2 l/h en een waterstoflek van maximaal 18,5 l/h. (Voor een laminair lek geldt bij een lekgrootte van 5 l/h lucht een aardgasdebiet van 7,7 l/h en een waterstofdebiet van 10 l/h).
- Lekken bij koppelingen in aansluitleidingen
Er worden vier gangbare koppelingen in aansluitleidingen beproefd waarin een lek wordt aangebracht om zodoende uitstroming van gas via de betreffende koppeling te simuleren.
- Lekgrootte ± 1 l/h
Metingen enkel in het kader van bestaande aansluitleidingen en gebaseerd op een lekgrootte van ongeveer 1 liter per uur lucht (in de metingen is stikstof gebruikt, dat nagenoeg dezelfde stromingseigenschappen heeft als lucht, de norm NEN 7244-7 schrijft lucht of inert gas voor).
- Toegepaste drukken
Waterstofnetten zullen hoofdzakelijk op 100 mbar worden bedreven, maar omdat 30 mbar en 200 mbar ook voor kunnen komen zijn deze drukken toch meegenomen in het onderzoek.

3.3 Testprogramma metingen

De testen zijn uitgevoerd met een viertal verschillende koppelingen die veel zijn toegepast in aansluitleidingen. Ten behoeve van de testen zijn lekkages aangebracht in de volgende elementen:

- 1) overgangskoppeling PE-staal;
- 2) klem-schroef-koppeling bij de overgang van aftakzadel naar aansluitleiding;
- 3) afdichtingsring tussen aftakzadel en hoofdleiding;
- 4) koppeling inlaatkraan van een gasmeter.

Per type koppeling zijn twee verschillende lekgroottes aangebracht (zie bijlage V voor een beschrijving hoe de lekken zijn aangebracht). Een lek van ongeveer 1 liter per uur stikstof bij 30 mbar en een lek van ongeveer 1 liter per uur stikstof bij 100 mbar. Het ingestelde lek van 1 l/h stikstof bij 30 mbar is bij drie van de vier typen koppelingen (koppelingnummer 2, 3 en 4) ook beproefd bij een druk van 100 mbar. Het ingestelde lek van 1 l/h lucht bij 100 mbar is ook beproefd bij drukken van 30 en 200 mbar. Ieder lek is beproefd met stikstof⁴, aardgas en waterstof.

De lekkages zijn ingebouwd in een opstelling met een inhoud van ruim 8 liter. Zie Bijlage IV *Detailtekeningen* van de testopstellingen, voor een weergave van de testopstellingen.

De lekhoeveelheid werd vastgesteld op basis van de drukdaling in een tijdsbestek van ongeveer 1 minuut. In dit korte tijdsbestek is de invloed van temperatuur en omgevingsdruk beperkt. Tussen het wisselen van medium is een stabilisatie-periode van 10 minuten gehanteerd. Iedere meting is minimaal in drievoud uitgevoerd. De lekdebieten zijn berekend op basis van absolute drukken.

⁴ Op basis van de fysische eigenschappen van stikstof en lucht mag worden verondersteld dat de lekkage met stikstof even groot is als met lucht, zie ook §4.5.

4. Resultaten theoretische beschouwing lekcriteria

4.1 Debietratio's

De lekgrootte (het debiet φ) van een gegeven lek wordt behalve door de vorm en afmetingen van dat lek, ook bepaald door het (gasvormige) medium dat er doorheen stroomt en door de druk. Deze factoren zullen leiden tot een bepaald kenmerk van de stroming (laminair, turbulent of overgangsströmung) en uiteindelijk resulteren in een bepaald lekdebiet. Van toepassing zijn de media lucht of stikstof, die worden gebruikt bij de dichtheidsbeproeving, en het te distribueren gas: aardgas of waterstof. Voor de vergelijking tussen debieten van deze verschillende media door hetzelfde lek kunnen we verschillende verhoudingen (debietratio's) definiëren, waarbij geen verschil is gemaakt tussen stikstof en lucht. Dit geeft de volgende debietratio's:

$$\varphi_{\text{aardgas}} / \varphi_{\text{stikstof}}$$

$$\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}}$$

$$\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{stikstof}}$$

Als voorbeeld varieert de ratio waterstof-aardgas tussen de 1,3 en 3, afhankelijk van het stromingskarakter (laminair, overgangsgebied of turbulent).

4.2 Uitgangspunten voor risicobepaling

Voor de bepaling van de lekdichtheidseisen die zouden moeten gelden voor waterstofleidingen is gekozen voor de volgende uitgangspunten:

- Risico's van een toelaatbaar waterstoflek mogen maximaal gelijk zijn aan de risico's van een toelaatbaar aardgaslek
- Risico's lek bij aansluitleidingen zijn groot, omdat deze kunnen leiden tot uitstroming in een woning of ander gebouw, met het risico van explosie
- Het risiconiveau van aardgas is gebaseerd op een maximaal toegestaan lek volgens NEN 7244-7
- Wanneer ten gevolge van een gaslek de homogene concentratie van een gas-luchtmengsel in een ruimte $< 10\%$ LEL blijft, dan mag ervan worden uitgegaan dat nergens in die ruimte een ontsteekbaar gas-luchtmengsel (100% LEL) zal ontstaan
- De bedrijfsdrukken zijn 30, 100 en 200 mbar
- Voor de bepaling van de dichtheidseis gelden de volgende aspecten:
 - Risico van ontsteking van waterstof versus aardgas bij zelfde lek
 - Debiet waterstof versus debiet aardgas bij zelfde lek

4.3 Risiconiveau bij aardgaslek volgens huidige regelgeving

In NEN 7244-7:2019[1] is de maximale lekgrootte voor de verschillende componenten van een gasdistributieleiding vastgelegd. Voor aansluitleidingen wordt een onderscheid gemaakt tussen nieuwe (max. $0,2 \text{ dm}^3/\text{h}$) en bestaande aansluitleidingen (max. $1 \text{ dm}^3/\text{h}$) bij beproeving met lucht. De drukbeproeving wordt uitgevoerd volgens VWI G-12 [2]. De eis voor nieuwe aansluitleidingen is strenger dan de eis voor bestaande leidingen. Een nieuwe leiding mag niet onnodig lekken door montage- of materiaalfouten. Voor een bestaande leiding wordt een geringe maar niet gevaarlijke lekkage toegestaan die door veroudering kan zijn ontstaan. De lekgrootte van $0,2 \text{ l/h}$ die wordt toegestaan is een acceptabele grens voor nieuwe aansluitleidingen, omdat deze is afgeleid uit een toegelaten drukdaling van 1 mbar bij variërende meetcondities. Deze eis is voor waterstof niet

anders dan voor aardgas. Voor een eventuele aanpassing van de eisen bij toepassing van waterstof is daarom alleen de eis voor bestaande aansluitleidingen van belang⁵.

De eisen in [1] zijn mede gebaseerd op een advies van de Expertgroep Interpretatie Kleine Gaslekken. In [3] staan de berekeningen die de grondslag vormen voor dit advies.

Naast de grootte van het debiet van het uitstromende gas van een lek, is ook de vergelijking tussen de risico's van aardgas en waterstof van belang. Daarbij spelen zowel de kans op ontsteking als de gevolgen (brand of explosie) een rol. In [4] wordt daarover geconcludeerd (*citaat*):

Ontsteking

“Mengsels van lucht en waterstof met lage concentraties, tot ongeveer 8 – 10 vol% hebben een lagere kans op ontsteken dan aardgas”

Gevolgen: Brand of explosie

“In een open ruimte en bij lage concentraties <10 vol% waterstof in lucht) zal een brand optreden. In de gevonden experimenten worden geen overdrukken geconstateerd bij concentraties onder de 10% waterstof. Bij gesloten ruimtes of bij hogere concentraties kunnen explosies optreden.”

Risicovergelijking

“Indien er een lek in een woning is of waterstof via migratie door de bodem in de woning komt, dan is het risico afhankelijk van de concentratie die kan worden opgebouwd: Indien de concentratie van waterstof onder 10 vol% blijft dan is dit een lagere kans op schade omdat de kans op ontsteking lager is dan bij aardgas en omdat er bij ontsteking waarschijnlijk geen explosie zal plaatsvinden”.

Op basis van bovenstaande bevindingen wordt ervan uit gegaan dat bij concentraties < 8% (conservatieve keuze in de hierboven genoemde 8 – 10%) de risico's op ontsteken bij waterstof kleiner zijn dan bij aardgas bij 5,9%⁶ en dat de gevolgen van ontsteking van een waterstof-luchtmengsel minder ernstig zijn dan ontsteking van een aardgas-luchtmengsel.

Grenssituatie voor de vergelijking

Ook al gaan we ervan uit dat er maximaal een homogene gasconcentratie van 10% LEL aardgas mag ontstaan door een lek, is 100% LEL aardgas in enig punt van een ruimte de te vermijden risicosituatie. Deze toestand wordt als grenssituatie beschouwd voor de vergelijking van waterstof met aardgas. Verder wordt voor de LEL-waarden uitgegaan van:

- LEL-waarde Gronings aardgas = 5,9 vol% (zie ref [5] in droog aardgas/luchtmengsel
- LEL-waarde waterstof = 4,0 vol% (zie ref [6] en [7] in droog waterstof/luchtmengsel

4.4 Bepaling criterium voor dichtheidsbeproeving

Om tot een lekdichtheids criterium voor waterstof te komen, wordt een factor $X_{crit. dichth.bepr.}$ bepaald, waarmee een bestaand lekdichtheids criterium voor aardgas kan worden omgerekend naar een criterium voor waterstof. De basis voor de berekening van deze factor is een lek waarmee voor aardgas de LEL-waarde wordt bereikt (5,9%). Voor het bepalen van de omrekenfactor naar waterstof moet rekening worden gehouden met de debietratio's, omdat dichtheidsbeproevingen met lucht worden gedaan, zoals uitgelegd in paragraaf 4.1. Daarnaast wordt rekening gehouden met de risicovergelijking zoals toegelicht in paragraaf 4.3.

⁵ Zie voor een overzicht van eisen in de verschillende voorschriften de bijlage III lekdichtheid.

⁶ Referentie [4] gaat uit van de LEL-waarde voor methaan, 5,3 vol%.

Op basis van de debietratio's kan worden herleid dat indien bij hetzelfde lek onder dezelfde condities waterstof uitstroomt, een concentratie waterstof wordt bereikt ter grootte van:

$$[\text{waterstof}] = [\text{aardgas}] \times \varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}} [\text{vol}\%]$$

waarbij de debietratio $\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}}$ voortvloeit uit de meetresultaten die hierna in het rapport worden gepresenteerd.

Op basis van §4.3 kan worden aangenomen dat 8 vol% waterstof een vergelijkbaar risiconiveau heeft als 5,9 vol% aardgas. Dit betekent dat het toegestane waterstoflekdebiet 8%/5,9%, ofwel een factor 1,36 groter mag zijn dan het toegestane aardgaslekdebiet.

