Netbeheer Nederland

GT-200308
April 2021

Gasdrukregelstation voor waterstof

Onderzoek geschiktheid aardgasstation als waterstofstation

kiwa

Trust
Quality
Progress

GT-200308
April 2021

Gasdrukregelstation voor waterstof

Onderzoek geschiktheid aardgasstation als waterstofstation

© 2021 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever, alsmede van de opdrachtgever.

Colofon

Titel	Gasdrukregelstation voor waterstof
Projectnummer	004P001976
Projectmanager	C. Lock
Opdrachtgever	Netbeheer Nederland
Kwaliteitsborger(s)	C.J.A. Pulles
Auteur(s)	C. Lock

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van Netbeheer Nederland. Het is beschikbaar voor Netbeheer Nederland, de bij Netbeheer Nederland aangesloten netbeheerders en de aan deze netbeheerders verbonden bedrijven.

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

Tel. 088 998 33 93
Fax 088 998 34 94
www.kiwatechnology.nl

19190125

Samenvatting

De Nederlandse Regionale Netbeheerders willen van bestaande – of eventueel beperkt aangepaste – gasdrukregelstations voor aardgas (L_{gas})[1] de geschiktheid vaststellen voor gebruik met zuiver[2] waterstof (H_2).

Op dit moment is niet bekend of de huidige (aard)gasdrukregelstations geschikt zijn om ook waterstof op een correcte, betrouwbare en veilige wijze te reduceren in druk.

De doelstelling van dit onderzoek is, door middel van praktijkproeven, inzicht te krijgen in de werking en geschiktheid van een nieuw gasdrukregelstation als, in plaats van aardgas, het medium waterstof wordt toegepast.

Kernvraag: is het aardgasdrukregelstation voor wat betreft het technisch functioneren geschikt voor gebruik met waterstof?

Voor het uitvoeren van de testen is namens de netbeheerders door Rendo een gasdrukregelstation beschikbaar gesteld. De capaciteit van het gasdrukregelstation bedraagt 750 m^3_n/h (**aardgas**) bij de minimum inlaatdruk van 3 bar[3]. De nominale inlaatdruk bedraagt 8 bar en de nominale uitlaatdruk is 100 mbar. Het gasdrukregelstation voldoet aan NEN 1059.

Voor uitvoering van de testen is een meetprotocol opgesteld waarin voor alle testen de te nemen stappen, omstandigheden en metingen zijn gespecificeerd. Aanvullend op het meetprotocol zijn ook trillings- en pulsatiemetingen uitgevoerd.

Het gasdrukregelstation is eerst getest met **aardgas** tot een maximum van 750 m^3_n/h. Vervolgens is het gasdrukregelstation getest met **waterstof** tot een maximum debiet van 2.250 m^3_n/h.

Conclusie

Op basis van de metingen, zoals in dit rapport gepresenteerd, luidt de hoofdconclusie:

HET GETESTE GASDRUKREGELSTATION ONTWORPEN VOOR **AARDGAS** KAN ZONDER AANPASSING WORDEN TOEGEPAST VOOR **WATERSTOF**

Opmerking:

- De conclusie betreft alleen het technisch functioneren. Over het langeduurgedrag kan geen uitspraak worden gedaan.

[1] Het L_{gas} (laag calorisch gas) bestaat uit 86 vol% methaan + 14% stikstof.
[2] Waterstof zuiverder dan 99%.
[3] In dit rapport zijn overdrukken vermeld (8 bar komt overeen met 9 bar absoluut).

© Kiwa N.V.

Aanbevelingen

Aanvullend op het onderzoek in het kader van de HyDelta werkpakketten wordt aanbevolen om (bestaande) stations met (duidelijk) andere configuratie te onderzoeken alsmede stations met andere veel voorkomende typen regelaar.

Toelichting:

- Onderzocht is een installatie in een behuizing met een inhoud van ca. 0,5 m^3. Stations met een andere configuratie zijn onder andere installaties in een kaststation (2 bij 1 m) en een vrijstaand gebouw. Maar ook een hogedruk afleverstation HAS.
- Door onderzoek aan de meest voorkomende combinaties van configuraties en regelaars kan voor die combinaties het al dan niet optreden van resonanties worden vastgesteld.

Verder wordt aanbevolen:

- De oorzaak en het eventuele effect van de ruis van de uitlaatdruk nader te onderzoeken indien zich dit weer voordoet.
- Nader onderzoek te doen naar het functioneren van commandoventielen onder waterstofcondities.
- Nader onderzoek te doen naar het functioneren van veiligheidsafsluitkleppen onder waterstofcondities.

© Kiwa N.V.

Summary

The Dutch Gas Distribution System Operators want to determine the suitability of existing – or possibly limited adapted – gas pressure regulating stations for natural gas for use for pure[1] hydrogen (H_2).

At present it is not known whether the current natural gas[2] pressure regulating stations are suitable for reducing hydrogen in pressure in a correct, reliable and safe manner.

The aim of this project is to gain insight into the operation and suitability of a new gas pressure regulating station, by means of practical tests, when hydrogen is used instead of natural gas.

Main research question: is the natural gas pressure regulating station technically suitable for use with hydrogen?

On behalf of the network operators a gas pressure regulating station has been provided by Rendo for carrying out the tests. The capacity of the gas pressure regulating station is 750 m^3_n/h (**natural gas**) at the minimum inlet pressure of 3 bar[3]. The nominal inlet pressure is 8 bar and the nominal outlet pressure is 100 mbar. The gas pressure regulating station complies with NEN 1059 (the Dutch version of the European standard for gas pressure regulation installations EN12186).

For the execution of the tests a measurement protocol was developed specifying the steps, conditions and measurements to be taken for all tests. In addition to the measurement protocol, vibration and pulsation measurements were performed.

The gas pressure regulating station was first tested with **natural gas** up to a maximum of 750 m^3_n/h. The gas pressure regulating station was subsequently tested with **hydrogen** up to a maximum flow rate of 2,250 m^3_n/h.

Conclusion

Based on the measurements, as presented in this report, the main conclusion is:

THE TESTED GAS PRESSURE REGULATING STATION DESIGNED FOR **NATURAL GAS** CAN BE USED FOR **HYDROGEN** WITHOUT MODIFICATION

Note:

- The conclusion only concerns the technical functioning. No statement can be made about long-term behavior.

[1] Hydrogen purer than 99%.
[2] The L gas (low calorific gas) consists of 86 vol% methane + 14% nitrogen.
[3] Overpressures are stated in this report (8 bar corresponds to 9 bar absolute).

© Kiwa N.V.

Recommendations

In addition to the investigation in the context of the HyDelta work packages, it is recommended to investigate (existing) stations with (clearly) other configuration as well as stations with other frequently used types of controllers.

Explanation:

- An installation in a housing with a volume of approximately 0.5 m^3 was investigated. Installations with other configuration are, for example, installations in a cabinet (2 by 1 m) and a free-standing building. Also pressure regulator stations for households (8 bar to 100 mbar).
- By researching the most common combinations of configurations and pressure regulators, the occurrence or non-occurrence of resonances can be determined for those combinations.

Other recommendations are:

- Investigation of the cause and effect of the unstable outlet pressure (high frequency pressure fluctuations) is advised, if it recurs again.
- Further research into the functioning of directional control valves under hydrogen conditions.
- Further research into the functioning of safety shut-off valves under hydrogen conditions.

© Kiwa N.V.

Inhoud

	Samenvatting	**1**
	Summary	**3**
	Inhoud	**5**
1	**Inleiding**	**7**
1.1	Aanleiding	7
1.2	Probleemstelling	7
1.3	Doelstelling	7
1.4	Aanpak	7
2	**Gasdrukregelstation**	**9**
2.1	Gasdrukregelstation	9
2.2	Opbouw van het gasdrukregelstation	9
2.3	Gasdrukregelstation in de testopstelling	9
3	**Meetprotocol**	**10**
4	**Meetresultaten**	**13**
4.1	Lekdichtheid (uitwendig)	13
4.2	Lekdichtheid (inwendig)	13
4.2.1	Inlaatafsluiter (veiligheidsafsluiter VA)	13
4.2.2	Uitlaatafsluiter	13
4.3	Drukverlies over het filter(element)	14
4.4	Aanspreekdruk van beveiligingen	14
4.5	Sluittijd van de VA	15
4.6	Lekdichtheid (intern) van geactiveerde veiligheden	15
4.6.1	Veiligheidsafsluiter	15
4.6.2	Veiligheidsafsluitklep	16
4.7	Sluitdruk bij het sluiten van de regelklep	16
4.8	Uitlaatdruk en drukstabiliteit (resonanties) tijdens toe- en afname debiet	16
4.9	Geluidsemissie	18
4.10	Temperatuurmeting drukreductie bij 1.000 m^3_n/h	19
4.11	Temperatuurmeting drukreductie bij 1.600 m^3_n/h	20
4.12	Trilling en pulsatie bij aardgas en waterstof	20
5	**Conclusies**	**22**
6	**Aanbevelingen**	**23**

© Kiwa N.V.

I	Begrippenlijst	24
II	Toegepaste componenten gasdrukregelstation	25
III	Schema van de testopstelling	26
IV	Berekening lekkage afsluiters	28
V	Grafieken bepalen sluitdruk aardgas	30
VI	Grafieken bepaling sluitdruk waterstof	32
VII	Grafiek drukstabiliteit (tweede meting)	34
VIII	Grafiek geluidsemissie (tweede meting)	35
IX	Grafiek temperatuurmeting drukregelaar	36
X	Trillingen en pulsaties	37
XI	Incident door resonanties	44
XII	HyDelta werkpakket Gasstations	45

© Kiwa N.V.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Nederlandse Regionale Netbeheerders willen van bestaande – of eventueel beperkt aangepaste – gasdrukregelstations voor aardgas (L_{gas})[1] de geschiktheid vaststellen voor gebruik met zuiver[2] waterstof (H_2).

1.2 Probleemstelling

Op dit moment is niet bekend of de huidige (aard)gasdrukregelstations voor wat betreft het technisch functioneren geschikt zijn om ook waterstof op een correcte, betrouwbare en veilige wijze te reduceren in druk.

Toelichting:

- Waterstof heeft andere fysische eigenschappen dan aardgas en om dezelfde hoeveelheid energie te leveren als met aardgas moet de gassnelheid van het waterstof een factor drie hoger zijn[3]. Nagegaan moet worden of deze factoren invloed hebben op het technisch functioneren van het station.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is, door middel van praktijkproeven, inzicht te krijgen in de werking en geschiktheid van een nieuw gasdrukregelstation als, in plaats van aardgas, het medium waterstof wordt toegepast. Specifiek worden de volgende aspecten onderzocht:

- De uitwendige lekdichtheid van het gasstation in zijn geheel bij gebruik van waterstof.
- De juiste werking van de componenten bij gebruik van waterstof.
- De inwendige doorlaat van de afsluiters en veiligheden.
- De werking van de veiligheden.
- De werking / regelgedrag van de regelaar.

Zoals hierboven toegelicht zal, om dezelfde hoeveelheid energie te leveren als met aardgas, de snelheid van het waterstof in het gasnet en daarmee dus ook in de gasdrukregelstations hoger moeten zijn. De verwachting is dat dit met dezelfde componenten en drukken realiseerbaar is. In dit onderzoek moet worden vastgesteld, door middel van praktijkproeven, welke effecten het verhogen van de snelheid heeft op de complete werking van het (aard)gasdrukregelstation.

Samengevat is de onderzoeksvraag: is het aardgasdrukregelstation voor wat betreft het technisch functioneren geschikt voor gebruik met waterstof?

1.4 Aanpak

Voor het uitvoeren van de testen is namens de netbeheerders door Rendo een gasdrukregelstation beschikbaar gesteld, opgebouwd uit een regelaar, een veiligheidsafsluiter (VA) en veiligheidsafsluitklep (VAK) en bijbehorende afsluiters en leidingwerk. De capaciteit van het gasdrukregelstation bedraagt 750 m^3_n/h (**aardgas**) bij de minimum inlaatdruk van 3 bar[4]. De nominale inlaatdruk bedraagt 8 bar en de nominale uitlaatdruk is 100 mbar. Het gasdrukregelstation voldoet aan NEN 1059:2019.

---

[1] Het L_{gas} (laag calorisch gas) bestaat uit 86 vol% methaan + 14% stikstof.
[2] Waterstof zuiverder dan 99%.
[3] Energiedichtheid: aardgas 38 MJ/kg – waterstof 120 MJ/kg.
Calorische waarde: aardgas 31,7 MJ/m^3_n – waterstof 10,8 MJ/m^3_n.
[4] In dit rapport zijn overdrukken vermeld (8 bar komt overeen met 9 bar absoluut).

© Kiwa N.V.

Vanwege de omvang van de waterstofdebieten die bij deze proeven vrijkomen, zijn om vergunning-technische redenen de proeven uitgevoerd op de Twente Safety Campus te Enschede.

Voor uitvoering van de testen is een meetprotocol opgesteld en met vertegenwoordigers van Netbeheer Nederland besproken waarin voor alle testen de te nemen stappen, omstandigheden en metingen zijn gespecificeerd. Voor wat betreft de voorgeschreven temperaturen is bij voorbaat geconstateerd dat deze niet of nauwelijks kunnen worden beïnvloed, immers de gassen worden vanuit flessenpakketten aangevoerd en de metingen vinden plaats in de openlucht (geen laboratorium omstandigheden). De omgevingstemperatuur en de gastemperatuur tijdens de metingen wijken af van de temperaturen zoals deze zijn voorgeschreven in het meetprotocol. Dit heeft geen significant effect op de conclusies.

Het gasdrukregelstation is eerst getest met aardgas tot een maximum van 750 m^3_n/h. Vervolgens is het gasdrukregelstation getest met waterstof tot een maximum debiet van 2.250 m^3_n/h.

Bij de test met het maximale debiet waterstof is een gassnelheid bereikt van ruim 60 m/s in de uitlaatleiding (100 mbar), waardoor met voldoende betrouwbaarheid kon worden vastgesteld of de druk gemeten bij de header al dan niet representatief is voor de 'netdruk'. Hiertoe is aan de uitlaatzijde een buffervat opgenomen waarin de stromingssnelheid van het gas aanzienlijk vermindert. Hiermee is de aanwezigheid van een gasdistributienet gesimuleerd.