Voor de bepaling van factor $X_{\text{crit. dichth.bepr.}}$, worden zowel de debietratio's als de factor op basis van de risicovergelijking in rekening gebracht. Deze factor wordt als volgt berekend:

$$X_{\text{crit. dichth.bepr.}} = \frac{1,36}{[\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}}]}$$

Waarbij $[\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}}]$ voortvloeit uit de meetresultaten, zie volgende hoofdstuk.

Met behulp van deze factor kan dan, geënt op tabel 4 uit NEN 7244-7, een voorstel voor een dichtheids criterium voor waterstof worden geformuleerd en daarop aansluitend een voorstel voor aanpassing op waterstof van VWI G-12.

4.5 Stromingseigenschappen bij gaslekkages

Bij dichtheidsbeproeving zal hoogstens een klein lek acceptabel zijn. In de verschillende bronnen komen de volgende gegevens en aannames naar voren:

- In [8] wordt aangenomen dat kleine waterstoflekken een laminair karakter hebben met een debietratio van $\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}}$ van 1,25
- In [4] wordt gesteld:
 - Laminaire stroming: waterstoflek is een factor 1,3x zoveel als aardgas.
 - Turbulente stroming: waterstoflek is een factor 2,9 x zo veel als aardgas.
- In [9]: Bij de beproeving met lucht in binnenleidingen moet bij dezelfde toegelaten drukdaling, de beproevings tijd die voor aardgas geldt, met een factor 1,56 worden verlengd. Deze factor is gebaseerd op de verschillen in dynamische viscositeit (μ), en gaat dus uit van laminaire lekken.
- In [10] wordt gesteld dat bij kleine lekken in binneninstallaties, zoals van ondichte draadfittingen e.d., laminaire lekken optreden waarvoor een debietratio $\varphi_{\text{waterstof}} / \varphi_{\text{aardgas}}$ van 1,2 geldt (20% meer H_2 t.o.v. CH_4). Bij boorgaatjes wordt uitgegaan van een turbulente stroming met een debietratio van 2,8. Bij boorgaatjes is het lekdebiet echter zodanig groot dat de te beproeven aansluitleiding niet goed op druk kan komen en dus sowieso niet geaccepteerd worden.

Debietratio's bij laminaire en turbulente stroming

Voor het debiet bij laminaire stroming is de dynamische viscositeit bepalend. Bij turbulente stroming is de dichtheid bepalend. Tabel 1 bevat de verschillende fysische gegevens die als uitgangspunt zijn genomen⁷.

⁷ Zie voor overzicht viscositeitsgegevens ook [11]. Tevens de dichtheid volgens Tabel A11 uit [5]. Voor de kinematische viscositeit is de ρ gecorrigeerd naar 20°C.

Tabel 1 Fysische gegevens gassen

Gas	Absolute viscositeit (μ) [10 ⁻⁵ Pa.s]		Kinematische viscositeit (v) bij 20°C	ρ bij 0°C en 1013 mbar
	Temperatuur [°C]			
	0	20	[m²/s x 10 ⁻⁵]	kg/m³
Lucht (droog)	1,73	1,82	1,506	1,2931
Stikstof	1,66	1,76	1,527	1,2504
Methaan	1,03	1,1	1,654	0,7175
Waterstof	0,84	0,88	10,64	0,0898
Gron. gas		1,142 ⁸	1,47	0,833

Het verschil tussen de viscositeit van lucht en stikstof is klein, en daarom mag verwacht worden dat bij kleine lekken de uitstroom gelijk zal zijn.

Voor laminaire stroming gelden dan de volgende debietratio's, ervan uitgaande dat het debiet omgekeerd evenredig is met de viscositeit (uitgaande van viscositeit bij 20 °C en aardgas = Gronings gas), daarmee geldt:

$$\begin{aligned}\phi_{\text{aardgas}} / \phi_{\text{N}_2} &= \nu_{\text{N}_2} / \nu_{\text{aardgas}} = 1,76 / 1,142 = 1,54 \\ \phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{aardgas}} &= \nu_{\text{aardgas}} / \nu_{\text{H}_2} = 1,142 / 0,88 = 1,3 \\ \phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{N}_2} &= \nu_{\text{N}_2} / \nu_{\text{H}_2} = 1,76 / 0,88 = 2,0\end{aligned}$$

Voor een turbulente stroming geldt de volgende evenredigheid:

$$\Delta p \sim \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

met:

Δp = optredende drukverschil

ρ = dichtheid van het gas

v = snelheid van het gas

Op basis hiervan geldt: $v_2/v_1 = \sqrt{\rho_1/\rho_2}$

Zie voor waarden voor ρ de tabel onder Ad 1). Uit deze gegevens en bovenstaande formule volgt:

$$\begin{aligned}\phi_{\text{aardgas}} / \phi_{\text{N}_2} &= \sqrt{(\rho_{\text{N}_2} / \rho_{\text{aardgas}})} = \sqrt{(1,2504 / 0,833)} = 1,23 \\ \phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{aardgas}} &= \sqrt{(\rho_{\text{aardgas}} / \rho_{\text{H}_2})} = \sqrt{(0,833 / 0,0898)} = 3,0 \\ \phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{N}_2} &= \sqrt{(\rho_{\text{N}_2} / \rho_{\text{H}_2})} = \sqrt{(1,2504 / 0,0898)} = 3,7\end{aligned}$$

Verder zij opgemerkt dat bij een gegeven lek bij waterstof minder snel sprake zal zijn van een turbulente stroming dan bij aardgas, omdat het getal van Reynolds voor een gegeven lek bij waterstof lager zal zijn dan voor aardgas. De snelheid bij waterstof wordt wel hoger dan bij aardgas (afhankelijk van of de stroming laminair dan wel turbulent is, een factor 1,25 – 3) maar ook de kinematische viscositeit van waterstof is hoger dan van aardgas (factor 6,4). Re voor waterstof is daarmee voor een gegeven lek 0,2 – 0,5 van Re voor aardgas⁹.

⁸ Bij 15°C, Zie blz 80 [5]

⁹ In [10] wordt gesteld dat Re voor waterstof een factor 6,4 kleiner is dan voor aardgas. Maar dat geldt alleen wanneer dezelfde snelheid heerst.

$$Re = \frac{v \cdot L \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

met

v = snelheid

L = karakteristieke lengte (bij leidingen de buisdiameter)

ρ = dichtheid

μ = dynamische viscositeit

ν = kinematische viscositeit ($= \mu/\rho$)

NB. Het verschil in kinematische viscositeit tussen lucht, stikstof en aardgas is niet zo groot waardoor de kans groot is dat bij een gegeven lek de aard van de stroming (laminair of turbulent) voor al deze gassen gelijk is. Dat geldt niet voor waterstof. Bij een gegeven lek kan met waterstof een laminaire stroming of een overgangsströmung heersen, waar de stroming in datzelfde lek turbulent is bij toepassing van aardgas, stikstof en lucht.

5. Resultaten metingen

In dit hoofdstuk zijn de meetresultaten opgenomen van de uitgevoerde metingen. Dit betreft de gemiddelde lekkages zoals vastgesteld per type lek, druk en medium. De volledige meetresultaten zijn opgenomen in bijlage VI Meetgegevens lekdichtheidsmetingen

Er zijn twee soorten lekken ingesteld, aangeduid met A en B. De A lekken zijn de kleinste lekken. Het lekdebiet met stikstof is 1 l/h bij een druk van 100 mbar. De B lekken zijn iets groter want de lek grootte van 1 l/h stikstof is ingesteld bij een voordruk van 30 mbar. Verder zijn de lekken gemaakt met verschillende typen koppelingen, aangeduid met de nummers 1 tot en met 4.

Tabel 2 geeft een beschrijving van de gecreëerde lekkages. Verdere uitleg en foto's van de constructies staan in bijlage V. Tabel 3 bevat een overzicht van de gemiddelde waarden van de lekdebieten, met in dezelfde tabel de verhoudingen tussen de lekdebieten bij de verschillende gassen. Tabel 4, 5 en 6 zijn nadere opsplitsingen van de gegevens uit tabel 3.

Tabel 2 Beschrijving soorten lekkages

Leknr.	Instelling lek	Positie lek	Gemeten drukken (mbar)	Wijze van creëren lek
1A	± 1 l/h met stikstof 100mbar	koppeling PE-staal	30-100-200	lasdraad tussen afdichtingsring en PE-leiding
1B	± 1 l/h met stikstof 30mbar	koppeling PE-staal	30	lasdraad tussen afdichtingsring en PE-leiding - koppeling losser
2A	± 1 l/h met stikstof 100mbar	klemkoppeling aftakzadel	30-100-200	draad tussen pvc en PE en krassen op PE
2B	± 1 l/h met stikstof 30mbar	klemkoppeling aftakzadel	30-100	draad tussen pvc en PE en krassen op PE en 2 diepe gutsen
3A	± 1 l/h met stikstof 100mbar	afdichtingsring aftakzadel HL	30-100-200	enkel draadje
3B	± 1 l/h met stikstof 30mbar	afdichtingsring aftakzadel HL	30-100	bundeling draadjes
4A	± 1 l/h met stikstof 100mbar	koppeling inlaatkraan op gasmeter	30-100-200	draad tussen schroefdraad en koppeling
4B	± 1 l/h met stikstof 30mbar	koppeling inlaatkraan op gasmeter	30-100	draad om afdichtingsring

Opmerking: er zijn dus acht verschillende lekkages gemeten, waarbij gevarieerd is met druk en medium.

In de resultaten (zie tabel 3) is te zien dat de debietratio's niet heel duidelijk variëren per soort koppeling. Verder zijn de verschillen tussen de ratio's gemeten bij 100 en 200 mbar niet groot. Als voorbeeld: de waterstof/aardgas ratio bij lek 1A is bij 100 mbar 1,56 en bij 200 mbar 1,75.

Tabel 3 Gemiddelde lekdebieten bij stikstof, waterstof en aardgas en de verhoudingen daartussen

lek nr.	druk [mbar]	gem. ϕ_{N2} [l/h]	gem. $\phi_{aardgas}$ [l/h]	gem. ϕ_{H2} [l/h]	$\phi_{aardgas}/$ ϕ_{N2}	$\phi_{H2}/$ $\phi_{aardgas}$	ϕ_{H2}/ ϕ_{N2}
1A	30	0,29	0,44	0,46	1,51	1,05	1,59
	100	0,92	1,00	1,56	1,09	1,56	1,70
	200	1,39	1,59	2,78	1,14	1,75	2,00
1B	30	0,95	1,23	1,70	1,29	1,38	1,79
2A	30	0,25	0,53	0,53	2,12	1,00	2,12
	100	0,52	0,56	1,37	1,07	2,45	2,63
	200	0,92	1,26	2,36	1,37	1,87	2,56
2B	30	1,52	2,61	3,38	1,71	1,30	2,22
	100	3,93	5,89	10,01	1,50	1,70	2,55
3A	30	0,27	0,12	0,41	0,44	3,42	1,52
	100	0,54	0,70	1,43	1,30	2,04	2,65
	200	1,10	1,21	2,35	1,10	1,94	2,14
3B	30	1,04	1,61	2,40	1,55	1,49	2,31
	100	3,05	4,31	7,08	1,41	1,64	2,32
4A	30	0,37	0,37	0,52	1,00	1,41	1,41
	100	1,07	1,38	2,30	1,29	1,67	2,15
	200	1,81	2,28	3,92	1,26	1,72	2,17
4B	30	0,88	1,26	2,01	1,43	1,60	2,28
	100	2,12	3,03	5,52	1,43	1,82	2,60

Toelichting bij tabel 3.