Het meetprotocol is opgenomen in hoofdstuk 3.

Aanvullend op de geplande testen conform het meetprotocol zijn door TNO trillings- en pulsatiemetingen uitgevoerd tijdens de drukstabilisatiemetingen, test 8 van het meetprotocol.

Bij een deel van de metingen is gebruik gemaakt van de standaard testkoffer voor gasdrukregelinstallaties, de PLEXOR (zie het meetprotocol, hoofdstuk 3). De metingen met de PLEXOR zijn uitgevoerd door medewerkers van Wigersma & Sikkema.

© Kiwa N.V.

2 Gasdrukregelstation

2.1 Gasdrukregelstation

Figuur 1 toont het gasdrukregelstation waaraan het onderzoek is uitgevoerd.
De nominale inlaatdruk is 8 bar, de nominale uitlaatdruk is 100 mbar en minimale capaciteit bij 3 bar is 750 m^3_n/h aardgas (L_{gas}).

Figuur 1: Gasdrukregelstation (districtstation)
Er is een stromingsrichter geïnstalleerd zoals op de linker foto afgebeeld

2.2 Opbouw van het gasdrukregelstation

Het betreft een enkelstraats districtstation ondergebracht in een roestvaststalen behuizing (half kuubs kast) bestaande uit de volgende componenten:

- Inlaatafsluiter die tevens dienst doet als veiligheidsafsluiter (VA).
- Stoffilter.
- Gasgestuurde drukregelaar met aangebouwde veiligheid (veiligheidsafsluitklep (VAKAAN)).
- Uitlaatafsluiter type vlinderklep.

Zie voor een gedetailleerde beschrijving van de toegepaste componenten bijlage II.

2.3 Gasdrukregelstation in de testopstelling

Zie voor een schema en foto's van de testopstelling bijlage III en IV.

© Kiwa N.V.

3 Meetprotocol

In dit hoofdstuk is het meetprotocol vermeld, de punten 1 tot en met 11, voorafgegaan door enkele opmerkingen.

Opmerkingen:

- Aardgas wordt in dit meetprotocol aangeduid met CH_4.
- De testen 1 tot en met 9 worden uitgevoerd met aardgas (CH_4) en H_2 (5.0), waarbij de H_2 volumestroom 3x de aardgas volumestroom is.
- Met aardgas wordt bedoeld laag calorisch aardgas (86 vol% methaan + 14% stikstof).
- Drukinstellingen blijven identiek.
- Waar relevant zijn de testen gebaseerd op of afgeleid van EN 334[1] en EN 14382[2].
- Test 1 tot en met 11 mogen worden gecombineerd.
- De hieronder vermelde omgevingstemperaturen zullen mogelijk niet haalbaar zijn omdat de testen in de buitenlucht worden uitgevoerd.
- Hetzelfde geldt voor de gastemperatuur, omdat het gas wordt toegevoerd vanuit flessenpakketten waarbij de druk wordt gereduceerd van max. 200 bar naar 8 bar.
- De metingen met de PLEXOR zijn uitgevoerd door medewerkers van Wigersma & Sikkema.

1. Lekdichtheid (extern)
   Deze test wordt **eenmaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Gebruik van lekdetector (CH_4 / H_2), 8 bar (100 mbar uit)
   Omgevingstemperatuur 20 ^{0}C +/- 5 ^{0}C
   Voorafgegaan door afzepen

   Criterium: volgens NEN 7244, artikel 4.4.3.4.4: het beproefde leidingdeel voldoet aan de gestelde eisen als tijdens de beproeving is waargenomen dat de leiding lekdicht is (voor leidingdeel en leiding moet hier station worden gelezen

2. Lekdichtheid (intern)
   Deze test wordt **eenmaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   a. Inlaatafsluiter (VA)
   b. Uitlaatafsluiter
      Inlaatdruk 8 en 3 bar (100 mbar uit)
      Omgevingstemperatuur 20 ^{0}C +/- 5 ^{0}C
      Drukmeting +/- 1 mbar
      Drukbewaking gedurende 15 minuten met 8 bar en met 3 bar inlaatdruk en geblokkeerde regelaar, en gedurende 15 minuten 100 mbar met open regelaar

   Criterium: de acceptatiecriteria volgens NEN-EN12266-1-2012, rate C (zie bijlage IV)

[1] Gasdrukregelaars voor inlaatdrukken tot 100 bar.
[2] Veiligheidsvoorzieningen voor gasdrukregelstations en -installaties - Gasveiligheidsafsluiters voor inlaatdrukken tot 100 bar.

© Kiwa N.V.

3. Drukverlies over het filter(element)
   Deze test wordt **eenmaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Bij **750 m^3_n/h – CH_4** en **2.250 m^3_n/h – H_2**
   Inlaatdruk 8 bar
   Nauwkeurigheid drukverlies +/- 1 mbar

   Criterium: volgens NEN 1059, artikel 8.3.2.2: het drukverlies van het stoffilter mag de stabiliteit van de drukregeling niet nadelig beïnvloeden

4. Aanspreekdruk van beveiligingen (zonder flow)
   Deze test wordt **driemaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Omgevingstemperatuur 20 ^{0}C +/- 5 ^{0}C
   Uitgevoerd met testkoffer (PLEXOR)
   Nauwkeurigheid drukmeting +/- 0,1 mbar

   Criterium: volgens NEN 1059, artikel 9.31: Het drukbeveiligingssysteem moet automatisch in werking treden als, bij falen van het drukregelsysteem, de druk in het stroomafwaartse systeem de toegelaten grenzen overschrijdt. Daarbij moet rekening worden gehouden met de te verwachten afwijkingen van het drukbeveiligingssysteem tot de ingestelde waarden (nauwkeurigheidsklasse (NK))
   De NK van de VAK is 2,5 en de NK van het commandoventiel van de VA is 1 (opgave Rendo)

5. Sluittijd van de VA
   Deze test wordt **driemaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Uitgevoerd met testkoffer (PLEXOR)
   Drukveranderingssnelheid 0,5 - 2 mbar/s

   Criterium: volgens NEN 1059, artikel 9.3.2: de reactietijd van een drukbeveiligingstoestel moet voldoende kort zijn om een (tijdelijk) te hoge druk in het stroomafwaartse systeem te voorkomen

6. Lekdichtheid (intern) van geactiveerde veiligheden
   Deze test wordt **eenmaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Inlaatdruk 8 en 3 bar (100 mbar uit)
   Omgevingstemperatuur 20 ^{0}C +/- 5 ^{0}C
   Uitgevoerd met testkoffer (PLEXOR)
   Drukbewaking gedurende 15 minuten met 8 en met 3 bar inlaatdruk en gesloten regelaar, en gedurende 15 minuten 100 mbar met open regelaar

   Criterium: de acceptatiecriteria volgens NEN-EN12266-1-2012, rate C (zie bijlage IV)

7. Sluitdruk bij het sluiten van de uitlaatklep
   Deze test wordt tweemaal uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Handmatig sluiten van de uitlaatklep in 1 à 2 seconden bij initiële flow van 100 +/- 20 m^3_n/h CH_4 en 300 m^3_n/h H_2
   Inlaatdruk 3 +/- 0,1 bar
   Initiële uitlaatdruk 100 mbar
   Volume bij uitlaat > 0,2 m^3 tussen regelaar en regelklep

   Criterium: geen significant verschil in sluitdruk bij de toepassing met CH_4 en H_2

© Kiwa N.V.

8. Uitlaatdruk en drukstabiliteit (resonanties[1]) tijdens toe- en afname debiet
   Deze test wordt **tweemaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Inlaatdruk 8 bar
   Omgevingstemperatuur 20 ^{0}C +/- 5 ^{0}C
   Gastemperatuur 15 ^{0}C +/- 5 ^{0}C
   Drukmeting +/- 1 mbar
   Debiet toename / -afname gecontroleerd **10 – 750 m^3_n/h – CH_4** en
   10 – 2.250 m^3_n/h – H_2
   Snelheid van debietverandering 10 +/- 1 m^3_n/h/s
   Druk en debiet elektronisch vastgelegd met een tijdresolutie beter 5 s^{-1}
   Gemiddeld debiet (één keer) per 10 s, nauwkeurigheid beter dan +/- 15%
   Regelklep handmatig bediend

   Criterium: geen significant verschil in uitlaatdruk en drukstabiliteit bij de toepassing met CH_4 en H_2

9. Geluidsemissie tijdens test 8
   Deze test wordt **tweemaal** uitgevoerd met CH_4 en met H_2
   Gemeten met db(A)-meter, op 1 m afstand van gesloten behuizing op 1 meter hoogte

   Criterium: de geluidsemissie van een waterstofstation mag niet significant hoger zijn dan van een aardgasstation

10. Temperatuurmeting van het huis van de drukregelaar en de uitlaatdruk gedurende maximaal 30 minuten bij ca. **750 m^3_n/h H_2**
    (temperatuurverandering door Joule / Thompson-effect)
    Deze test wordt **eenmaal** uitgevoerd met H_2
    Thermokoppel in inlaatleiding (8 bar gedeelte)
    Thermokoppel in uitlaatleiding (100 mbar gedeelte)
    Thermokoppel aan buitenzijde regelaar
    Nauwkeurigheid temperatuur +/- 0,5 ^{0}C
    Nauwkeurigheid drukmeting +/- 1 mbar
    Aanvullende visuele en hoorbare observatie en (subjectieve) beoordeling

    Criterium: geen grotere temperatuurverandering dan bij de reductie van aardgas

11. Temperatuurmeting van het huis van de drukregelaar en de uitlaatdruk gedurende maximaal 30 minuten bij ca. **1.500 m^3_n/h H_2**
    (temperatuurverandering mede door Joule / Thompson-effect)
    Deze test wordt **eenmaal** uitgevoerd met H_2
    Zie bij 10
    Opmerking: omdat eventuele temperatuurveranderingen bij 1.500 m^3_n/h voldoende zichtbaar worden en om de hoeveelheid af te blazen waterstof enigszins te beperken is voor dit debiet gekozen bij deze test in plaats van 2.250 m^3_n/h

    Criterium: geen grotere temperatuurverandering dan bij de reductie van aardgas

[1] Kleine snelle trillingen die tot (versnelde) slijtage van onderdelen kunnen leiden.

© Kiwa N.V.

4 Meetresultaten

De meetresultaten zijn vermeld waarbij de paragraafnummering overeenkomt met de testnummering van het meetprotocol.

4.1 Lekdichtheid (uitwendig)

Er zijn geen uitwendige lekkages vastgesteld bij de toepassing van **aardgas**.
Er zijn geen uitwendige lekkages vastgesteld bij de toepassing van **waterstof**.

Conclusie: de uitwendige lekdichtheid voldoet aan de eisen.

4.2 Lekdichtheid (inwendig)

4.2.1 Inlaatafsluiter (veiligheidsafsluiter VA)

Aardgas
De gemiddelde lekwaarde over de gehele periode van 15 minuten bedraagt 0,9 mbar/min. Dit komt neer op een lekkage van 44,3 ± 10% mm^3/s.

Waterstof
De gemiddelde lekwaarde over de gehele periode van 15 minuten bedraagt 1,2 mbar/min. Dit komt neer op een lekkage van 58,8 ± 10% mm^3/s.

Opmerkingen:

- Voor de acceptatiecriteria volgens NEN-EN12266-1-2012 en de berekening van de inwendige lekkage zie bijlage IV.
- De inlaatafsluiter voldoet aan Rate C (3,0 * DN = 150 mm^3/s).
- Op basis van de theorie dat de lekkage bij waterstof ca. 1,5 tot 3 keer[1] zo groot zou zijn als bij aardgas, is het resultaat van de meting dat de lekkage bij waterstof kleiner is dan verwacht. Hierbij moet worden bedacht dat de afsluiter tussen beide testen is bediend en daarbij bij de test met waterstof mogelijk iets verder is dichtgedrukt dan bij de test met aardgas.

Conclusie: de inwendige lekdichtheid van de inlaatafsluiter voldoet aan de eisen.

4.2.2 Uitlaatafsluiter

Aardgas
De gemiddelde lekwaarde over de stabiele meettijd van 10 minuten bedraagt 126,5 ± 10% mm^3/s.

Waterstof
De gemiddelde lekwaarde over de stabiele meettijd van 10 minuten bedraagt 39,0 ± 10% mm^3/s.

Opmerkingen:

- Voor de acceptatiecriteria volgens NEN-EN12266-1-2012 en de berekening van de inwendige lekkage zie bijlage IV.
- De inlaatafsluiter voldoet aan Rate C (3,0 * DN = 150 mm^3/s).
- Op basis van de theorie dat de lekkage bij waterstof ca. 1,5 tot 3 keer zo groot zou zijn als bij aardgas, is het resultaat van de meting dat de lekkage bij waterstof kleiner is dan verwacht. Hierbij moet worden bedacht dat de afsluiter tussen beide testen is bediend en daarbij bij de test met waterstof mogelijk iets verder is dichtgedrukt dan bij de test met aardgas.

[1] Afhankelijk van het drukverschil en de vorm van de lek-opening is de lekkage bij waterstof 1,5 tot 3 keer zo groot dan bij aardgas.

© Kiwa N.V.

Conclusie: de inwendige lekdichtheid van de uitlaatafsluiter voldoet aan de eisen.

4.3 Drukverlies over het filter(element)

Zie paragraaf 4.8.

Uit Figuur 2 (aardgas) en Figuur 3 (waterstof) valt op te maken dat de meting veel ruis vertoont (alleen de positieve waarden zijn hierin afgebeeld). De gemiddelde meetwaarden zoals aangegeven met de dikke oranje lijn zijn hooguit indicatief. Mogelijk dat de stroming langs de meetnippels een onstabiele statische druk bij deze meetpunten veroorzaakt.

De **conclusie** is dat het drukverlies over het filter(element) bij 750 m^3_n/h **aardgas** bij benadering gelijk is aan het drukverlies over het filter(element) bij 2.250 m^3_n/h **waterstof**.

4.4 Aanspreekdruk van beveiligingen

De aanspreekdrukken – en voor de VA ook de sluittijd – zijn in onderstaande tabellen opgenomen.