Bij de A-lekken is het lek van ongeveer 1 liter per uur ingesteld met stikstof en bij 100 mbar. Bij dit lek zijn er naast de metingen met 100 en 200 mbar ook metingen met 30 mbar uitgevoerd. De drukdaling bij 30 mbar is, logischerwijs, een stuk lager in vergelijking met de drukdalingen bij 100 mbar. De nauwkeurigheid van deze 30 mbar-metingen neemt daardoor af. In bovenstaande tabel zijn om deze reden de 30 mbar-metingen bij de A-lekken donkergrijs gearceerd. Bij het bepalen en benoemen van verhoudingen tussen lekdebieten zijn de 30-mbar metingen bij de A-lekken buiten beschouwing gebleven. De verhoudingen tussen waterstof en aardgas bij de 100 mbar lekken 2A en 3A zijn aan de hoge kant (2,45 en 2,04) in vergelijking met de overige verhoudingen. Mogelijk wordt dit ook veroorzaakt door een afnemende nauwkeurigheid vanwege de kleine drukdalingen c.q. lage debieten (0,52 en 0,54 l/h). Omdat bij de 2B en 3B 100 mbar instellingen, lekkages zijn gemeten van 3,93 en 3,05 l/h is besloten om de kleine lekkages van 2A en 3A wel in de verdere bepalingen mee te nemen. Uiteindelijk wordt één factor bepaald geldig voor de verschillend drukk niveau's (30, 100 en

200 mbar), de verschillende type lekken (hier vier gemeten) en verschillende lekgroottes (hier 0,5 tot 4 l/h op basis van stikstof). Om deze reden worden de 100 mbar lekken 2A en 3A wel meegenomen bij de verdere bepalingen.

Bij het lek nr 1 was bij de vier opgenomen metingen het lekdebiet van 1 l/h bereikt (instelling N₂) bij 30, 100 en 200 mbar. Bij de andere A-lekken (met name 2 en 3) was het debiet bij 100 mbar wat aan de lage kant. Om die reden zijn bij de andere B-lekken ook 100 mbar metingen uitgevoerd. NB het instellen van een variatie van praktijklekkages van ongeveer 1l/h is lastig (lekopening iets verkleinen en het is dicht).

In onderstaande tabel zijn de verhoudingen tussen de lekdebieten van waterstof en aardgas uitgelicht. Tevens is een gemiddelde verhouding opgenomen op basis van de 3 of 4 gemeten lekkages. Bij 100 en 200 mbar gaat de gemiddelde verhouding richting het getal 2.

Tabel 4 Verhoudingen tussen lekdebieten waterstof/aardgas weergegeven per lek en per druk

Omschrijving instelling lek	druk [mbar]	lek 1	lek 2	lek 3	lek 4	gemiddeld
A lek (± 1 l / h 100 mbar N ₂)	100	1,56	2,45	2,04	1,67	1,93
	200	1,75	1,87	1,94	1,72	1,82
B -lek (± 1 l / h 30 mbar N ₂)	30	1,38	1,30	1,49	1,60	1,44
	100	-	1,70	1,64	1,82	1,72
De gemiddelde verhouding bij 100 mbar van de A- en B-lekken is 1,84						

Tabel 5 geeft de gemiddelde debietratio's van alle gemeten gassen, waarbij minder nauwkeurige metingen (type A-lekken bij 30 mbar) zijn weggelaten. Voor een nadere beschouwing zie Hoofdstuk 6.

Tabel 5 Gemiddelde verhoudingen per drukniveau op basis van lekkages exclusief de type A-lekkages bij 30 mbar.

druk[mbar]	ϕ aardgas/ ϕ N ₂	ϕ H ₂ / ϕ aardgas	ϕ H ₂ / ϕ N ₂
30	1,49	1,44	2,15
100	1,30	1,84	2,37
200	1,22	1,82	2,22
Totaal alle metingen (geen onderscheid naar druk)	1,33	1,73	2,27

6. Beschouwing resultaten

6.1 Bepaling factor voor criterium lekdichtheidsbeproeving

Uitgangspunt voor de nadere beschouwing zijn de waarden van de debietratio's uit tabel 5.

In tabel 6 is per drukniveau een vergelijking gemaakt van de berekende debietratio's voor laminaire en turbulente stroming met de gemiddelde waarden van de debietratio's op basis van de meetresultaten. Op basis van deze vergelijking is in de laatste kolom aangegeven wat vermoedelijk het stromingskarakter van de lekken bij de metingen is geweest.

Tabel 6 Gemiddelde waarden debietratio's meetresultaten en berekende waarden voor laminaire en turbulente stroming en karakterisering van de stroming

Debiet-ratio	Debietratio berekend (Hoofdstuk 4)		druk [mbar]	Debietratio gemeten (Hoofdstuk 5)	Stromingskarakter gemeten lekken (op basis van vergelijking met berekende debietratio's)
	lam.	turb.			
$\phi_{\text{Aardgas}} / \phi_{\text{N}_2}$	1,54	1,23	30	1,49	aardgas en stikstof laminair
			100	1,30	aardgas en stikstof turbulent
			200	1,22	
			gem	1,33	n.v.t. (want gemiddelde van stromingskarakters bij de verschillende drukniveaus)
$\phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{Aardgas}}$	1,3	3,0	30	1,44	aardgas en waterstof laminair
			100	1,84	Aardgas turbulent (zie $\phi_{\text{Aardgas}} / \phi_{\text{N}_2}$ *) Dus waterstof laminair of in overgangsgebied.
			200	1,82	
			gem	1,73	n.v.t. Gem. waarde nadert het resultaat in [12] $\approx 1,6$. In [12] is echter geen significant verschil gevonden in ratio van lek bij 25 en 100 mbar.
$\phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{N}_2}$	2,0	3,7	30	2,15	waterstof en stikstof laminair
			100	2,37	Stikstof turbulent (zie $\phi_{\text{Aardgas}} / \phi_{\text{N}_2}$) Daarmee is waterstof laminair of in overgangsgebied.
			200	2,22	
			gem	2,27	n.v.t.

*) Noot: De debietratio wijst erop dat bij 30 mbar de lekstroom bij zowel aardgas als waterstof laminair is. Lekstroom aardgas bij 100 en 200 mbar is meer turbulent (zie bij de rij $\phi_{\text{Aardgas}} / \phi_{\text{N}_2}$, waar deze debietratio's bij 100 en 200 mbar resp. 1,30 en 1,22 zijn. Die waarden benaderen de theoretische ratio voor turbulente stroming van 1,23). Als de stroming van waterstof bij 100 en 200 mbar ook turbulent zou zijn, dan zou de debietratio $\phi_{\text{H}_2} / \phi_{\text{Aardgas}}$ de waarde 3,0 moeten benaderen. Dat is niet het geval en daarom is de conclusie dat de stroming van waterstof laminair is of in het overgangsgebied zit tussen laminair en turbulent.

Overwegingen op basis van deze meetresultaten:

- In ref [12] wordt een factor van 1,64 genoemd. Dit is een waarde gebaseerd op debietmetingen met drukken van 25 en 100 mbar aan 2 verschillende lekkages. Dit betrof een lekkage via een schroefdraad en een lekkage via een knelkoppeling. Bij het onderhavige onderzoek zijn een viertal verschillende type lekkages onderzocht. Bij drie van de vier lekkages betrof het een lekkage tussen star materiaal (leiding) en een

afdichtingsring. Deze drie lekkages gedragen zich mogelijk enigszins dynamisch afhankelijk van druk en medium. De vierde lekkage betrof een lekkage op een draadverbinding en is in dat opzicht vergelijkbaar met één van de twee de beproefde lekkages zoals beschreven in ref [12]. De gemiddelde waarde voor de verhouding waterstof/aardgas is bij de vierde lekkage 1,70

- De metingen aan verschillende praktijklekken geven een verschil in stromingskenmerk te zien tussen lekken bij enerzijds 30 mbar en anderzijds 100 en 200 mbar. In de VIAG VWI G-12 wordt voor aansluitleidingen met een bedrijfsdruk van 100 mbar een beproevingsdruk van 200 mbar gehanteerd. In de dagelijkse praktijk wordt (bij storingen of andere werkzaamheden) veelal de bedrijfsdruk gebruikt bij lekdichtheidsbeproevingen. De debietratio $\phi_{H_2} / \phi_{Aardgas}$ van de gemiddelde meetwaarden bij 100 resp. 200 mbar bedragen 1,82 resp. 1,84. Gemiddeld gaan we uit van een debietratio $\phi_{H_2} / \phi_{Aardgas}$ van 1,83.
- Voor een gegeven lek waarbij hetzelfde risico voor waterstof als voor aardgas moet gelden zou in de dichtheidsbeproeving bij 100, 200 of 300 mbar voor het toelaatbaar lek met lucht de volgende vermenigvuldigingsfactor moeten gelden:

$$X_{criterium\ dichtheidsbeproeving} = \frac{8 [\%]}{5,9 [\%] \cdot 1,83 [= \phi_{waterstof} / \phi_{aardgas}]} = 0,74$$

- Bestaande leidingen van 30 mbar worden beproefd bij 40 mbar (VWI G12). Bij deze lagere druk past een debietratio $\phi_{H_2} / \phi_{Aardgas}$ van ca 1,44. De vermenigvuldigingsfactor zou in dit geval de waarde $X_{criterium\ dichtheidsbeproeving} = 0,94$ krijgen. Dat zou leiden tot een minder stringente dichtheidseis vergeleken met een 100 mbar net. Om twee redenen is het echter niet gewenst om onderscheid te maken tussen 30 mbar en 100 mbar leidingen:
 - Voor de uitvoering wordt het wellicht moeilijk uit te leggen voor de monteur dat het dichtheids criterium bij lagere druk minder streng is.
 - Een 30 mbar leiding kan in de toekomst ook op 100 mbar worden gezet. Daarom is het aan te raden om de dichtheidseisen voor een 100 mbar leiding aan te houden
- Indien geen onderscheid wordt gemaakt naar drukniveau geldt een gemiddelde debietratio $\phi_{H_2} / \phi_{Aardgas}$ van 1,73. Dit komt in de buurt van de eerdere bevindingen van Kiwa in [12], waarbij geen onderscheid is gevonden tussen 25, 100 en 200 mbar lekken. Indien van een factor 1,73 zou worden uitgegaan dan geldt een factor $X_{criterium\ dichtheidsbeproeving} = 0,78$. Daarbij wordt echter ten onrechte het criterium verzacht voor lekken bij drukken van 100 en 200 mbar.
- De voorgaande punten in overweging genomen is aan te bevelen om voor de dichtheidsbeproeving bij aansluitleidingen uit te gaan van de gemiddelde debietratio's bij 100 en 200 mbar. Dit leidt tot een vermenigvuldigingsfactor van 0,74 voor de lekdichtheidseis in de regelgeving.
- Voor hoofdleidingen geldt het volgende. Uitgaande van een worst case met een turbulent lek komt een lek grootte van 5 l/h stikstof of lucht overeen met een aardgaslek van ongeveer 6,2 l/h en een waterstoflek van maximaal 18,5 l/h. (Voor een laminair lek geldt bij een lek grootte van 5 l/h lucht een aardgasdebiet van 7,7 l/h en een waterstofdebiet van 10 l/h). Voor hoofdleidingen zijn dergelijke kleine lekkages waterstof acceptabel omdat deze niet tot gevaarlijke concentraties leiden.
Daarnaast zal bij een ombouw van een bestaand aardgasnet naar een waterstofnet de hoofdleiding praktisch niet eenvoudig op dichtheid zijn te testen via een drukdalingsproef. Het exacte lekdebiet is daardoor niet goed te bepalen. Bij de ombouw zullen de hoofdleidingen op dichtheid beoordeeld moeten worden via bovengronds lekzoeken. Bij voorkeur een

lekzoekronde kort voor de ombouw (detectie op aardgas) zodat onverhoopte lekkages voor een ombouw hersteld kunnen worden. Vervolgens een lekzoekronde na de ombouw (detectie op waterstof) met daarna periodieke lekzoekrondes conform NEN 7244.

Een bestaand aardgasnet is destijds aangelegd op basis van een lekdichtheidseis van 5 l/h (criterium vanaf 2005 in NEN 7244-7 beschreven). Hierdoor heeft het bij aanvang een acceptabele lekdichtheid. Een bewaking op de dichtheid vindt plaats via periodiek lekzoeken.

6.2 Voorstel voor aanpassing dichtheidseis voor waterstof

Op basis van de voorgaande beschouwingen is het voorstel voor de dichtheidseis als volgt:

Voor een gegeven lek waarbij maximaal hetzelfde risico voor waterstof als voor aardgas moet gelden, zou in de dichtheidsbeproeving voor het toelaatbaar lek met lucht of stikstof een vermenigvuldigingsfactor 0,74 moeten gelden.

Uitgaande van de huidige eisen zouden dan voor waterstof de eisen moeten gelden zoals weergegeven in tabel 7.:

Tabel 7 NEN 7244-7, tabel 4, maximale lekgrootte: (beproeving met lucht of stikstof) met aanpassing voor waterstof

Maximale lekgrootte bij een testdruk gelijk aan MOP		
Type leiding	Aardgas Max. lekgrootte [lucht of N ₂ dm ³ /h]	Waterstof Max lekgrootte [lucht of/N ₂ dm ³ /h]
Hoofdleiding	5,0	5,0
Aansluitleiding nieuw*)	0,2	0,2
Aansluitleiding bestaand**)	1,0	0,7
Meteropstelling*)	0,1	0,1
*) Een nieuwe leiding mag niet onnodig lekken door montage- of materiaalfouten. De maximale lekgrootte van 0,2 l/h wordt praktisch haalbaar en daarom wenselijk geacht voor nieuwe aansluitleidingen. (Praktisch haalbaar op basis van kleine toegestane lekkages van nieuwe componenten en variërende meetcondities). Deze eis is gelijk voor aardgas en waterstof. Dezelfde eis geldt ook voor de meteropstelling. **) Een aansluitleiding wordt als bestaand beschouwd zodra de rapportage van de eerste dichtheidsbeproeving van de nieuwe leiding door de netbeheerder is geaccepteerd.		

VWI G-12 zou voor waterstof als volgt kunnen worden aangevuld (tekst komt uit de huidige VWI G-12, **voorgestelde aanvulling vet en cursief**):

- Een nieuwe aansluitleiding wordt als lekdicht beschouwd als tijdens een overdrukmeting (bij een constante temperatuur) de beproevingsdruk ≤ 1 mbar daalt. Is de drukstijging ≤ 1 mbar, dan mag de leiding als gasdicht worden beschouwd. Is de drukstijging > 1 mbar, dan moet je de drukbeproeving opnieuw uitvoeren.
- Een bestaande aansluitleiding wordt als lekdicht beschouwd als tijdens een overdrukmeting (bij een constante temperatuur) de beproevingsdruk ≤ 5 mbar daalt (**voor waterstofleidingen: ≤ 4 mbar**).¹⁰ Ook nu geldt dat als de drukstijging ≤ 1 mbar je de leiding

¹⁰ NB er is bewust geen onderscheid gemaakt tussen beproevingsseis bij 30 mbar of 100/200 mbar leidingen omwille van de eenvoud, omdat het mogelijk lastig aan monteurs uit te leggen is dat bij 30 mbar leidingen op basis van de stromingskenmerken een milder criterium zou gelden dan bij 100 en 200 mbar leidingen.

als lekdicht mag beschouwen. Is de drukstijging > 1 mbar, dan moet je de drukbeproeving opnieuw uitvoeren.

- Een aansluitleiding wordt als bestaand beschouwd, zodra de rapportage van de eerste dichtheidsbeproeving (overdrukmeting) van de nieuwe leiding door de netbeheerder is geaccepteerd

Gezien de aanpassing van het drukdalingscriterium van maximaal 5 mbar naar maximaal 4 mbar, kan in VWI G12 de tabel 3 ongewijzigd blijven.

NB: In de VWI G-12 wordt ook verwezen naar een rekentool van Kiwa, welke te downloaden is:

<https://www.kiwa.com/nl/nl/over-kiwa/specialistische-services/kiwa-technology/downloads/>

Ook de toelaatbare lekgrootten in deze rekentool zou moeten worden aangepast conform de aanpassingen in de norm 7244-7.

7. Conclusies, beantwoording onderzoeksvraag en advies

7.1 Conclusies en beantwoording onderzoeksvraag

Lekdichtheidseisen

Voor nieuwe aansluitleidingen kunnen voor waterstof dezelfde lektheidseisen als bij aardgas worden gehanteerd. Er is geen reden om de criteria strenger te maken.

Voor bestaande aansluitleidingen moeten de dichtheidseisen strenger worden gesteld. De maximaal toegestane lekhoeveelheid voor bestaande aansluitleidingen bij waterstof is 74% van die van aardgas. Dit is bepaald op basis van het volgende:

- De meetwaarden geven een factor 1,83 grotere lekkage bij waterstof
- De aanname dat de risico's van ontsteken van een gas-luchtconcentratie < 8 vol% voor waterstof lager is dan voor aardgas met een concentratie van 5,9 vol%

Deze dichtheidseisen kunnen worden verwerkt door uitbreiding van NEN 7244-7, tabel 4 voor waterstof, die er dan als volgt uit komt te zien:

Maximale lekgrootte bij een testdruk gelijk aan MOP		
Type leiding	Aardgas Max. lekgrootte [dm ³ /h]	Waterstof Max lekgrootte[dm ³ /h]
Hoofdleiding	5,0	5,0
Aansluitleiding nieuw*)	0,2	0,2
Aansluitleiding bestaand**)	1,0	0,7
Meteropstelling	0,1	0,1

De uitvoering van de sterkte- en dichtheidsbeproevingen voor een waterstofnet kan worden uitgevoerd door uitbreiding (*cursief*) van de volgende zinsnede in VWI G-12:

Een bestaande aansluitleiding wordt als lekdicht beschouwd als tijdens een overdrukmeting (bij een constante temperatuur) de beproevingsdruk ≤ 5 mbar daalt (*voor waterstofleidingen: ≤ 4 mbar*)

Laminaire en turbulente stromingen bij verschillende drukken

Uit de gemeten waarden met stikstof, aardgas en waterstof blijkt het volgende. Bij een gegeven lek geldt voor de verhouding tussen het debiet waterstof ten opzichte van aardgas (de debietratio):

- Bij een drukbeproeving van 30 mbar is deze debietratio 1,44 wat aangeeft dat de lekstroom laminair is voor zowel aardgas, waterstof als stikstof.
- Bij drukbeproeving bij 100 en 200 mbar is deze debietratio gemiddeld 1,83. De stroming van aardgas en stikstof is hierbij turbulent en van waterstof is deze laminair of zit in het overgangsgebied.

7.2 Advies

Het volgende wordt geadviseerd bij de ombouw van aardgas naar waterstof:

- iedere aansluitleiding beproeven op lektheid via een drukdalingsproef
- hoofdleidingen op lektheid beproeven via bovengronds lekzoeken

Vooralsnog wordt een grenswaarde voor lekzoeken met waterstof gehanteerd van 10 ppm. In ref [13] wordt aangegeven dat dit criterium nader dient te worden onderzocht.