Tabel 1: Aanspreekdruk en sluittijd VA

Veiligheidsafsluiter VA – Ingestelde waarde is 190 mbar*)			
Medium	**Aanspreekdruk**) [mbar]**	**Sluittijd [s]**	**Inlaatdruk (nominaal) [bar]**
Aardgas	206,0***)	< 1	3
	192,0	< 1	3
	192,0	< 1	8
	188,0	< 1	8
Waterstof	198,9	< 1	3
	195,2	< 1	3
	195,6	< 1	8
	186,0	< 1	8

*) De veiligheden zijn ingesteld aan de hand van de afgelezen druk op de manometer van de betreffende gasstraat. Hierin zit een bepaalde onnauwkeurigheid ten opzicht van de gekalibreerde manometer bij de testen. Gezien de (gemiddelde) meetresultaten voor aardgas wordt uitgegaan van een ingestelde waarde voor de VA van 190 mbar.

**) De aanspreekdruk is viermaal bepaald, tweemaal bij 3 bar en tweemaal bij 8 bar.

***) Deze hogere waarde is waarschijnlijk het gevolg van enige 'kleef'.

© Kiwa N.V.

Tabel 2: Aanspreekdruk VAK(AAN)

Veiligheidsafsluitklep VAKAAN – Ingestelde waarde is 190 mbar*)	
Medium	**Aanspreekdruk [mbar]**
Aardgas	186,8
	188,6
	187,8
Waterstof	190,7
	188,7
	184,9

*) De veiligheden zijn ingesteld aan de hand van de afgelezen druk op de manometer van de betreffende gasstraat. Hierin zit een bepaalde onnauwkeurigheid ten opzicht van de gekalibreerde manometer bij de testen. Gezien de (gemiddelde) meetresultaten voor aardgas wordt uitgegaan van een ingestelde waarde voor de VAKAAN van 188 mbar.

Uit Tabel 1 blijkt dat de aanspreekdruk voor de VA bij **aardgas** varieert tussen 188,0 en 206,0 mbar, maar als de waarde van de eerste test buiten beschouwing wordt gelaten is de variatie tussen 188,0 en 192,0 mbar. Dit voldoet nagenoeg aan de NK 1 (toegestane afwijking ± 1,9 mbar). Bij **waterstof** varieert de aanspreekdruk tussen 186,0 en 198,9. Deze variatie is beduidend groter, een verklaring hiervoor is niet gevonden. Mogelijk dat de omgevingscondities hierbij een rol hebben gespeeld.

Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar het functioneren van het commandoventielen onder waterstofcondities.

Uit Tabel 2 dat de aanspreekdruk voor de VAKAAN bij **aardgas** varieert tussen 186,8 en 188,6 mbar. Dit voldoet aan de NK 2,5 (toegestane afwijking ± 4,7 mbar). Bij **waterstof** varieert de aanspreekdruk tussen 184,9 en 190,7. De variatie bij **waterstof** is ook hier groter (mogelijk dat ook hier de omgevingscondities een rol hebben gespeeld), maar voldoet eveneens aan de NK 2,5. Hierbij is aangenomen dat de aanspreekdruk van de VAKAAN stond ingesteld op 188,0 mbar.

Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar het functioneren van veiligheidsafsluitkleppen onder waterstofcondities omdat ook voor de VAKAAN geldt dat de variatie van de aanspreekdruk bij **waterstof** groter is dan bij aardgas.

Conclusies:

- De sluittijd voldoet aan de norm.
- De variatie in aanspreekdruk is zowel bij het commandoventiel (van de VA) alsook bij de VAKAAN bij **waterstof** groter dan bij **aardgas**.
  Het commandoventiel voldoet (in deze test) bij **waterstof** niet aan de NK (gesteld bij aardgas).

4.5 Sluittijd van de VA

Zie paragraaf 4.4, Tabel 1.

4.6 Lekdichtheid (intern) van geactiveerde veiligheden

4.6.1 Veiligheidsafsluiter

Zie voor de VA paragraaf 4.2.1.

© Kiwa N.V.

4.6.2 *Veiligheidsafsluitklep*

Aardgas

De gemiddelde lekwaarde over de gehele periode van 15 minuten bedraagt -0,1 mbar/min.

Waterstof

De gemiddelde lekwaarde over de gehele periode van 15 minuten bedraagt 0,0 mbar/min.

Conclusie: de inwendige lekdichtheid van de veiligheidsafsluitklep voldoet aan de eisen.

4.7 Sluitdruk bij het sluiten van de regelklep

Zie voor de grafieken van de bepaling van de sluitdrukken bijlage V en VI.

De sluitdrukken zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Sluitdrukken

Medium	Inlaatdrukdruk [bar]	Sluitdruk*) [mbar]
Aardgas	8	116,7
	8	107,5
	3	113,3
	3	118,2
Waterstof	8	108,1
	8	103,2
	3	104,1
	3	104,2

*) De sluitdruk is viermaal bepaald, tweemaal bij 3 bar en tweemaal bij 8 bar.

Opmerking:

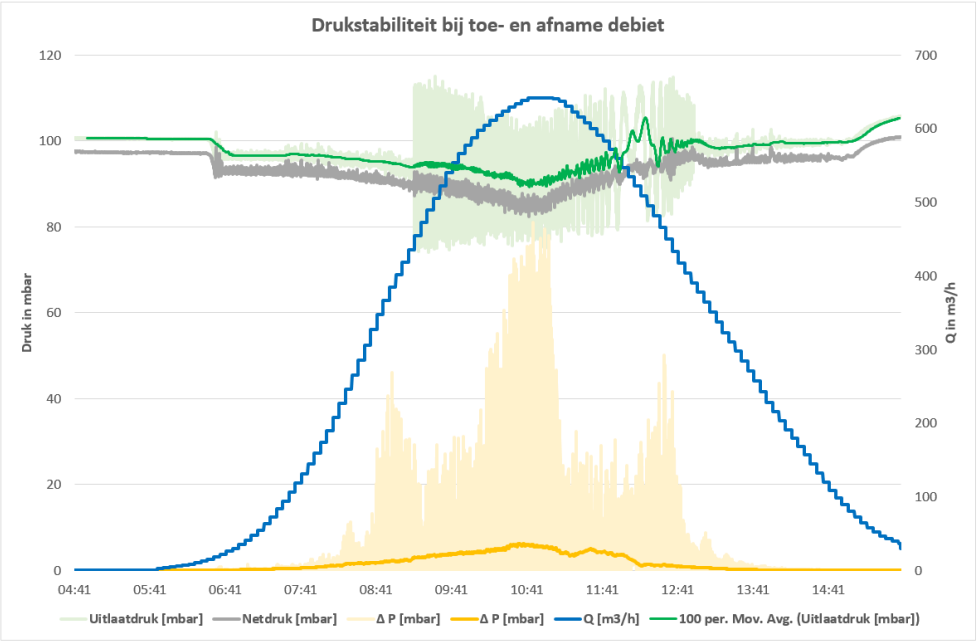
- De verschillen in sluitdruk kunnen zijn veroorzaakt door snelheidsvariatie bij het sluiten van de handmatig bediende regelklep (pos. nr. 13, bijlage III).

Conclusie: de sluitdruk is (bij de testen) bij **aardgas** gemiddeld hoger (9 mbar) dan de dan sluitdruk bij **waterstof**.

4.8 Uitlaatdruk en drukstabiliteit (resonanties) tijdens toe- en afname debiet

In Figuur 2 is het resultaat weergegeven van de meting met **aardgas** en in Figuur 3 met **waterstof** waarbij het debiet gedurende vijf minuten geleidelijk is opgevoerd en vervolgens in vijf minuten weer is teruggebracht. De meting is twee keer uitgevoerd op dezelfde wijze. Zie voor de grafieken van de tweede meting bijlage VII.

© Kiwa N.V.



*Figuur 2: Drukstabiliteit bij toe- en afname debiet – **aardgas***

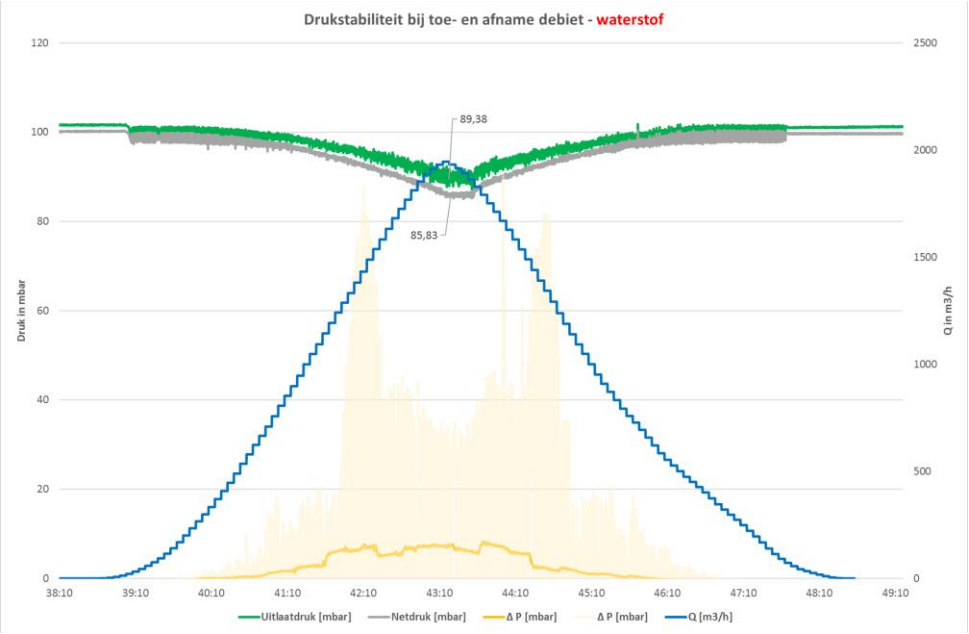
Toelichting op de grafiek:

- De **blauwe** lijn is het debiet per vijf seconden, het debiet is vermeld op de secundaire y-as.
- De dunne **oranje** lijn is het gemeten drukverschil per 0,1 seconde (door de vele meetpunten is een lijn niet zichtbaar). Deze druk is gemeten in het 8 bar gedeelte, de druk schommelt globaal tussen 7,92 en 8,08 bar.
  De dikke **oranje** lijn is het gemeten drukverschil over het filter. Deze lijn is het gemiddelde over 400 metingen (= 40 seconden). Zie paragraaf 4.3.
- De dunne **groene** lijn is de gemeten waarde per 0,1 seconde. (door de vele meetpunten is een lijn niet overal zichtbaar).
  De dikke **groene** lijn is de uitlaatdruk gemeten op de header van het station. Deze lijn is het gemiddelde over 100 metingen (= 10 seconden).
- De **grijze** lijn is de 'netdruk', de druk gemeten waarde per 0,1 seconde bij het buffervat DN 400.

Opmerkingen:

- Het enigszins hakkelend verloop van het debiet wordt veroorzaakt doordat per vijf seconden een waarde werd opgeslagen.
- Voor de (grote) ruis van met name de uitlaatdruk bij **aardgas** is geen verklaring. Ook de tweede meting bij **aardgas** vertoont deze ruis, zelfs in nog wat sterkere mate.
  Aanbevolen wordt de oorzaak en het eventuele effect van deze ruis nader te onderzoeken.

© Kiwa N.V.



*Figuur 3: Drukstabiliteit bij toe- en afname debiet – **waterstof***

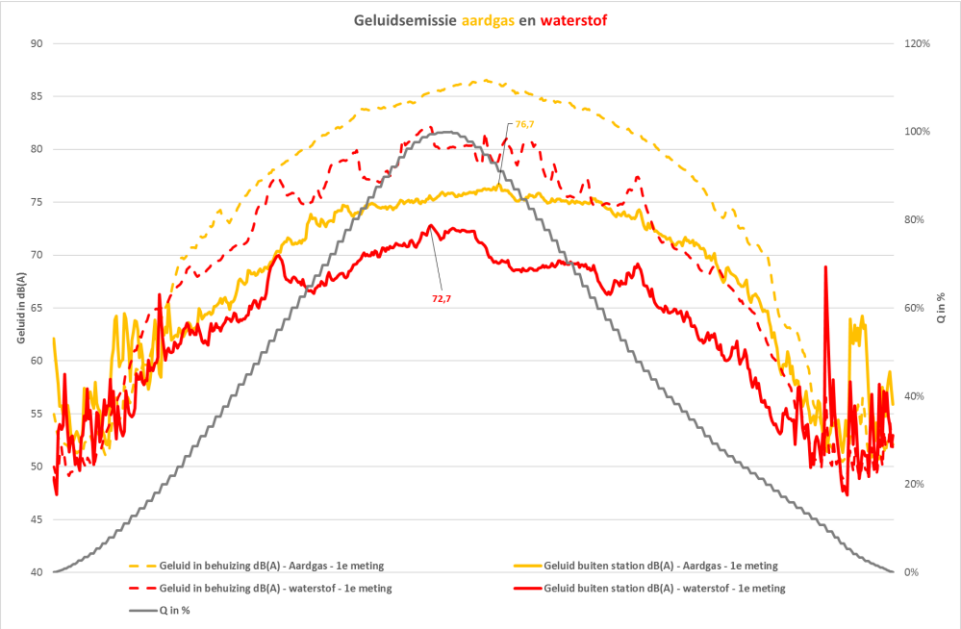
Conclusies:

- De drukstabiliteit wordt bij de toepassing van **waterstof** niet (negatief) beïnvloed.
- De druk gemeten bij de header is representatief voor de netdruk.

Voor de toelichting op de figuur zie Figuur 2.

4.9 Geluidsemissie

In Figuur 4 zijn de geluidsemissies van de eerste meting bij **aardgas** en **waterstof** weergegeven, de resultaten van de tweede meting zijn opgenomen in bijlage VIII.



*Figuur 4: Geluidsemissie bij **aardgas** en **waterstof***

© Kiwa N.V.

Opmerkingen:

- Het enigszins hakkelend verloop van het debiet is veroorzaakt doordat per vijf seconden een waarde werd opgeslagen.
- Het debiet is in percentage aangegeven (100% **aardgas** komt overeen met 750 m^3_n/h, 100% **waterstof** komt overeen met 2.250 m^3_n/h) zodat de geluidsemissie van **aardgas** en **waterstof** gemakkelijker met elkaar kunnen worden vergeleken.
- De pieken met name aan het begin en eind van de meting zijn veroorzaakt door omgevingslawaai. Het geluid van de omgeving overheerst dan het geluid van het gasdrukregelstation.

Conclusie: de geluidsemissie bij de toepassing van **waterstof** (bij een debiet van 2.250 m^3_n/h) is 3,9 dB(A) lager dan bij **aardgas** (bij een debiet van 750 m^3_n/h).

4.10 Temperatuurmeting drukreductie bij 1.000 m^3_n/h

In Figuur 5 is de temperatuur van het **waterstof** aan de in- en uitlaatzijde weergegeven, dus vóór en na de drukreductie van 8 bar naar 100 mbar bij een debiet van ca. 1.000 m^3_n/h (in plaats van 750 m^3_n/h zoals vermeld in het meetprotocol). De resultaten van de temperatuurmeting van de drukregelaar zijn opgenomen in bijlage IX.

*Figuur 5: Temperatuur in- en uitlaatzijde bij ca. 1.000 m^3_n/h – **waterstof***

Toelichting:

- De **rode** lijn is de inlaattemperatuur (voor de regelaar, druk 8 bar).
- De **groene** lijn is de uitlaattemperatuur (na de regelaar, druk 100 mbar).
- De **blauwe** lijn is het debiet.

Opmerking:

- De vloeiende lijnen (polynoom) is toegevoegd om de in- en uitlaattemperatuur van het **waterstof** beter met elkaar te kunnen vergelijken.
- De inlaattemperatuur daalt in nagenoeg gelijke mate de temperatuurdaling bij de drukreductie van maximaal 200 bar naar 8 bar. Bepalend bij deze test is het verschil tussen de **rode** en **groene** lijn respectievelijk de inlaat- en

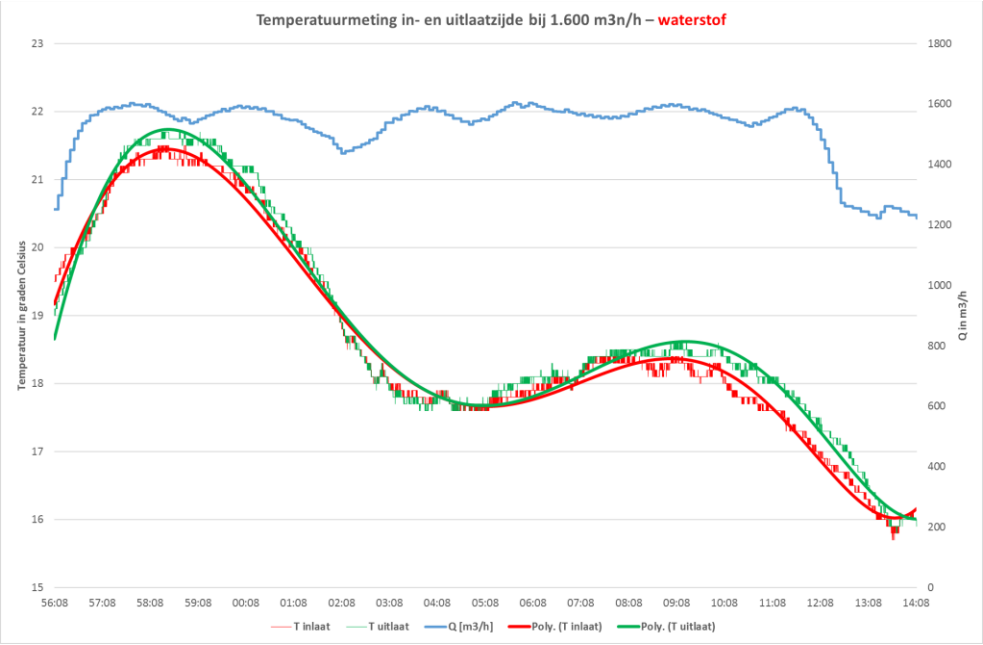
© Kiwa N.V.

uitlaattemperatuur. Er is sprake van enige temperatuurstijging. Op basis van de theorie zou een temperatuurstijging van 0,03 ºC per bar drukdaling plaatsvinden, een drukdaling van 8 bar naar 0,1 bar leidt tot een temperatuurstijging van circa 0,25 ºC.

Conclusie: de temperatuurstijging door de drukreductie is verwaarloosbaar.

4.11 Temperatuurmeting drukreductie bij 1.600 m^3_n/h

In Figuur 6 is de temperatuur van het **waterstof** aan de in- en uitlaatzijde weergegeven, dus vóór en na de drukreductie van 8 bar naar 100 mbar, bij een debiet van ca. 1.600 m^3_n/h (in plaats van 1.500 m^3_n/h zoals vermeld in het meetprotocol).
De resultaten van de temperatuurmeting van de drukregelaar zijn opgenomen in bijlage IX.



*Figuur 6: Temperatuur in- en uitlaatzijde bij ca. 1.600 m^3_n/h – **waterstof***

Opmerking:

- De vloeiende lijnen (polynoom) is toegevoegd om de in- en uitlaattemperatuur van het **waterstof** beter met elkaar te kunnen vergelijken.

Conclusie: de temperatuurstijging door de drukreductie is verwaarloosbaar.

4.12 Trilling en pulsatie bij aardgas en waterstof

Gelijktijdig met de metingen van de drukstabiliteit zijn door TNO de optredende trillingen en pulsaties gemeten op diverse plaatsen in het gasdrukregelstation en de uitlaatleiding. De resultaten van deze metingen zijn opgenomen in bijlage X.

Bevindingen uit de testen zijn (zie voor locatie van P1 en A3 bijlage X):

- Over het algemeen zijn de overall niveaus van de trillingen, pulsaties en het geluid voor beide situaties gelijkwaardig.
    - De geluidproductie neemt dus niet toe bij waterstof.
    - Bij de waterstof testen varieerde de inlaatdruk veel meer, waardoor er ook meer variatie op de meetsignalen was, met name aan de inlaatzijde (zie bijv. P1).

© Kiwa N.V.

- De condities aan de uitlaatzijde waren tijdens de waterstof testen juist stabieler.
- De trillingen in de uitlaatleiding zijn bij de waterstof testen iets lager.
- Resultaten meetlokatie A3 niet altijd betrouwbaar. Dit komt waarschijnlijk door zeer hoogfrequente bijdragen (>>10kHz) door lokaal zeer hoge gassnelheden en in de regelklep. Dit kan voor verstoringen van het meetsignaal zorgen.

- De frequentie-inhoud bij de waterstof test is anders dan bij de aardgas test: er is meer bijdrage van hoogfrequente, tonale componenten. Dit komt met name door de lagere dichtheid / hoge gassnelheid en de hogere geluidsnelheid van waterstof.

Conclusie: de overall niveaus van de trillingen en pulsaties bij **aardgas** en **waterstof** zijn vergelijkbaar.

Opmerking: in Duitsland heeft een incident plaatsgevonden met als oorzaak het lostrillen van bouten van een flensverbinding van een leiding waarin een aardgas-waterstofmengsel werd getransporteerd[1]. Uit het onderzoek naar de oorzaak van de trillingen is vastgesteld dat er een risico ontstaat wanneer akoestische trillingen samenvallen met de mechanische natuurlijke frequenties (resonantie) van het station. Hierop dient men bedacht te zijn bij de (geleidelijke) omschakeling van aardgasdistributie naar waterstofdistributie en eventueel onderzoek naar te verrichten. Het incident deed zich voor met een hogedruktransportleiding. Zie ook bijlage XI.

Voor de volledigheid: verandering van trillingen zijn bij de testen aan onderhavig gasstation niet waargenomen (zie bovenstaande conclusie).

[1] *"Wasserstoff in Erdgasanlagen. Schwingungstechnische Aspekte und Lösungen zum Betrieb"* uit GWF Gas+Energie van april 2020.

© Kiwa N.V.

5 Conclusies

Op basis van de metingen, zoals in dit rapport gepresenteerd, luidt de hoofdconclusie:

HET GETESTE GASDRUKREGELSTATION ONTWORPEN VOOR **AARDGAS** KAN ZONDER AANPASSING WORDEN TOEGEPAST VOOR **WATERSTOF**

Opmerking:

- De conclusie betreft alleen het technisch functioneren. Over het langeduurgedrag kan geen uitspraak worden gedaan.

De deelconclusies zijn in Tabel 4 samengevat vermeld.

Tabel 4: Deelconclusies

Onderwerp	Aardgas	Waterstof	Opmerking
Lekdichtheid uitwendig regelset	0	0	
Lekdichtheid inwendig afsluiters	0	0	
Drukverlies over filter	0	0	Indicatieve meting
Aanspreekdruk VA en VAK	0	0	Medium heeft geen invloed
Sluittijd VA	0	0	Medium heeft geen invloed
Lekdichtheid inwendig VA en VAK	0	0	
Sluitdruk	0	0	Verschil mogelijk veroorzaakt door variatie in de sluitsnelheid van de met de hand bediende regelafsluiter
Drukstabiliteit	0	0	
Geluidsemissie	0	+	Waterstof veroorzaakt minder geluidsemissie
Temperatuurinvloed drukreductie	-	0	Nauwelijks invloed
Trillingen en pulsatie	0	0	

Toelichting:

- Als de meetresultaten bij **waterstof** (vrijwel) hetzelfde zijn als bij **aardgas** dan is dit aangeduid met '0'.
- Als de meetresultaten bij **waterstof** gunstiger zijn dan bij **aardgas** dan is dit aangeduid met '+'.
- De temperatuurinvloed bij de drukreductie van **aardgas** is niet bepaald.

© Kiwa N.V.

6 Aanbevelingen

In het kader van de HyDelta werkpakketten is ook een werkpakket Gasstations opgenomen, zie bijlage XII. Aanvullend op de onderzoek in het HyDelta programma wordt aanbevolen om (bestaande) stations met (duidelijk) andere configuraties te onderzoeken alsmede stations met andere veel voorkomende typen regelaar.

Toelichting:

- Onderzocht is een installatie in een behuizing met een inhoud van ca. 0,5 m^3. Stations met een andere configuratie zijn onder andere installaties in een kaststation (2 bij 1 m) en een vrijstaand gebouw. Maar ook een hogedruk afleverstation HAS.
- Door onderzoek aan de meest voorkomende combinaties van configuraties en regelaars kan voor die combinaties het al dan niet optreden van resonanties worden vastgesteld.

Verder wordt aanbevolen:

- De oorzaak en het eventuele effect van de ruis van de uitlaatdruk nader te onderzoeken indien zich dit weer voordoet.
- Nader onderzoek te doen naar het functioneren van commandoventielen onder waterstofcondities.
- Nader onderzoek te doen naar het functioneren van veiligheidsafsluitkleppen onder waterstofcondities.

© Kiwa N.V.

I Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving / toelichting
L_{gas} (laag calorisch gas)	86 vol% methaan + 14% stikstof
Overdruk	Druk boven de atmosferisch druk (8 bar komt overeen met 9 bar absoluut)
m^3_n	Een m^3 bij 1013.25 mbar(a) en 0 ^{0}C
VA	Veiligheidsafsluiter
VAK	Veiligheidsafsluitklep
VAKAAN	Aan een regelaar gebouwde VAK
CH_4	Methaan
H_2	Waterstof. De testen zijn uitgevoerd met waterstof 5.0 (zuiverheid 99,999%)
PLEXOR	Testkoffer voor het uitvoeren van functionele testen van gasstations
Sluitdruk	Uitlaatzijdige druk van de regelaar bij naar nul gaand leveringsdebiet
Sluitdrukklasse (SK)	Maximale drukverhoging in procenten t.o.v. van de nominale uitgangdruk, die kan optreden bij naar nul gaand leveringsdebiet
Nauwkeurigheidsklasse (NK)	De nauwkeurigheid waarmee de VA of een VAK(AAN) in werking treedt.

© Kiwa N.V.

II Toegepaste componenten gasdrukregelstation

DISTRICTSTATION 1/2 m3 2"-4" (8bar > 100 mbar)		opmerking
bouwjaar	2020	zelfbouw RENDO
inlaatflens	2" DN 50	
inlaatleiding	2" (ST 60,3 X 3,2 mm)	
inlaatafsluiter	Kogelkraan DN 50 KSN 75 (fabrikant G-BEE)	2e veiligheid:
draaicilinder	AKP 75 (G-BEE)	
commandoventiel	stuurventiel SP-2000 LD, bereik 30-320 mbar (G-BEE)	
stoffilter	DN 50/50 - 150 (behuizing ST 168,3)	
filterelement	G 1 1/2"	
regelaar	W&S Regelaar type RS350	zie capaciteits-overzicht (onderaan)
	keuze uit klepgrootte 17,5, 22,5 of 27,5 mm (*)	
	aangebouwde veiligheidsafslagklep S100 MD	1e veiligheid:
	stuurdrukregelaar 300 SP 400	
uitlaatleiding	4" (ST 114,3 x 3.6 mm)	v= 20 m/s (bij 750 m3/h)
geluidsdemping	gerperforeerde buis (L = 30 cm)	
uitlaatafsluiter	vlinderklep EVML DN 100 (fabr. Wouter Witzel)	
uitlaatflens	4" DN 100	
diversen	W&S meetaansluiting LD-BMA 10	
	W&S meetaansluiting HD-BMA 04	
	W&S diagnoseaansluiting BDA 10	
	manometer 63 mm 0-10 bar	
	manometer 100 mm 0-250 mbar	
behuizing	RVS gaskast 1/2 m3 afm. 1000 x 500 x 1000 mm	
	RVS variabele fundatie 1/2 m3 kast	
	geluidsisolatie	

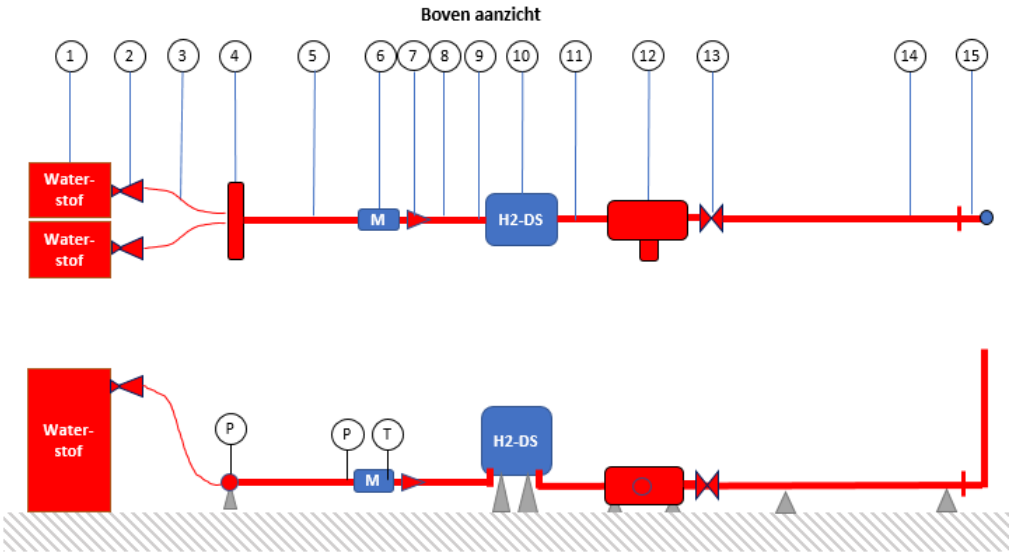
Capaciteitsoverzicht W&S regelaar in m3(n)/h			
Druk (bar)	klep 17,5	klep 22,5	klep 27,5
2	278	660	960
3	370	880	1280
4	463	1100	1600
5	555	1320	1920
6	648	1540	2240
7	740	1760	2560
8	833	1980	2880

(*) De regelaar was voorzien van een 22,5 mm klep.