Referenties

- [1] NEN 7244-7:2019
- [2] VWI G-12: LD-aansluitleidingen veilig beproeven op sterkte en dichtheid versie 15-04-2021
- [3] Voorstel aanpassing lekdichtheidscriteria voor NEN normcommissie NEN 7244, dd 22 november 2013, inclusief bijlagen.
- [4] Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet -DNVGL 184991
- [5] Basisgegevens aardgassen – 1980 Nederlandse Gasunie
- [6] Hy4Heat Work package 7 Safety Assessment: Gas Ignition and Explosion Data Analysis
- [7] USBM-503 Limits of Flammability of gases and vapors - Coward and Jones
- [8] Toekomstbestendige gasdistributienetten – Kiwa GT-170272
- [9] NPR 3378-2: 2013: tabel A.1
- [10] Hy4Heat Work package 7 Safety Assessment: Experimental Testing - Domestic Pipework Leakage
- [11] https://www.engineeringtoolbox.com/gases-absolute-dynamic-viscosity-d_1888.html
- [12] Eerste inventarisatie naar waterstofuitstromen bij kleine toelaatbare lekken – Kiwa GT-180259
- [13] De verspreiding van aardgas en waterstof in de bodem – Kiwa GT-200302

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?
- 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 Expert Assessment Group (EAG) deelvraag 124

Samenstelling Expert- and Assesment Group (EAG)

Naam	Werkgever
D. Nieuwenhuizen	Stedin
H. Smit	Enexis
W. Koppenol	Enexis
W.R. Nispeling	Alliander
R. den Hartog	Westland Infra
J. Jonkman	Rendo
R. Scholten	Rendo
A. Kooiman	Kiwa Technology
S. Lueb	Kiwa Technology

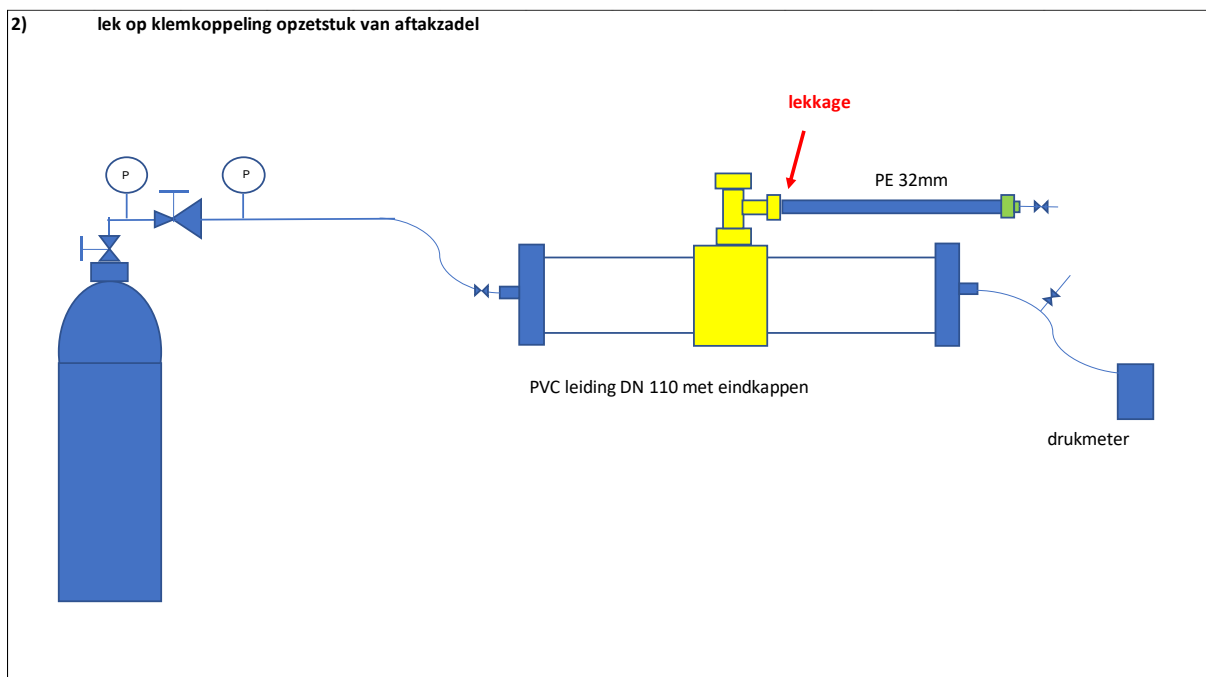
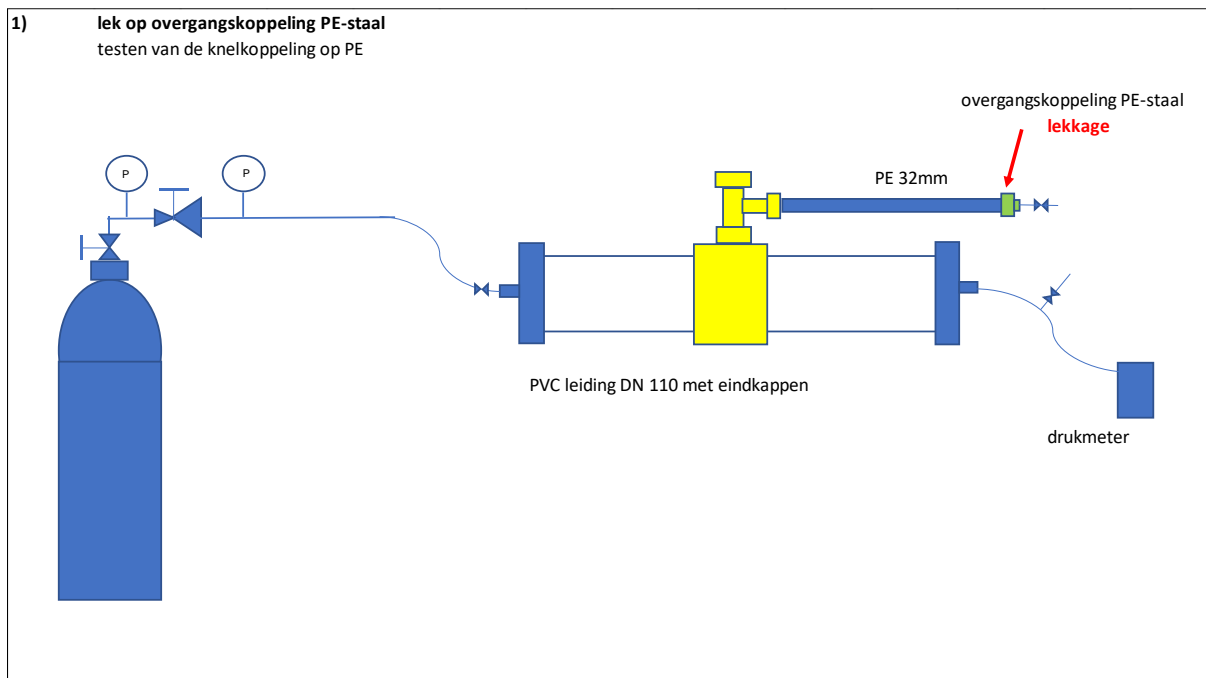
De EAG dient als begeleiding- en sparringsgroep bij de uitvoering van de betreffende deelvraag.

III Overzicht van criteria lekdichtheid

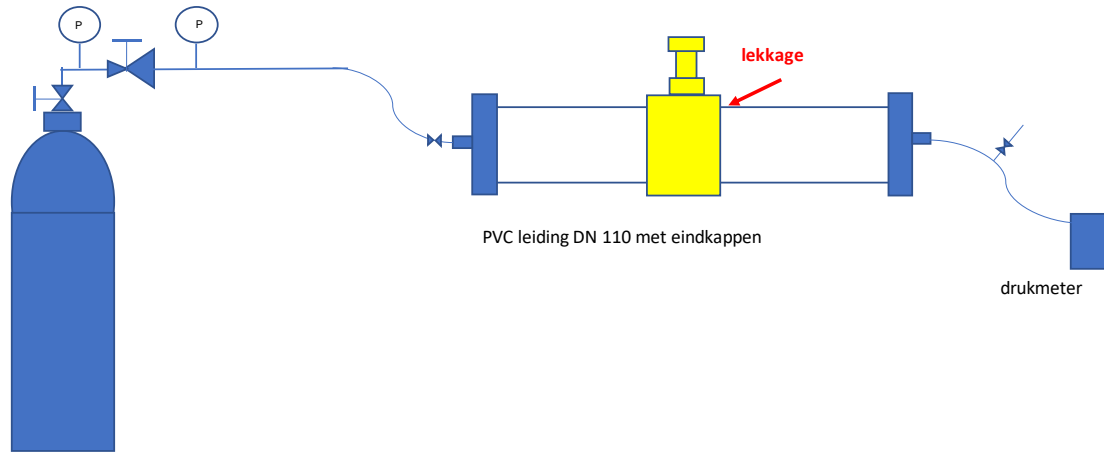
Document	Lekdichtheidscriteria										
NEN 7244-7: 2019	<p>Lekdichtheidsbeproeving met lucht voor aardgasleidingen.</p> <p>Testdruk: MOP of hoger</p> <table> <tr> <th>Type leiding</th><th>Beproeving met lucht Max. lekgrootte [dm³/h]</th></tr> <tr> <td>Hoofdleiding</td><td>5,0</td></tr> <tr> <td>Aansluitleiding nieuw</td><td>0,2</td></tr> <tr> <td>Aansluitleiding bestaand</td><td>1,0</td></tr> <tr> <td>Meteropstelling</td><td>0,1</td></tr> </table>	Type leiding	Beproeving met lucht Max. lekgrootte [dm ³ /h]	Hoofdleiding	5,0	Aansluitleiding nieuw	0,2	Aansluitleiding bestaand	1,0	Meteropstelling	0,1
Type leiding	Beproeving met lucht Max. lekgrootte [dm ³ /h]										
Hoofdleiding	5,0										
Aansluitleiding nieuw	0,2										
Aansluitleiding bestaand	1,0										
Meteropstelling	0,1										
VIAG VWI G-12: 2021	<p>Dichtheidsbeproeving LD aansluitleidingen</p> <p>Testdruk: 200/300 mbar voor leidingen 100/200mbar</p> <p>Testdruk 40 mbar voor leidingen 30 mbar</p> <p>Drukdaling nieuw: < 1 mbar in 5 minuten voor nieuwe leidingen < 13,1 dm³</p> <p>Drukdaling bestaand: < 5 mbar in 5 minuten voor nieuwe leidingen < 13,1 dm³</p>										
KE 214	<p>Lekdichtheidsbeproeving met lucht voor waterstofappendages</p> <p>Extern lek afsluiters ≤50 DN: 6,6 cm³/h. Testdruk 6 mbar en 1,5 x MOP</p> <p>Extern lek drukregelaars: 6,6 cm³/h. Testdruk 300 mbar</p>										
KE 69-1	<p>Lekdichtheidseisen voor afsluiters aardgas. Beproeving met lucht.</p> <p>Extern lek afsluiters ≤50 DN: 20 cm³/h. Testdruk 6 mbar en 1,5 x MOP</p>										
NEN 7239:2018	<p>Lekdichtheidseisen voor drukregelaars (aardgas) Beproeving met lucht.</p> <p>Extern lek drukregelaars: 10 cm³/h. Testdruk 300 mbar</p>										
NEN 1078:2018	<p>Lekdichtheidseisen nieuwe binnenleidingen aardgas < 500 mbar</p> <p>Duurzaam gasdicht. Geen toegelaten drukkaling van afgedopte leiding.</p> <p>Testdruk lucht 100mbar + nom. werkdruk. Geen drukkaling in 3 min.</p>										
NEN 8078+A1: 2018	<p>Lekdichtheidscriteria bestaande gasinstallaties < 500 mbar ≤ 50 dm³</p> <p>< 5 dm³/h aardgas</p>										
NPR 3378-1:2020	<p>Bepaling gasdichtheid gasinstallaties, leidraad bij NEN 1078 en NEN 8078</p> <p>Nieuw: max 1 l/h aardgas. Bij inhoud < 50 l en testdruk 25 of 100 mbar:</p> <p>Max. drukkaling met gas: 1 mbar in 3 min</p> <p>Max. drukkaling met lucht of stikstof: 1 mbar in 5 min</p> <p>NB. Conversiefactor = 5 min/3 min = 1,67.</p> <p>Bestaand: < 5 dm³/h aardgas. Bij inhoud < 50 l en testdruk 25 of 100 mbar:</p> <p>Max. drukkaling met aardgas: 5 mbar in 3 min</p> <p>Max. drukkaling met lucht of stikstof: 5 mbar in 5 min</p> <p>NB Conversiefactor = 5 min / 3 min = 1,67.</p>										
NPR 3378-2:2013 Vervallen	<p>Aanvullende methoden bepaling dichtheid gasinstallatie < 50 liter</p> <p>Correctiefactor voor bepoeving met lucht: 1,56 x bepoevingstijd met aardgas</p>										

IV Detailtekeningen van de testopstellingen

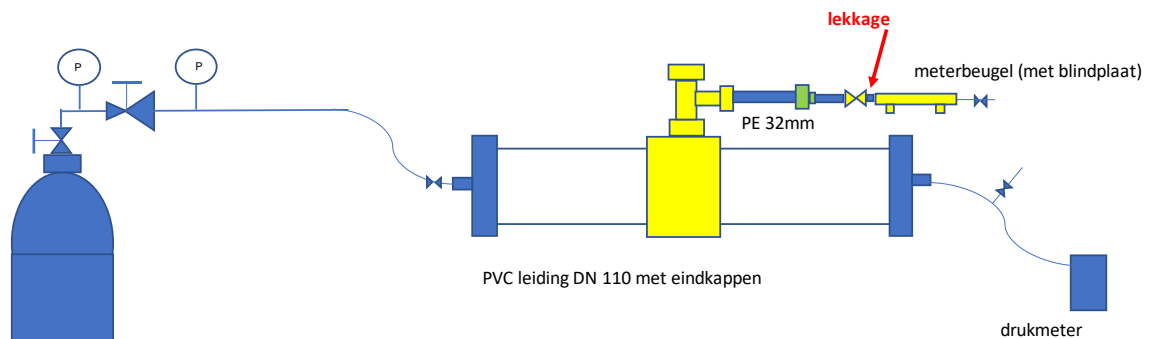
Hieronder volgt een schematische weergave van de lekkages bij vier verschillende typen koppelingen. Bij deze vier opstellingen is een lek aangebracht van ongeveer 1 liter per uur stikstof bij een druk van 100 mbar én een lek bij een druk van 30 mbar. In totaal zijn er dus acht verschillende lekopeningen gemeten.



3) lek op afdichtingsring van aftakzadel op hoofdleiding



4) lek op koppeling van inlaatkraan op meterbeugel



V Methode voor het aanbrengen van lekken

Overzicht testopstelling lek 1 en lek 2



Lek 1: Overgangskoppeling staal-PE

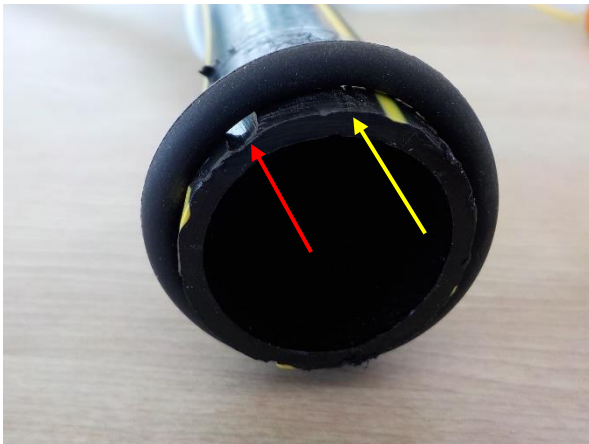


Overgangskoppeling staal-PE met kraan ten behoeve van het doorspoelen. De lekkage is gecreëerd door het aanbrengen van een lasdraad (0,8 mm²) tussen afdichtings-sluitringen en de PE-leiding. Bij de instelling bij 100 mbar is het schroefdraad strakker aangedraaid in vergelijking met de instelling bij 30 mbar.

Lek 2

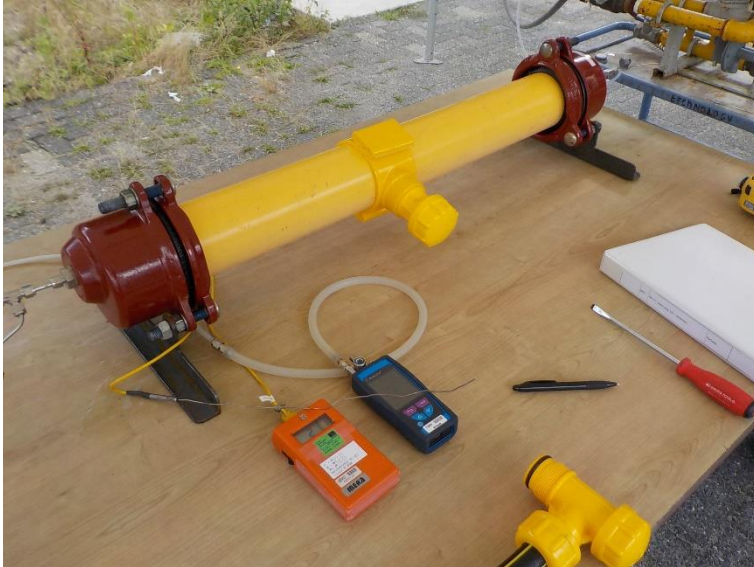


De lekkage is gecreëerd door het plaatsen van lasdraad (0,8 mm²) tussen de steunbus en de PE-leiding (rode pijlen)

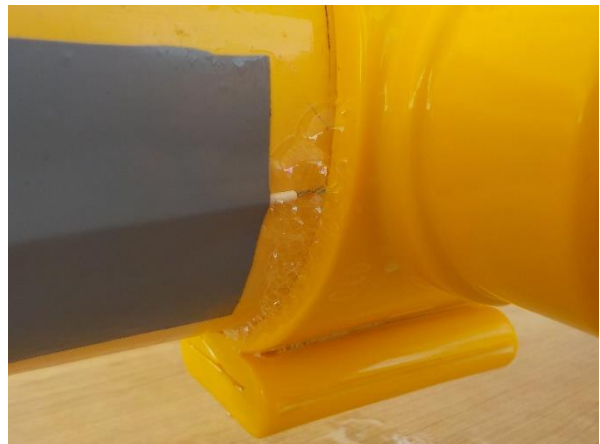
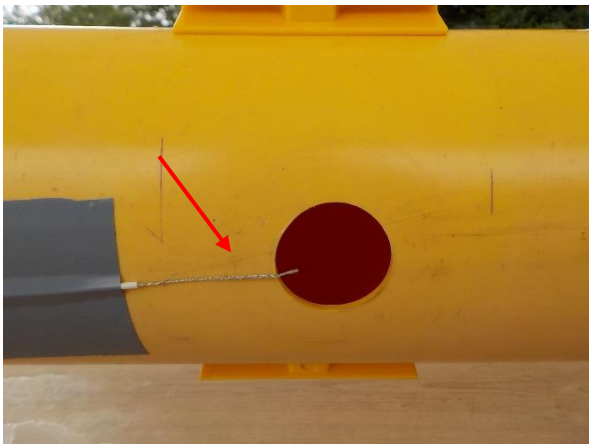


Krassen op de PE-leiding (gele pijl) bij instelling op basis van 100mbar en aanvullend diepere inkepingen (rode pijl) bij de instelling van het lek op basis van 30 mbar.

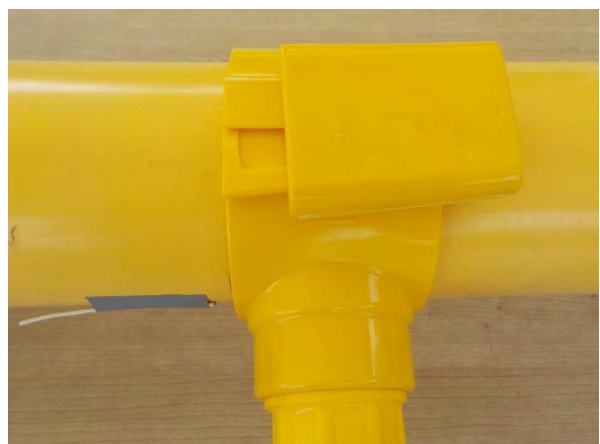
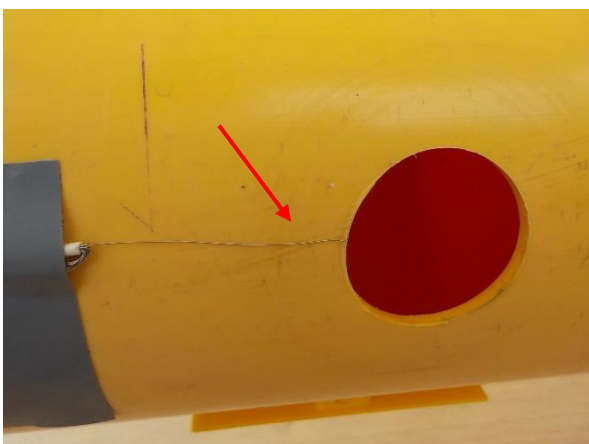
Overzicht testopstelling lek 3



Lek 3



De lekkage bij 30 mbar is gecreëerd door het plaatsen van electriciteitsdraad (bundeling draadjes, $0,5 \text{ mm}^2$) tussen de afdichtingsring van het aftakzadel en de hoofdleiding.

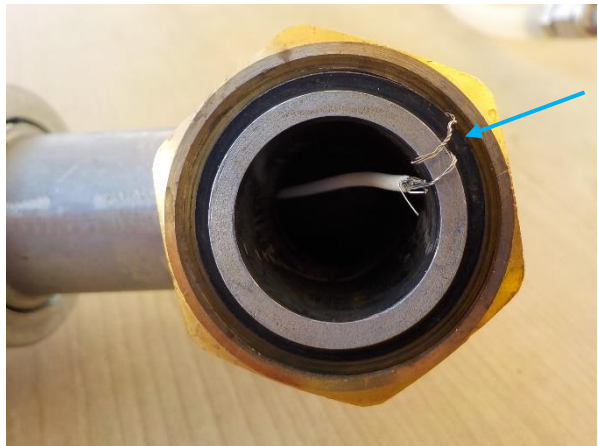


De lekkage bij 100 mbar is gecreëerd door het plaatsen van een enkel draadje ($0,02 \text{ mm}^2$) van het electriciteitsdraad tussen de afdichtingsring van het aftakzadel en de hoofdleiding én de wig niet volledig te sluiten.

Overzicht testopstelling lek 4



Lek 4



De lekkage bij 100 mbar is gecreëerd door het plaatsen van electriciteitsdraad (0,5 mm²) tussen het schroefdraad en de moer (rode pijl). De lekkage bij 30 mbar is gecreëerd door het plaatsen van electriciteitsdraad om de afdichtingsring (blauwe pijl).

VI Meetgegevens lekdichtheidsmetingen

In deze bijlage een overzicht van alle individuele metingen.