© Kiwa N.V.

III Schema van de testopstelling

Een schematische voorstelling van de testopstelling is hieronder weergegeven met de benaming van de diverse onderdelen.



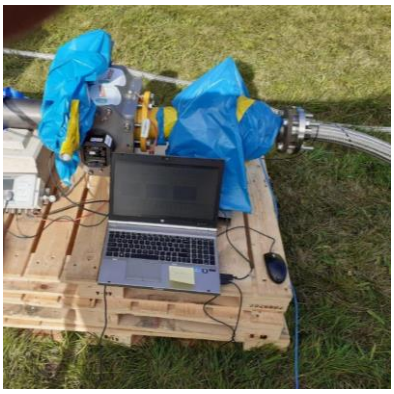
Pos nr.	Aantal	Omschrijving
1	2	Flessenpakket H2 of (CH4)
2	2	Reduceer - 200 bar - 8 bar - DN 25 (1") - Qmin 500 nm3/h
3	2	Slangen DN 25 (1")
4	1	Manifold DN 100 met 4 DN 25 (1") draadaansl. en DN 100 flensaansl.- PN 16
5	1	Pijpstuk DN 100 - PN 16 - L = 12 m
6	1	Rotormeter G250 met EVHI / Mass Flow Meter
7	1	Verloop DN 100 - DN 50
8	1	Slang met flenzen DN 50
9	1	Stalen bocht DN 50 met flensaansl. - PN 16
10	1	H2-DS
11	1	Stalen uitlaatpijpstuk DN 100 - PN 16 - L = 1 m
12	1	Stalen buffervat DN 400 L = 1,7 m - met header DN 50 met meetnippel 1/4" BSP
13	1	Regelafsluiter DN 100 - PN 16
14	1	PVC uitlaatleiding DN 100 - L = 50 m
15	1	Stalen afblaaspijp DN 100 met ondersteuning en mogelijkheid tot aarden

Opmerking:

- De inhoud van het buffervat (pos nr. 12) is ca. 0,2 m^3. De EN 334 schrijft voor dat de sluitdruk wordt bepaald met een leidinglengte van 10 x DN, waarbij DN de uitlaat diameter van de regelaar is. Omdat het hier een districtstation betreft is ervoor gekozen een grotere aan te houden.

Onderstaand enkele foto's van de testopstelling in de praktijk.

© Kiwa N.V.



© Kiwa N.V.

IV Berekening lekkage afsluiters

In deze bijlage is een tabel met de acceptatiecriteria (Table A.5) opgenomen uit NEN-EN12266-1-2012 *Industrial valves - Testing of metallic valves - Part 1: Pressure tests, test procedures and acceptance criteria - Mandatory requirements*.
Scope van de norm:
Deze Europese norm specificeert eisen voor testen, testprocedures en acceptatiecriteria voor productietesten van industriële kleppen gemaakt van metalen materialen. De gespecificeerde testen kunnen ook worden gebruikt als typetesten of acceptatietesten.

Daarnaast zijn de berekeningen van de lekkages opgenomen.

Table A.5 — Maximum allowable seat leakage for each leakage rate

Unit: mm^3/s

Test fluid	Rate A	Rate B	Rate C	Rate D	Rate E	Rate F	Rate G
Liquid	No visually detectable leakage for the duration of the test	0,01 × DN	0,03 × DN	0,1 × DN	0,3 × DN	1,0 × DN	2,0 × DN
Gas		0,3 × DN	3,0 × DN	30 × DN	300 × DN	3 000 × DN	6 000 × DN

NOTE 1 The leakage rates only apply when discharging to room temperature.

NOTE 2 Table A.1 shall be used to establish the equivalent DN number for those valves which are designated other than by DN.

NOTE 3 "No visually detectable leakage" means no visible weeping or formation of drops or bubbles. If leakage rate measurements are carried out by automatics means, this should be qualified by the manufacturer's quality system.

Berekening inwendige gasdichtheid van de inlaatafsluiter bij **aardgas**.

P start =	1089.9 mbar
P eind =	1103,4 mbar
Inhoud* =	13,0 dm^3

* Dit is de inhoud van de regelset vanaf inlaatafsluiter tot aan de uitlaatafsluiter.

$$Inwendige\ lekkage\ = 13{,}0 - \frac{1089{,}9 * 13{,}0}{1103{,}4} = 0{,}16\ dm^3\ /\ 60\ s = 44{,}3\ mm^3/s$$

© Kiwa N.V.

Berekening inwendige gasdichtheid van de uitlaatafsluiter bij **aardgas**.

P start =	1018.5 mbar
P eind =	1120,7 mbar
Inhoud* =	214,5 dm^3

* Dit is de inhoud vanaf de uitlaatafsluiter van de regelset tot aan de regelafsluiter (pos. nr. 13 op het schema in bijlage III).

$$Inwendige\ lekkage\ = 214{,}5 - \frac{1018{,}5 * 214{,}5}{1120{,}7} = 0{,}46\ dm^3\ /\ 60\ s = 126{,}5\ mm^3/s$$

Berekening inwendige gasdichtheid van de inlaatafsluiter bij **waterstof**.

P start =	1089.9 mbar
P eind =	1107,9 mbar
Inhoud* =	13,0 dm^3

* Dit is de inhoud van de regelset vanaf inlaatafsluiter tot aan de uitlaatafsluiter.

$$Inwendige\ lekkage\ = 13{,}0 - \frac{1089{,}9 * 13{,}0}{1107{,}9} = 0{,}21\ dm^3\ /\ 60\ s = 58{,}8\ mm^3/s$$

Berekening inwendige gasdichtheid van de uitlaatafsluiter bij **waterstof**.

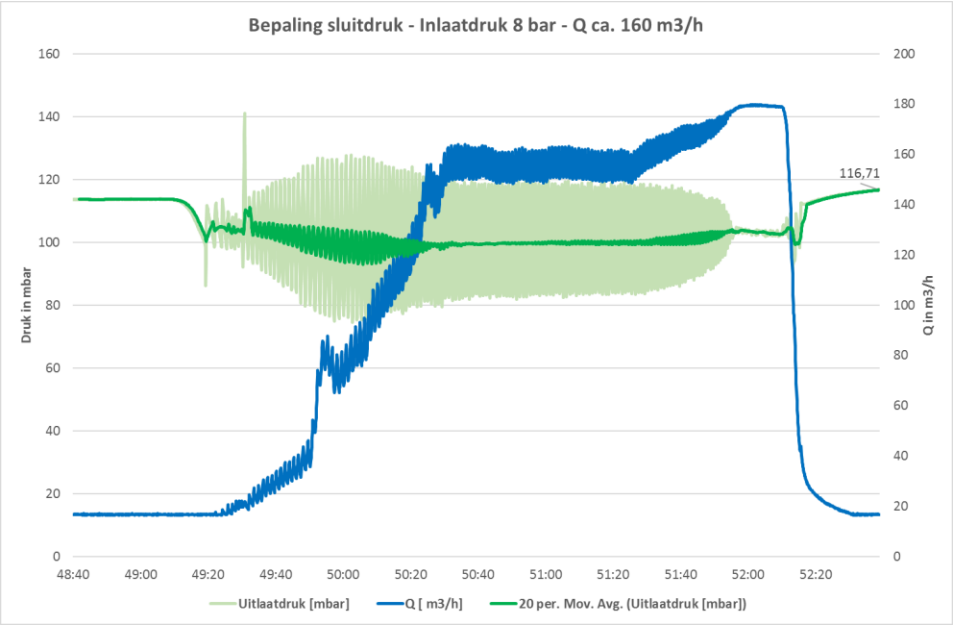
P start =	1018.3 mbar
P eind =	1119,0 mbar
Inhoud* =	214,5 dm^3

* Dit is de inhoud vanaf de uitlaatafsluiter van de regelset tot aan de regelafsluiter (pos. nr. 13 op het schema in bijlage III).

$$Inwendige\ lekkage\ = 214{,}5 - \frac{1018{,}3 * 214{,}5}{1119{,}0} = 0{,}14\ dm^3\ /\ 60\ s = 39{,}0\ mm^3/s$$

© Kiwa N.V.

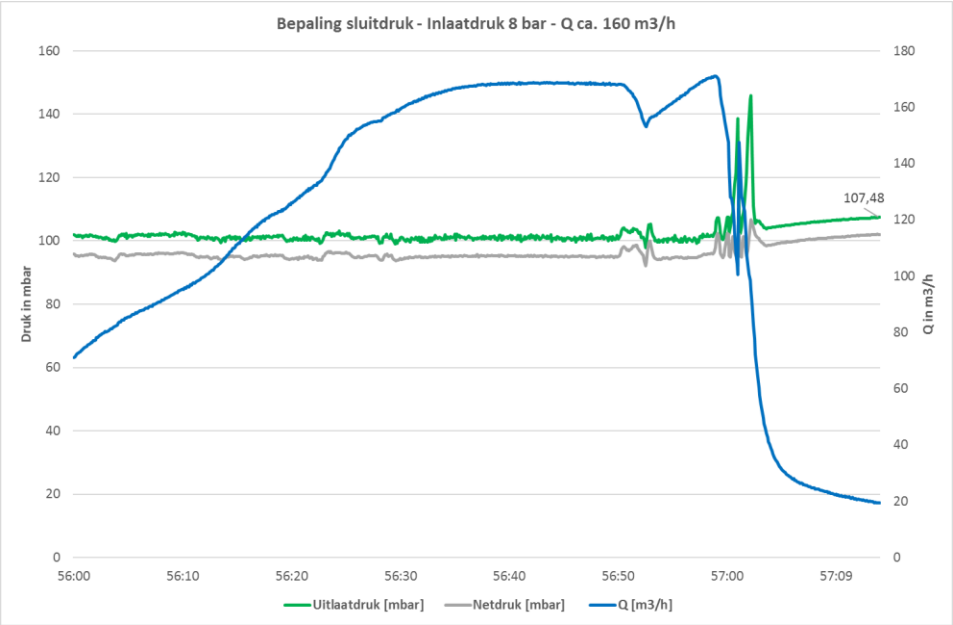
V Grafieken bepalen sluitdruk aardgas



Test 1: Bepaling sluitdruk aardgas

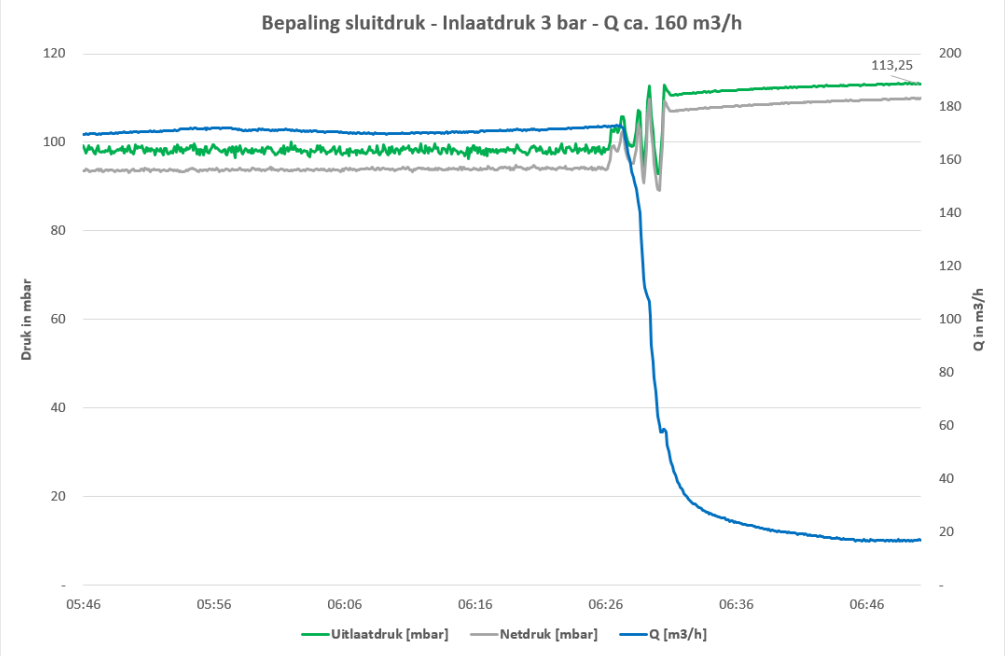
Toelichting:

- De **blauwe** lijn is het debiet.
- De **groene** lijn is de uitlaatdruk op de header van het station. Deze lijn is opgebouwd over het gemiddelde uit 20 metingen (= 2 seconden). De licht **groene** lijn is de gemeten waarde per 0,1 seconde.
- De **grijze** lijn is de 'netdruk', de druk gemeten waarde per 0,1 seconde bij het buffervat DN 400. Bij test 1 is deze lijn overschaduwd.

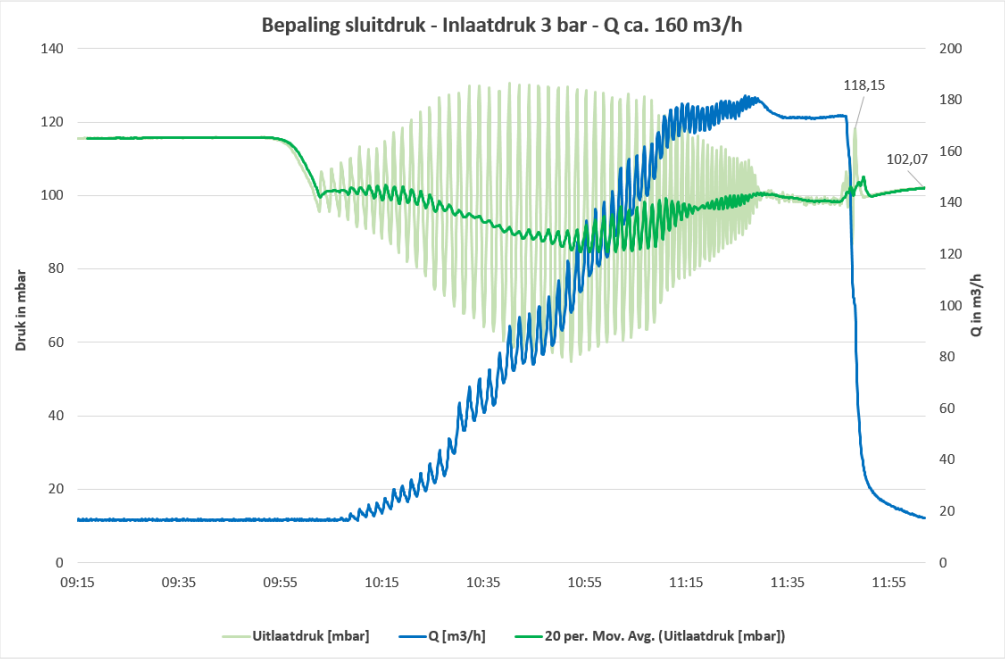


Test 2: Bepaling sluitdruk aardgas

© Kiwa N.V.



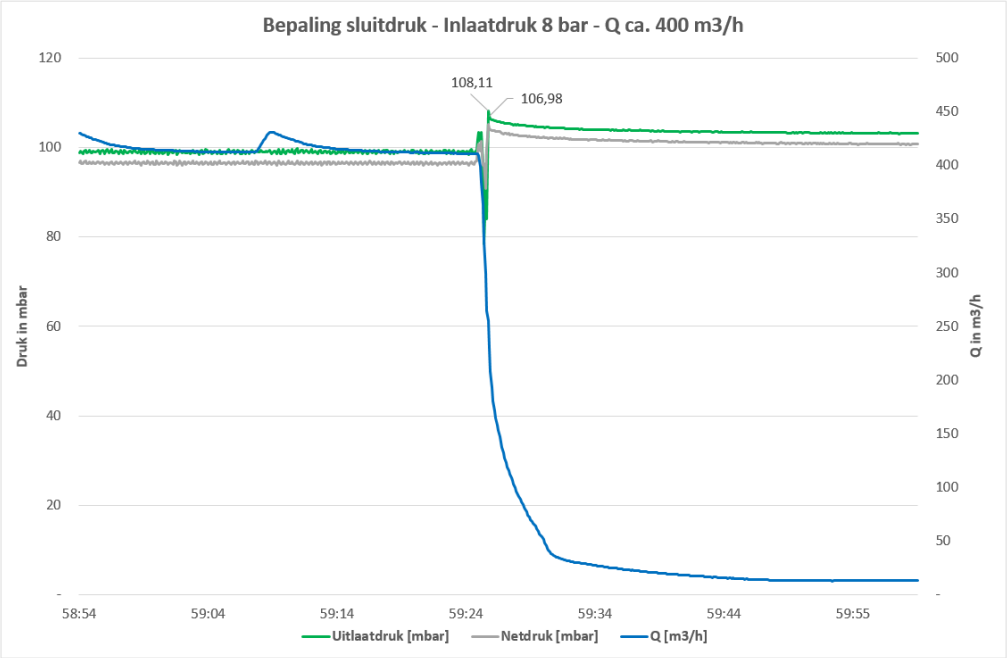
Test 3: Bepaling sluitdruk aardgas



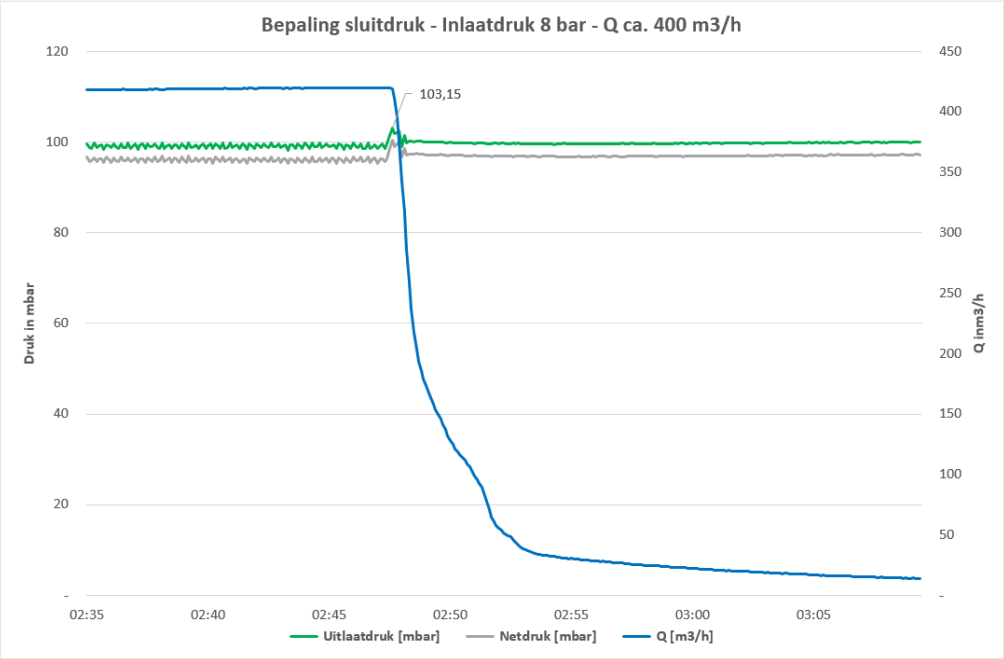
Test 4: Bepaling sluitdruk aardgas

© Kiwa N.V.

VI Grafieken bepaling sluitdruk waterstof

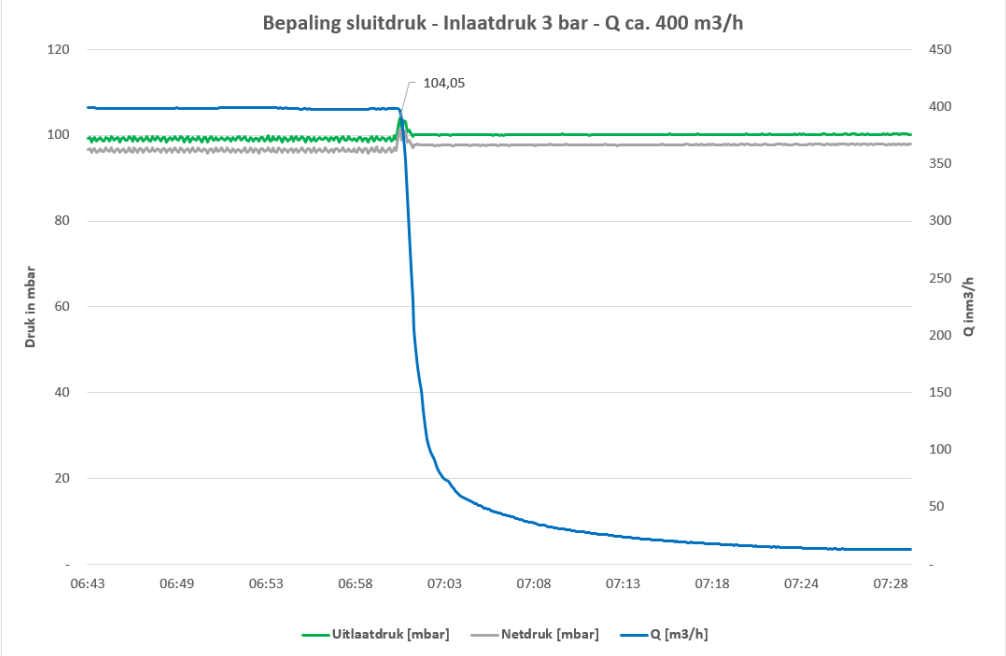


*Test 1: Bepaling sluitdruk **waterstof***

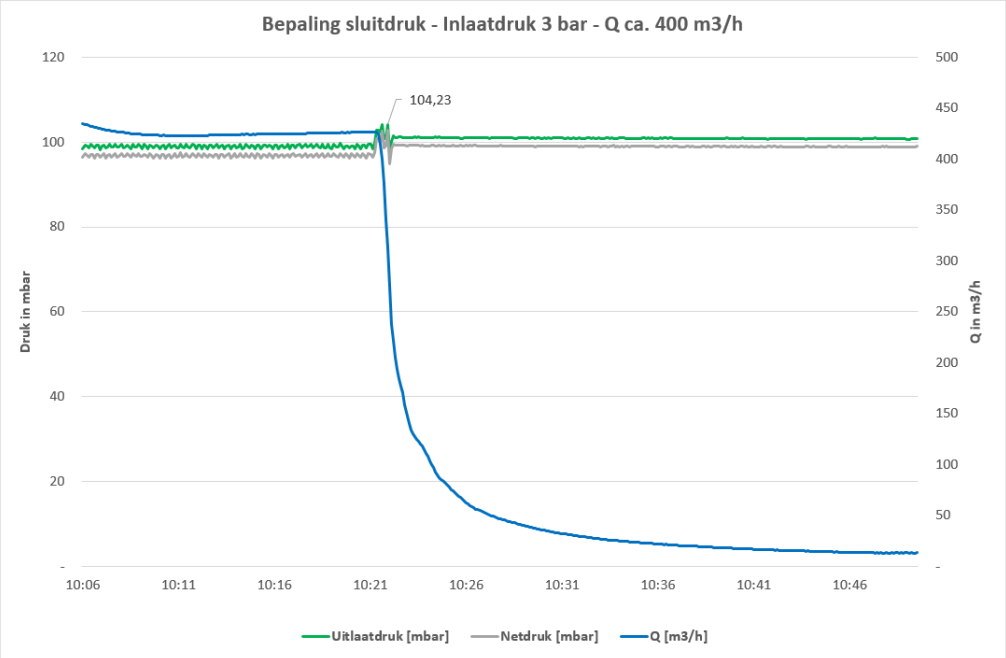


*Test 2: Bepaling sluitdruk **waterstof***

© Kiwa N.V.



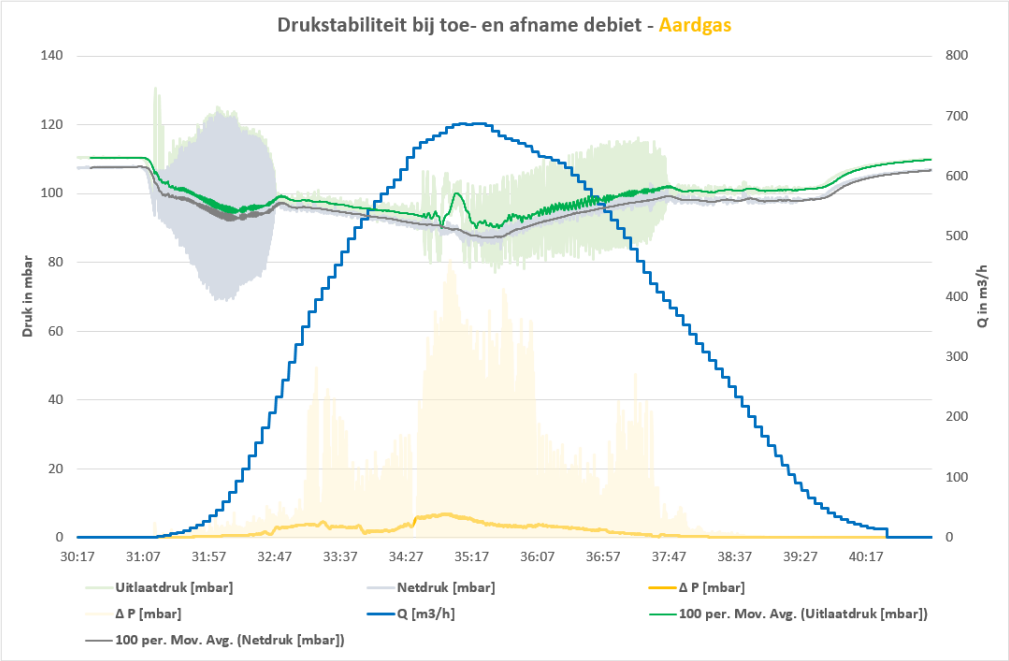
Test 3: Bepaling sluitdruk ***waterstof***

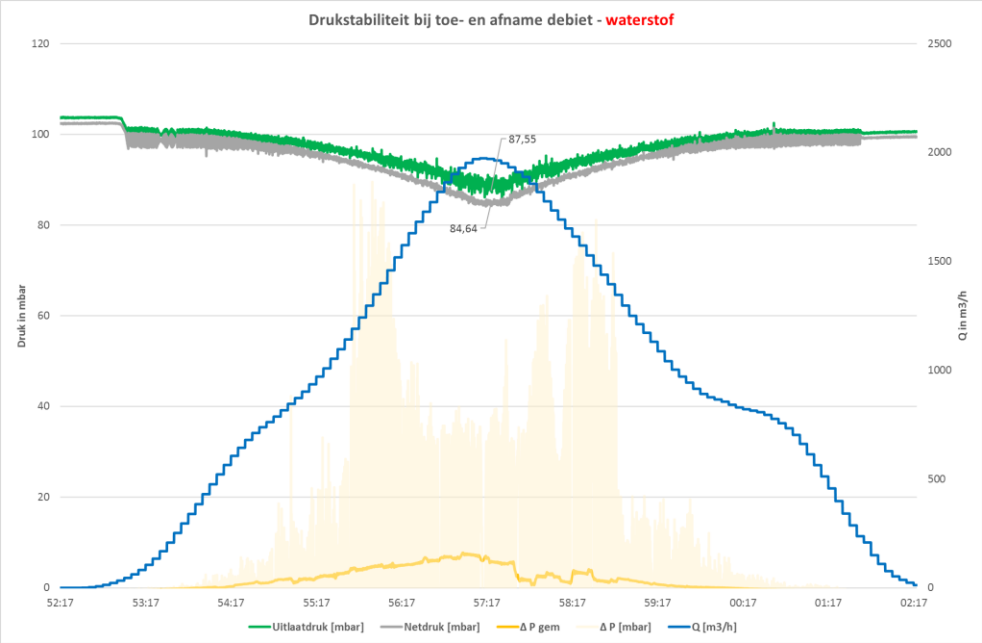


Test 4: Bepaling sluitdruk ***waterstof***

© Kiwa N.V.