Lek 1A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	105,6	103,5	2,1	64,2	0,94
2	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	105,2	103,2	2,0	62,4	0,92
3	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	103,4	101,7	1,7	61,7	0,79
4	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	105,5	103,3	2,2	61,4	1,03
5	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	199,0	196,2	2,8	60,2	1,23
6	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	198,6	195,2	3,4	62,9	1,43
7	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	199,5	195,8	3,7	63,5	1,54
8	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	198,3	195	3,3	63,9	1,37
9	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,26	31,74	0,52	61,5	0,26
10	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,03	31,43	0,60	64,4	0,29
11	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,23	31,56	0,67	62,5	0,33
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	0,29	gemiddelde van alle waarden					
100	stikstof	0,92	gemiddelde van alle waarden					
200	stikstof	1,39	gemiddelde van alle waarden					

Lek 1A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	100,5	98,4	2,1	65,5	0,94
2	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,1	99,1	2,0	62,1	0,93
3	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,3	99,1	2,2	62,2	1,03
4	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,5	99,2	2,3	63,2	1,06
5	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,3	99,2	2,1	61,3	0,98
6	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	191,9	188,8	3,1	62,7	1,32
7	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	193,0	189,4	3,6	64,0	1,50
8	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	192,2	188,5	3,7	63,0	1,56
9	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	192,5	188,6	3,9	62,5	1,66
10	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	192,1	188,2	3,9	63,6	1,63
11	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,49	30,69	0,80	64,5	0,38
12	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,51	30,62	0,89	62,4	0,44
13	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,49	30,57	0,92	61,4	0,46
14	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,59	30,63	0,96	61,0	0,48
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	0,44	gemiddelde van alle waarden					
100	aardgas	1,00	gemiddelde van alle waarden					
200	aardgas	1,59	gemiddelde van alle waarden					

Lek 1A								
Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,4	97,8	3,6	64,6	1,60
2	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,3	97,8	3,5	64,7	1,55
3	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,2	97,9	3,3	61,4	1,53
4	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	100	101,0	97,6	3,4	62,4	1,56
6	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	193,6	187,1	6,5	62,4	2,77
7	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	193,1	186,6	6,5	61,4	2,82
8	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	193,0	186,6	6,4	62,1	2,75
9	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	193,1	186,7	6,4	61,4	2,78
10	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	200	31,90	31,05	0,85	62,1	0,42
11	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,26	31,37	0,89	63,1	0,43
12	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,19	31,11	1,08	64,4	0,51
13	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,13	31,16	0,97	62,0	0,48
14	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,13	31,19	0,94	61,2	0,47
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	0,46	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	1,56	gemiddelde van alle waarden					
200	waterstof	2,78	gemiddelde van alle waarden					

Lek 1B								
Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	33,67	31,84	1,83	62,4	0,90
2	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,75	30,79	1,96	63,3	0,95
3	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	33,31	31,40	1,91	62,5	0,94
4	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,92	30,61	2,31	71,2	1,00
6	stikstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	34,88	32,92	1,96	61,1	0,98
7	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,07	27,32	3,75	64,3	1,80
8	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,20	27,49	3,71	63,3	1,80
9	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	30,97	27,58	3,39	61,2	1,71
10	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,03	27,52	3,51	65,7	1,65
11	waterstof	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	30,87	27,64	3,23	63,4	1,57
12	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,09	28,92	2,17	62,5	1,07
11	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,95	29,63	2,32	62,2	1,15
12	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,13	29,59	2,54	62,2	1,25
13	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	32,01	29,49	2,52	61,1	1,27
14	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,75	29,10	2,65	63,4	1,29
15	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,83	29,17	2,66	61,1	1,34
14	aardgas	nr 1 - koppeling PE-Staal	30	31,62	29,08	2,54	61,0	1,28
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	0,95	gemiddelde van alle waarden					
30	aardgas	1,23	gemiddelde van alle waarden					
30	waterstof	1,70	gemiddelde van alle waarden					

Lek 2A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	106,7	104,9	1,8	75,4	0,68
2	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	107,0	105,7	1,3	71,9	0,52
3	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	105,4	104,1	1,3	69,8	0,53
4	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	103,9	102,6	1,3	68,1	0,55
5	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	102,8	101,5	1,3	75,4	0,49
6	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	198,6	196,0	2,6	70,1	0,98
7	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	198,0	195,4	2,6	70,5	0,98
8	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	197,3	194,5	2,8	71,3	1,04
9	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	197,6	195,4	2,2	69,4	0,84
10	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	194,2	192,1	2,1	76,8	0,73
11	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	197,3	194,7	2,6	70,8	0,97
12	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	35,40	34,80	0,60	73,5	0,25
13	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	34,65	33,96	0,69	75,4	0,28
14	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	33,62	32,99	0,63	71,1	0,27
15	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	35,70	35,17	0,53	81,6	0,20
16	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	35,09	34,75	0,34	75,8	0,14
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	0,25	1 meest afwijkende waarde niet meegenomen					
100	stikstof	0,52	1 meest afwijkende waarde niet meegenomen					
200	stikstof	0,92	gemiddelde van alle waarden					

Lek 2A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	105,0	103,2	1,8	81,8	0,63
2	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	102,8	101,2	1,6	83,2	0,55
3	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	104,2	102,8	1,4	88,1	0,46
4	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	102,5	101,2	1,3	86,6	0,43
5	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,7	98,7	2,0	85,0	0,68
6	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	104,3	102,7	1,6	74,3	0,62
7	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	193,7	190,9	2,8	63,5	1,17
8	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	190,2	187,3	2,9	64,1	1,20
9	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	194,5	191,2	3,3	65,0	1,35
10	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	193,6	190,3	3,3	61,2	1,43
11	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	194,2	191,3	2,9	66,3	1,16
12	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	33,60	32,64	0,96	70,1	0,42
13	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	32,16	31,13	1,03	67,7	0,47
14	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,81	29,70	1,11	61,9	0,55
15	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	34,18	33,08	1,10	61,1	0,55
16	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	32,75	31,64	1,11	62,1	0,55
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	0,53	gemiddelde van laatste 4 waarden					
100	aardgas	0,56	gemiddelde van alle waarden					
200	aardgas	1,26	gemiddelde van alle waarden					

Lek 2A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	105,0	101,9	3,1	61,3	1,45
2	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	101,0	98,0	3,0	63,2	1,36
3	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	104,0	101,0	3,0	65,3	1,32
4	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	104,5	101,5	3,0	63,4	1,36
6	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	100,9	98,0	3,0	67,5	1,26
7	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	104,0	101,0	3,0	57,9	1,49
8	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	191,0	185,4	5,6	62,8	2,38
9	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	190,4	184,7	5,7	61,9	2,46
10	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	191,1	185,6	5,5	62,1	2,36
11	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	191,0	185,2	5,8	62,7	2,47
12	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	200	191,8	186,6	5,2	64,5	2,15
13	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	33,90	32,83	1,1	63,2	0,52
14	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	32,66	31,35	1,3	67,8	0,59
15	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	34,02	32,90	1,1	62,0	0,55
16	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	32,46	31,54	0,9	62,4	0,45
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	0,53	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	1,37	gemiddelde van alle waarden					
200	waterstof	2,36	gemiddelde van laatste 5 waarden					

Lek 2B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,5	27,69	2,84	62,0	1,41
2	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,4	27,36	3,02	61,2	1,52
3	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,5	27,05	3,49	60,0	1,79
4	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,1	27,11	2,96	63,4	1,44
5	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,5	27,54	2,93	61,1	1,47
6	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	102,0	93,6	8,4	62,1	3,91
7	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,9	92,6	8,3	60,8	3,95
8	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	102,0	93,7	8,3	61,0	3,93
9	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	102,0	93,6	8,4	61,0	4,00
10	stikstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	101,7	93,6	8,1	60,9	3,85
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	1,52	gemiddelde van alle waarden					
100	stikstof	3,93	gemiddelde van alle waarden					

Lek 2B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,61	25,72	4,89	61,0	2,47
2	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,73	25,79	4,94	61,0	2,49
3	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,78	25,40	5,38	61,1	2,71
4	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,92	25,87	5,05	61,5	2,53
5	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,48	24,96	5,52	59,9	2,84
6	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	100,8	88,92	11,88	61,1	5,64
7	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,3	88,41	11,89	61,0	5,66
8	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,4	88,02	12,38	60,1	5,98
9	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,5	87,95	12,55	60,3	6,04
10	aardgas	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,7	87,94	12,76	60,5	6,12
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	2,61	gemiddelde van alle waarden					
100	aardgas	5,89	gemiddelde van alle waarden					

Lek 2B								
Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,84						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,89	25,56	5,33	49,9	3,29
2	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,58	25,48	5,10	44,2	3,55
3	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,91	25,58	5,33	46,9	3,50
4	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	31,04	25,94	5,10	49,8	3,15
6	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	30	30,80	25,48	5,32	48,0	3,41
7	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,8	90,2	10,6	30,5	10,06
8	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,7	90,0	10,7	31,9	9,70
9	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,9	90,1	10,9	32,0	9,84
10	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,8	90,2	10,6	30,1	10,20
11	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,6	90,0	10,6	29,5	10,45
12	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,9	80,0	20,9	61,1	10,01
13	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,9	80,3	20,6	61,1	9,86
14	waterstof	nr 2 - klemkoppeling aftakzadel	100	100,4	80,0	20,4	59,9	9,96
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	3,38	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	10,01	gemiddelde van alle waarden					

Lek 3A								
Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,14						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,7	102,6	1,1	67,8	0,43
2	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	102,3	101,4	0,9	64,3	0,37
3	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	102,2	100,8	1,4	59,9	0,62
4	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	101,3	99,8	1,5	61,0	0,66
5	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	101,3	99,8	1,5	59,8	0,67
6	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	101,3	100,0	1,3	66,5	0,52
7	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	196,8	193,7	3,1	68,7	1,10
8	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	195,4	192,3	3,1	63,6	1,19
9	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	195,0	192,3	2,7	60,5	1,09
10	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	195,0	192,4	2,6	62,6	1,02
11	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	195,0	192,3	2,7	60,6	1,09
12	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	34,76	34,18	0,58	62,7	0,26
13	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	34,11	33,66	0,45	61,9	0,21
14	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	33,52	32,99	0,53	60,8	0,25
15	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	32,97	32,13	0,84	62,0	0,38
16	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	32,06	31,52	0,54	61,1	0,25
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	0,27	gemiddelde van alle waarden					
100	stikstof	0,54	gemiddelde van alle waarden					
200	stikstof	1,10	gemiddelde van alle waarden					