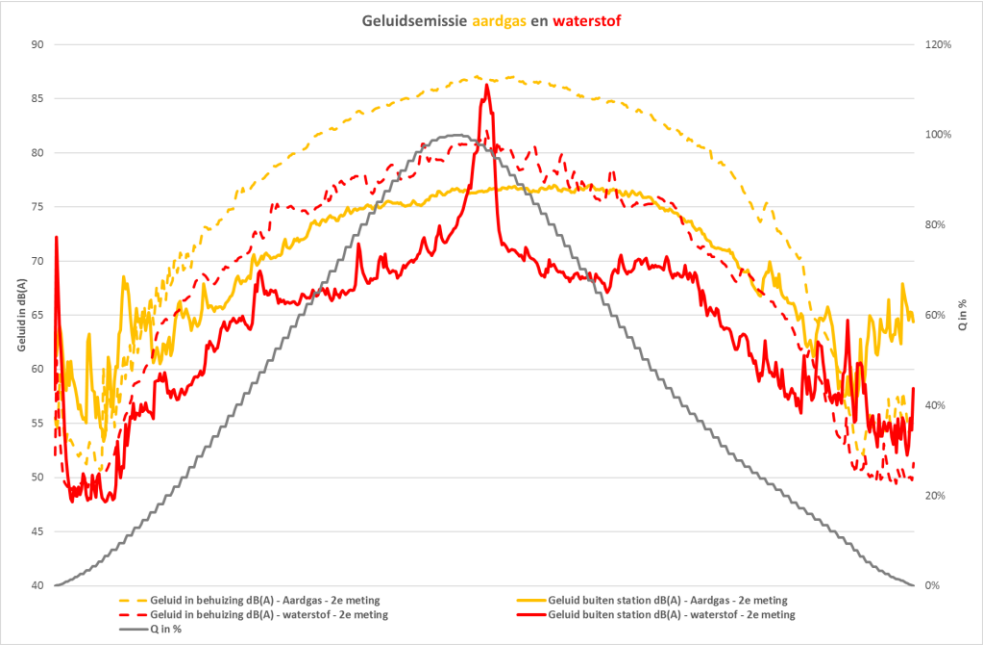
VII Grafiek drukstabiliteit (tweede meting)





© Kiwa N.V.

VIII Grafiek geluidsemissie (tweede meting)

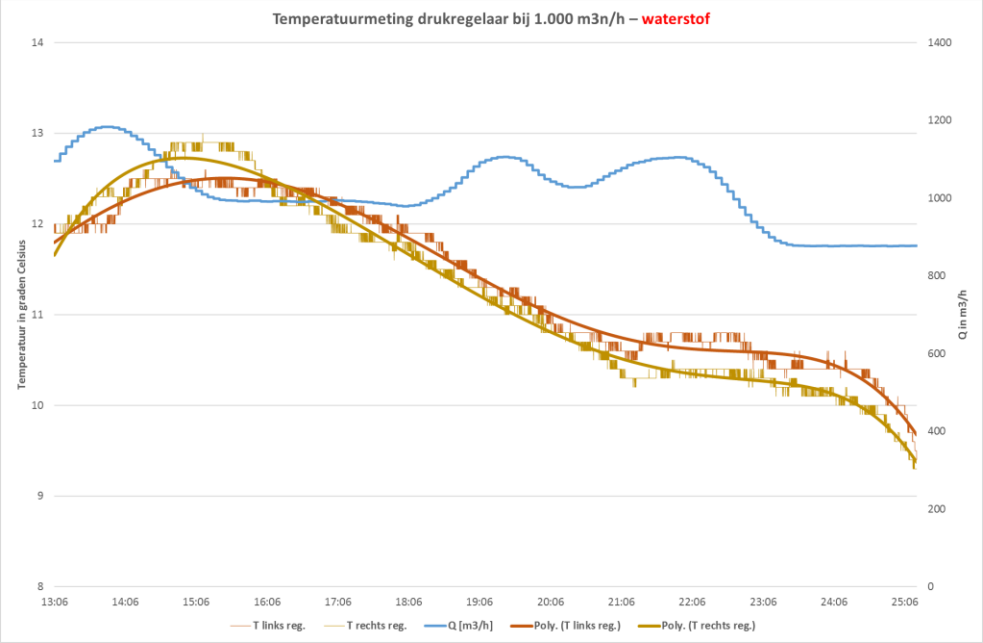


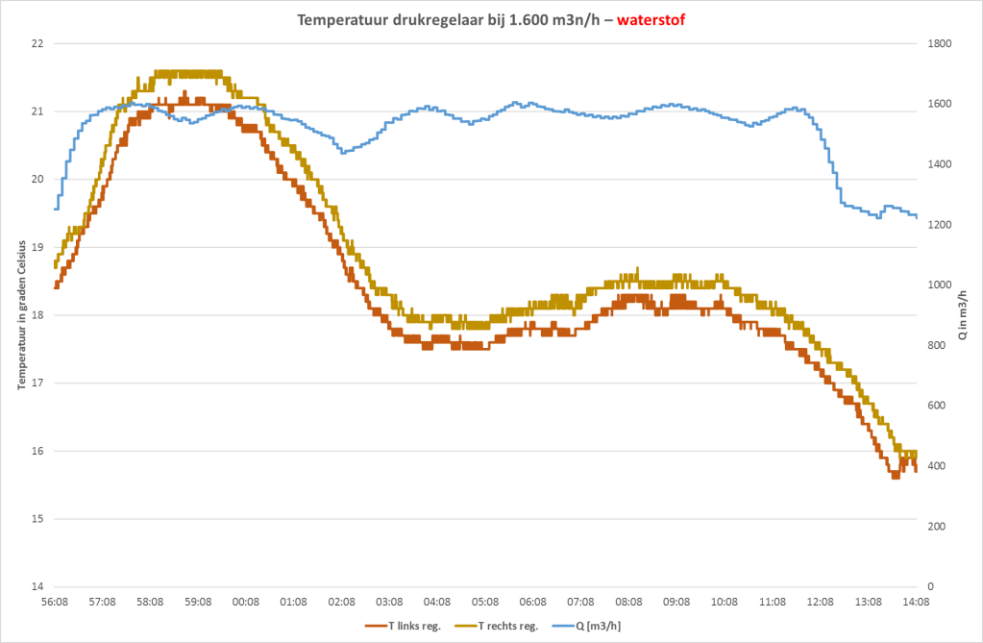
Opmerkingen:

- Het wat hakkelend verloop van het debiet is veroorzaakt doordat per vijf seconden een waarde werd opgeslagen.
- Het debiet is in percentage aangegeven zodat de geluidsemissie van **aardgas** en **waterstof** gemakkelijker met elkaar kunnen worden vergeleken.
- De pieken met name aan het begin en eind van de meting zijn veroorzaakt door omgevingslawaai. Het geluid van de omgeving overheerst dan het geluid van het gasdrukregelstation.
- De piek bij **waterstof** wordt (ook) duidelijk veroorzaakt door omgevingslawaai, immers in de behuizing treedt deze piek niet op.

© Kiwa N.V.

IX Grafiek temperatuurmeting drukregelaar





© Kiwa N.V.

X Trillingen en pulsaties

TNO innovation for life

DS1 DISTRICTSTATION: AARDGAS VS. WATERSTOF
GELUID, TRILLINGEN EN PULSATIES| PIETER VAN BEEK

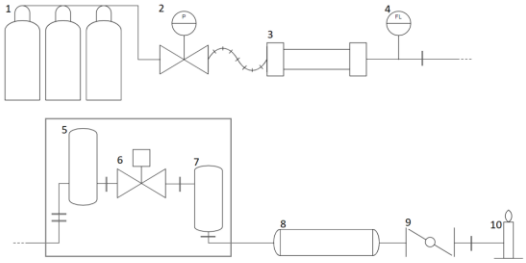
INTRODUCTIE

- In een project voor Netbeheer NL doet Kiwa onderzoek naar de invloed van waterstof t.o.v. aardgas op het gedrag van de componenten van een districtstation (gasdrukreduceer- en distributiestation).
- In het station wordt de druk gereduceerd van 8 barg naar ~100 mbarg.
- Voor dit onderzoek is een testopstelling gebouwd, waarbij de het station gevoed wordt met of aardgas of waterstof.
- TNO heeft de gelegenheid gekregen om parallel aan de metingen van Kiwa ook metingen te doen.
- De metingen van TNO zijn hoofdzakelijk gericht op het evt. veranderde akoestisch en dynamisch gedrag van het system, ten gevolge van waterstof, dat een veel lagere dichtheid en molgewicht heeft:
  - Lage dichtheid: hoge gassnelheid bij gelijkwaardig massadebiet
    (Bij de tests is gestreefd om een debiet met een gelijkwaardig hoeveelheid verbrandingsenergie te transporteren).
  - Laag molgewicht: hoge geluidsnelheid.

TNO innovation for life 2

MEETPROGRAMMA

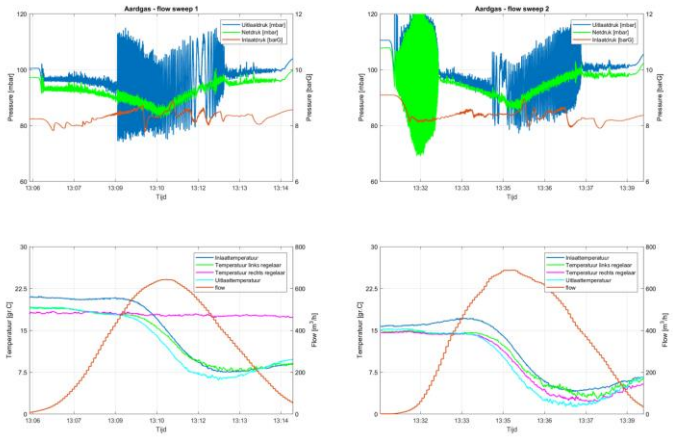
- TNO heeft metingen verricht bij de volgende tests:
  - 2 runs met een flow sweep van aardgas (0 → max debiet → 0).
  - 2 runs met een flow sweep van waterstof (0 → max debiet → 0).
- Tijdens de tests zijn door Kiwa o.a. de temperaturen, drukken en debiet gemeten.
- Schematisch zag de meetopstelling er als volgt uit:



1	Gas cylinders	200 barg
2	Pressure reducer, manually adjusted	200 to ± 8 barg
3	12 m steel pipe	8 barg
4	Flow meter	8 barg
5	Filter	8 barg
6	Pressure reducer	8 to 0.1 barg
7	Damper	0.1 barg
8	Damper / boundary condition	0.1 barg
9	Butterfly valve	0.1 barg
10	Flare	0 barg

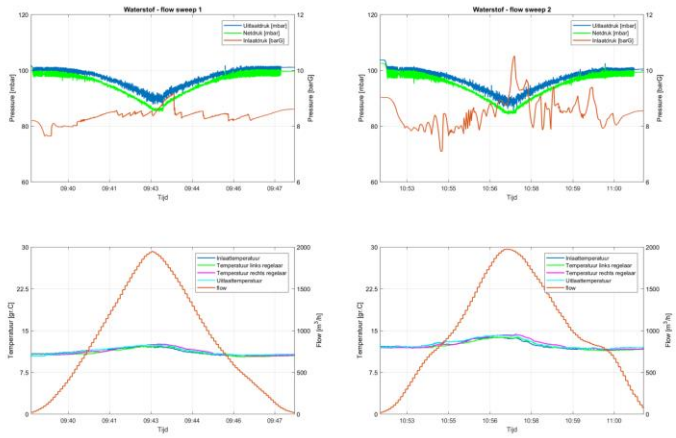
TNO innovation for life 3

MEETPROGRAMMA – PROCESS CONDITIES



TNO innovation for life 4

MEETPROGRAMMA – PROCESS CONDITIES

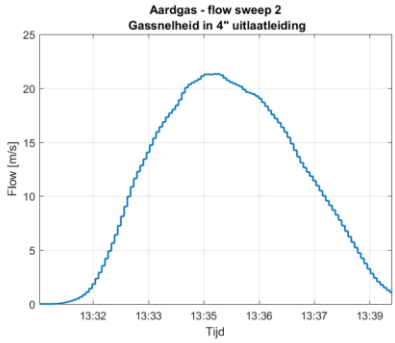


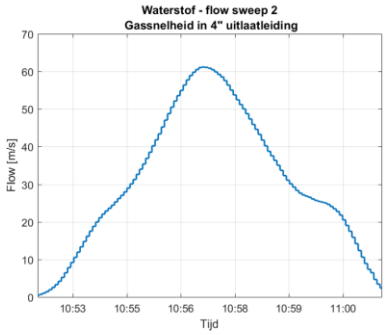
TNO innovation for life 5

© Kiwa N.V.

MEETPROGRAMMA

- Het waterstof volumedebiet was tijdens de tijdens de tests bijna 3x hoger dan aardgas. Hierdoor was de gassnelheid ook 3x hoger, met snelheden tot ruim 60 m/s.

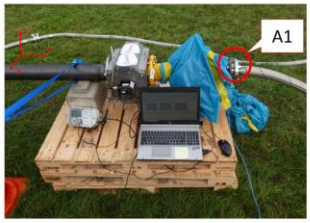




TNO innovation for life 6

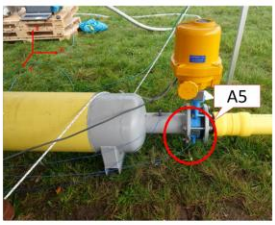
MEETLOCATIES

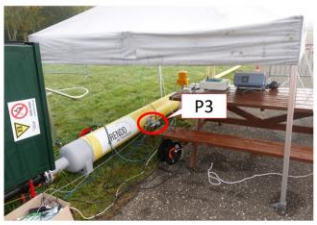
- TNO heeft het volgende gemeten:
  - Trillingen (A), 5 locaties & 3 richtingen per locatie.
  - Pulsaties (P), 3 locaties.
  - Geluid (N), 2 locaties (in districtstation en op ongeveer 1m afstand).
- De meetsignalen zijn continu opgenomen, op een sample frequentie van 20kHz.