Lek 3A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,14						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	104,0	101,9	2,1	62,1	0,90
2	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,6	102,0	1,6	63,1	0,67
3	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,5	101,7	1,8	61,1	0,78
4	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,0	101,5	1,5	65,5	0,61
5	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,0	101,6	1,4	69,4	0,53
6	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,1	101,4	1,7	62,8	0,72
7	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	194,0	190,8	3,2	63,8	1,23
8	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	194,0	191,1	2,9	61,1	1,16
9	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	194,0	191,0	3,0	62,2	1,18
10	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	194,0	190,7	3,3	66,2	1,22
11	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	194,2	191,0	3,2	62,1	1,26
12	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,50	30,23	0,27	66,7	0,11
13	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	31,17	31,19	-0,02	62,0	-0,01
14	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	31,22	31,15	0,07	63,0	0,03
15	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	31,20	30,93	0,27	63,2	0,12
16	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,91	30,86	0,05	61,0	0,02
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	0,12	gemiddelde van 2 hoogste waarden					
100	aardgas	0,70	gemiddelde van alle waarden					
200	aardgas	1,21	gemiddelde van alle waarden					

Lek 3A								
Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,14						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	102,8	99,8	3,0	61,0	1,30
2	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,0	100,1	2,9	61,6	1,25
3	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	102,7	99,2	3,5	61,0	1,51
4	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,1	100,0	3,1	60,3	1,36
5	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,0	99,4	3,6	62,2	1,52
6	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,2	99,5	3,7	60,0	1,65
	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	103,0	99,7	3,3	61,2	1,41
7	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	197,0	191,3	5,7	62,2	2,24
8	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	197,0	191,1	5,9	61,1	2,36
9	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	197,0	190,9	6,1	59,7	2,50
10	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	197,0	191,2	5,8	61,5	2,31
11	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	200	197,0	190,9	6,1	64,2	2,33
12	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	33,93	32,81	1,12	60,0	0,53
13	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	32,02	31,05	0,97	61,5	0,45
14	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	31,00	30,38	0,62	61,2	0,29
15	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	32,00	31,17	0,83	61,3	0,38
16	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	31,00	30,11	0,89	60,9	0,41
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	0,41	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	1,43	gemiddelde van alle waarden					
200	waterstof	2,35	gemiddelde van alle waarden					

Lek 3B								
Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,14						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	32,02	29,69	2,33	60,6	1,09
2	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,25	28,08	2,17	63,1	0,97
3	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,28	28,00	2,28	58,8	1,10
4	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	29,72	27,54	2,18	66,2	0,93
5	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,26	28,02	2,24	56,5	1,12
6	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,4	93,6	6,8	61,3	2,97
7	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,4	93,5	6,9	60,8	3,04
8	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,7	93,7	7,0	61,1	3,07
9	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,8	93,6	7,3	62,2	3,11
10	stikstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,5	93,5	7,0	61,0	3,05
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	1,04	gemiddelde van alle waarden					
100	stikstof	3,05	gemiddelde van alle waarden					

Lek 3B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,14						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,58	27,11	3,47	61,1	1,61
2	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,64	27,14	3,50	61,1	1,62
3	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,76	27,31	3,45	61,0	1,60
4	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,53	26,96	3,57	61,0	1,66
5	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,65	27,03	3,62	66,6	1,54
6	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,8	90,9	9,9	62,3	4,25
7	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,6	90,7	9,9	60,9	4,36
8	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	99,6	90,1	9,5	60,2	4,22
9	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,8	90,7	10,1	62,0	4,36
10	aardgas	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,9	91,0	10,0	61,1	4,35
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	1,61	gemiddelde van alle waarden					
100	aardgas	4,31	gemiddelde van alle waarden					

Lek 3B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,14						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,32	25,08	5,24	60,4	2,46
2	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,16	24,82	5,34	62,3	2,44
3	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,58	25,39	5,19	61,0	2,42
4	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,34	25,27	5,07	61,1	2,35
5	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	30	30,41	25,34	5,07	61,1	2,35
6	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,1	84,3	15,8	60,2	7,06
7	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,6	84,6	16,0	60,0	7,15
8	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,5	84,2	16,3	61,0	7,18
9	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,5	84,3	16,2	62,2	7,00
10	waterstof	nr 3 - afdichtingsring aftakzadel-HL	100	100,9	85,0	15,9	61,1	7,00
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	2,40	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	7,08	gemiddelde van alle waarden					

Lek 4A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,68						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	109,5	106,7	2,8	65,1	1,19
2	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	111,4	108,9	2,5	64,3	1,07
3	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	113,3	110,4	2,9	64,4	1,24
4	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,0	107,4	2,6	69,9	1,03
5	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,0	107,3	2,7	73,5	1,01
6	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,1	108,0	2,1	60,4	0,96
7	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,2	108,0	2,2	60,6	1,00
8	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	34,03	33,03	1,00	61,1	0,48
9	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	34,09	33,12	0,97	64,9	0,44
10	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	32,52	31,52	1,00	60,0	0,49
11	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	31,08	30,39	0,69	61,2	0,33
12	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	30,10	29,41	0,69	63,2	0,32
13	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	30,98	30,48	0,50	63,2	0,23
14	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	30,26	29,58	0,68	61,2	0,33
15	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	34,11	33,37	0,74	61,1	0,36
16	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	198,0	193,6	4,4	61,7	1,83
17	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	198,9	194,7	4,2	60,3	1,79
18	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	197,7	193,2	4,5	61,0	1,90
19	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	198,0	193,8	4,2	62,7	1,72
20	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	197,9	193,7	4,2	59,9	1,80
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	0,37	gemiddelde van alle waarden					
100	stikstof	1,07	gemiddelde van alle waarden					
200	stikstof	1,81	gemiddelde van alle waarden					

Lek 4A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,68						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	192,0	186,9	5,1	61,6	2,14
2	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	191,9	186,9	5,0	61,0	2,12
3	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	191,9	186,9	5,0	61,0	2,12
4	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	192,0	186	6,0	68,3	2,27
5	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	192,0	186	6,0	60,8	2,55
6	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	192,0	185,8	6,2	60,7	2,64
7	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	192,0	186,6	5,4	60,9	2,29
8	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	192,0	187,3	4,7	60,8	2,00
9	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	191,9	186	5,9	62,4	2,44
10	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	109,9	105,7	4,2	76,1	1,53
11	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,0	106,7	3,3	62,2	1,46
12	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,00	107,1	2,9	60,0	1,34
13	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,00	107,1	2,9	62,7	1,28
14	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,00	107	3,0	61,3	1,35
15	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,00	107,1	2,9	62,1	1,29
16	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	32,15	31,30	0,85	61,5	0,41
17	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	32,00	31,36	0,64	62,4	0,30
18	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	32,00	31,35	0,65	62,4	0,31
19	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	32,25	31,36	0,89	62,2	0,42
20	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	31,89	31,00	0,89	60,5	0,44
21	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,12	32,41	0,71	61,0	0,34
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	0,37	gemiddelde van alle waarden					
100	aardgas	1,38	gemiddelde van alle waarden					
200	aardgas	2,28	gemiddelde van alle waarden					

Lek 4A Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 100mbar								
Volume (l)		8,68						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	36,10	34,92	1,18	63,2	0,55
2	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	34,51	33,27	1,24	61,3	0,60
3	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,01	31,76	1,25	67,9	0,54
4	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	31,52	30,55	0,97	61,1	0,47
5	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	30,45	29,69	0,76	63,0	0,36
6	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,45	32,32	1,13	60,9	0,55
	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	31,88	30,69	1,19	60,9	0,58
7	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,1	104,5	5,6	61,3	2,53
8	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,1	105,0	5,1	62,2	2,27
9	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,6	105,7	4,9	62,5	2,17
10	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,3	105,2	5,1	60,7	2,33
11	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	110,5	105,5	5,0	62,5	2,22
12	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	195,0	185,7	9,3	60,5	3,97
13	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	195,0	185,6	9,4	63,1	3,85
14	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	195,1	185,6	9,5	62,9	3,90
15	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	195,2	186,0	9,2	61,3	3,88
16	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	200	194,8	185,4	9,4	60,6	4,01
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	0,52	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	2,30	gemiddelde van alle waarden					
200	waterstof	3,92	gemiddelde van alle waarden					

Lek 4B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,68						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	30,16	28,48	1,7	61,1	0,82
2	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,29	31,42	1,9	61,0	0,91
3	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,21	31,39	1,8	61,0	0,88
4	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,01	31,17	1,8	61,1	0,89
5	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,12	31,26	1,9	61,1	0,90
6	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	102,0	97,5	4,5	61,5	2,04
7	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,0	98,9	5,1	70,0	2,03
8	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,0	99,3	4,7	60,2	2,18
9	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	103,9	99,2	4,7	60,4	2,17
10	stikstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,0	99,2	4,8	61,0	2,19
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	stikstof	0,88	gemiddelde van alle waarden					
100	stikstof	2,12	gemiddelde van alle waarden					

Lek 4B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,68						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,03	30,58	2,45	60,2	1,21
2	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,04	30,28	2,76	61,3	1,34
3	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,00	30,34	2,66	61,1	1,29
4	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,10	30,57	2,53	62,1	1,21
5	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,00	30,39	2,61	62,2	1,24
6	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,9	98,3	6,6	61,7	2,98
7	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,9	98,2	6,7	61,0	3,06
8	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,8	98,2	6,6	61,0	3,01
9	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,4	97,1	7,3	66,3	3,07
10	aardgas	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	105,1	98,1	7,0	64,2	3,04
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	aardgas	1,26	gemiddelde van alle waarden					
100	aardgas	3,03	gemiddelde van alle waarden					

Lek 4B Lek van ongeveer 1 l/h ingesteld met stikstof 30mbar								
Volume (l)		8,68						
Nr	Medium	Omschrijving lek	Instelling nominale druk (mbar)	P start (mbar)	P eind (mbar)	Daling (mbar)	Tijdsduur (s)	Debiet (l/h)
1	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104	92,2	11,8	60,4	5,48
2	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	105,9	94,1	11,8	60,1	5,49
3	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,8	93	11,8	60,2	5,50
4	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	105	93,3	11,7	59,9	5,47
5	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	100	104,6	92,4	12,2	60,5	5,64
6	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,12	29,02	4,1	61	2,00
7	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,14	29,15	3,99	61,2	1,94
8	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,16	29,1	4,06	61,3	1,97
9	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,09	28,84	4,25	60	2,10
10	waterstof	nr. 4 - koppeling gaskraan en gasmeter	30	33,07	28,84	4,23	61,1	2,05
Druk	Medium	Gemiddeld lek						
30	waterstof	2,01	gemiddelde van alle waarden					
100	waterstof	5,52	gemiddelde van alle waarden					

VII Gebruikte meetapparatuur

Omschrijving	Fabrikaat en type	Kiwa-nr
Drukmeter (100 en 200 mbar)	Digitron B2022P	112066
Drukmeter (30 mbar en P atm)	Euro Index BlueLine S4602	113805
Temperatuurmeter	Mera	112412
Weegschaal (t.b.v. volumebepaling testopstelling)	Mettler Toledo SR32001	111603