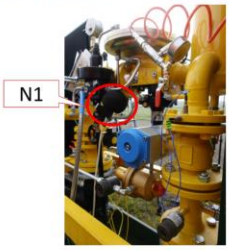


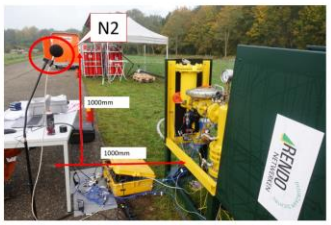
TNO innovation for life 7

MEETLOCATIES





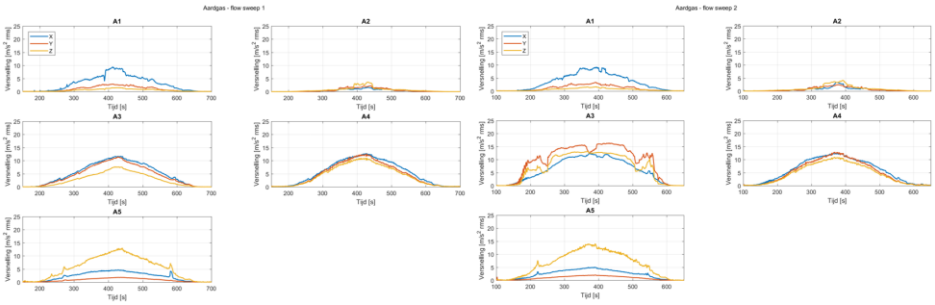




TNO innovation for life 8

MEETRESULTATEN – TRILLINGEN

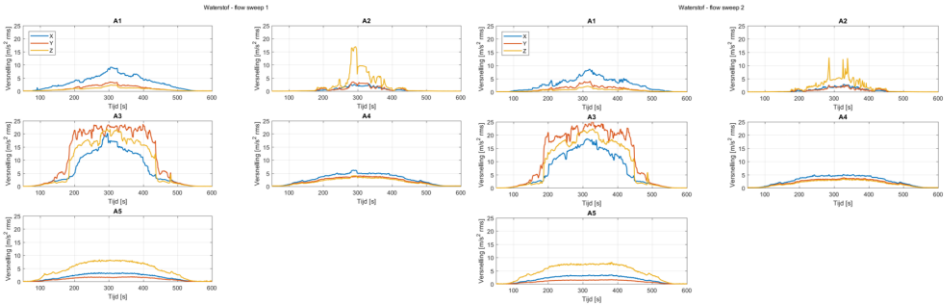
- Overall versnellingen op A1 t/m A5 in m/s^2 tijdens de aardgas tests: rms (root mean square) waarde per seconde.



TNO innovation for life 9

MEETRESULTATEN – TRILLINGEN

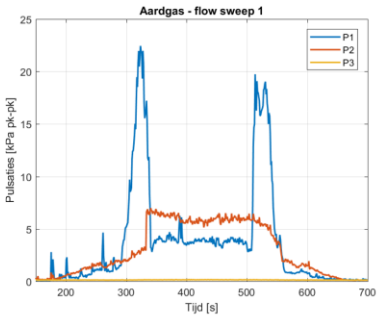
- Overall versnellingen op A1 t/m A5 in m/s^2 rms tijdens de waterstof tests.

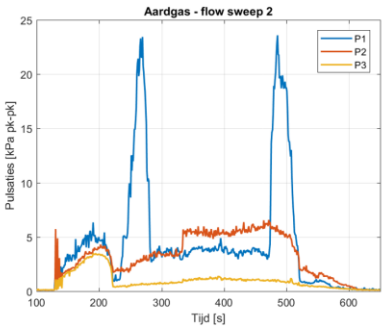


TNO innovation for life 10

MEETRESULTATEN – PULSATIES

- Overall pulsaties op P1 t/m P3 in kPa tijdens de aardgas tests: pk-to-pk waarde per seconde.
  De opslingering bij P1 wordt veroorzaakt door een lokale, akoestische resonantie in de meetbuis.



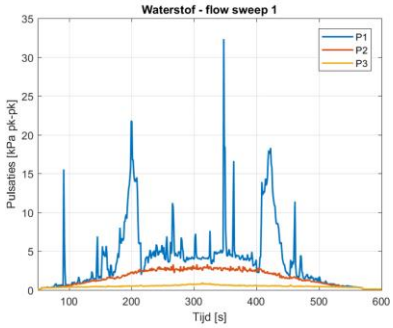


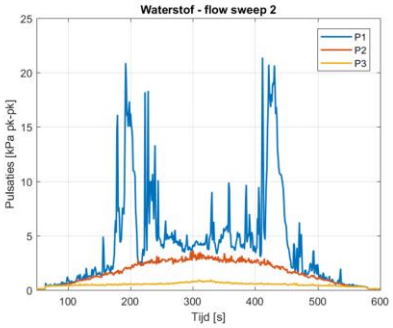
TNO innovation for life 11

© Kiwa N.V.

MEETRESULTATEN – PULSATIES

- Overall pulsaties op P1 t/m P3 in kPa rms tijdens de waterstof tests.

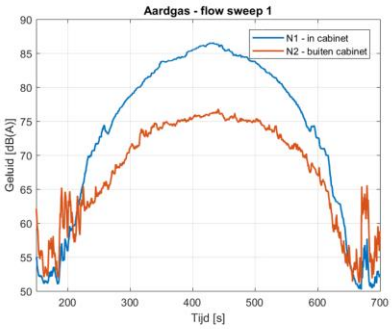


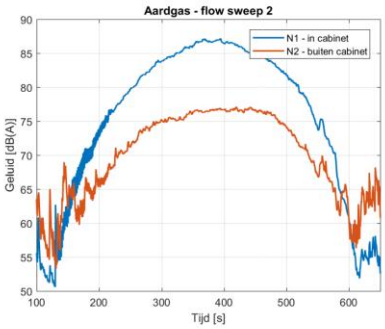


TNO innovation for life 12

MEETRESULTATEN – GELUID

- Overall geluidniveau op N1 en N2 in dB(A) tijdens de aardgas tests.

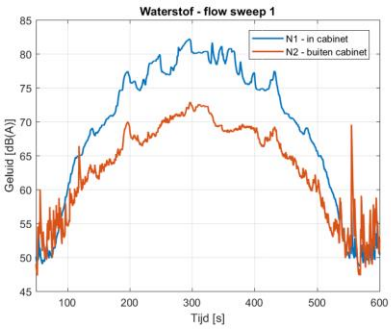


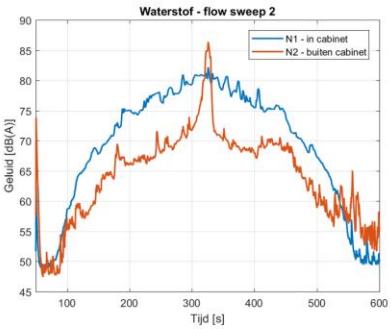


TNO innovation for life 13

MEETRESULTATEN – GELUID

- Overall geluidniveau op N1 en N2 in dB(A) tijdens de waterstof tests.
  Let op: piek in geluid op microfoon N2 bij max. flow veroorzaakt door externe bron (op geen enkel ander signaal zichtbaar).



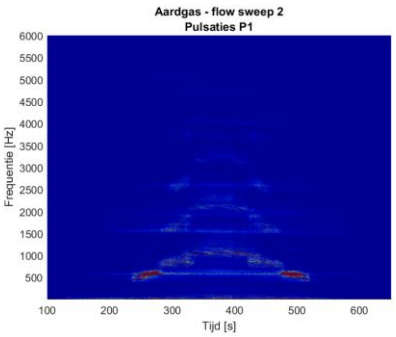


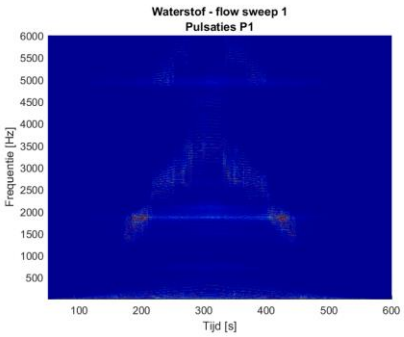
TNO innovation for life 14

© Kiwa N.V.

MEETRESULTATEN – FREQUENTIESPECTRA

- Enkele karakteristieke frequentiespectra (spectrogrammen) van de pulsaties tijdens de tests.
  De opslingering bij 600Hz en 1900Hz voor resp. aardgas en waterstof komt overeen met een lokale resonantie in de meetbuis (kwart-golflengte resonantie van een eenzijdig afgesloten zijtak).

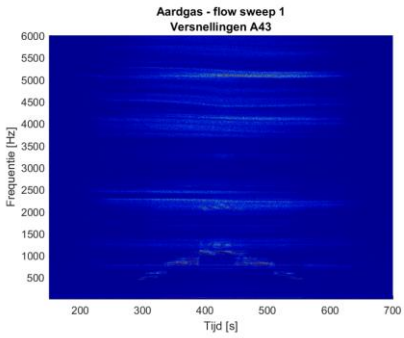


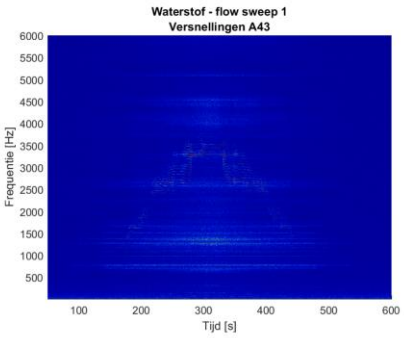


TNO innovation for life 15

MEETRESULTATEN – FREQUENTIESPECTRA

- Enkele karakteristieke frequentiespectra (spectrogrammen) van de trillingen tijdens de aardgas tests.

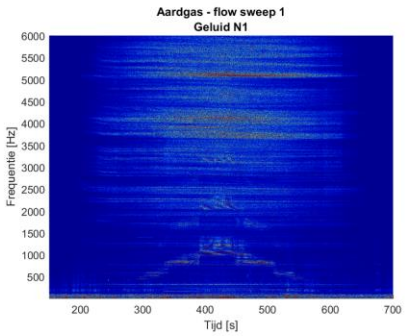


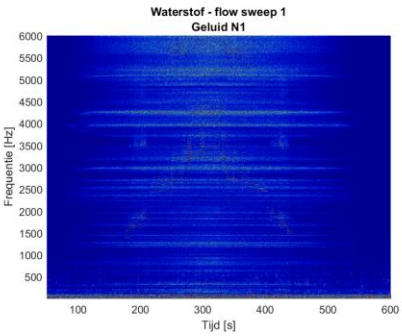


TNO innovation for life 16

MEETRESULTATEN – FREQUENTIESPECTRA

- Enkele karakteristieke frequentiespectra (spectrogrammen) van het geluid tijdens de aardgas tests.





TNO innovation for life 17

© Kiwa N.V.

BEVINDINGEN UIT DE TESTS

- Hoge gassnelheden tot > 60 m/s in de 4 inch uitlaatleiding tijdens de waterstof tests.
  Let op: direct na de klep lokaal nog hogere snelheden, want daar is de diameter < 4 inch.
- Over het algemeen zijn de overall niveaus van de trillingen, pulsaties en het geluid voor beide situaties gelijkwaardig.
  - Het geluidproductie neemt dus niet toe bij waterstof.
  - Bij de waterstof tests varieerde de inlaatdruk veel meer, waardoor er ook meer variatie op de meetsignalen was, met name aan de inlaat zijde (zie bijv. P1).
  - De condities aan de uitlaatzijde waren tijdens de waterstof tests juist stabieler.
  - De trillingen in de uitlaatleiding zijn bij de waterstof tests iets lager.
  - Resultaten meetlokatie A3 niet altijd betrouwbaar. Dit komt waarschijnlijk door zeer hoogfrequente bijdragen (>>10kHz) door lokaal zeer hoge gassnelheden en in de regelklep. Dit kan voor verstoringen van het meetsignaal zorgen.
- De frequentie-inhoud bij de waterstof test is anders dan bij de aardgas tests: er is meer bijdrage van hoogfrequente, tonale componenten. Dit komt met name door de lagere dichtheid / hoge gassnelheid en de hogere geluidsnelheid van waterstof.
- Bij de waterstof tests bleef de temperatuur constanter dan bij de aardgas tests. Dit komt door de verschillen bij de vulling vanuit hoge druk flessen.

TNO innovation for life 18

XI Incident door resonanties

Onderstaand de samenvatting van een incident door resonanties in Duitsland gepubliceerd in GWF Gas+Energie van april 2020: *"Wasserstoff in Erdgasanlagen. Schwingungstechnische Aspekte und Lösungen zum Betrieb."*

Trillingen in gasstations door waterstof

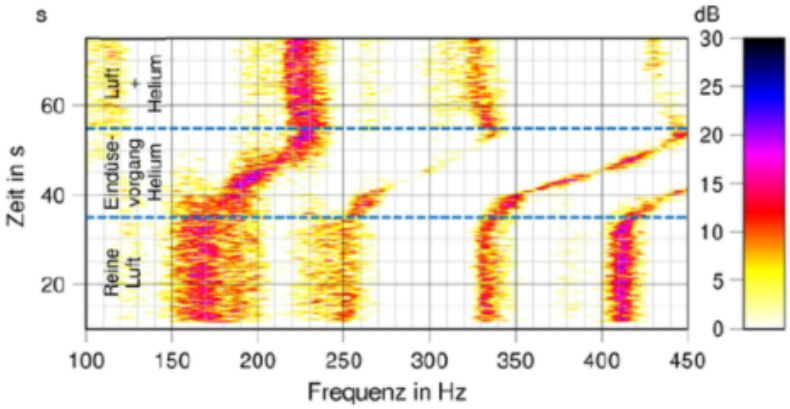
Risico's kunnen ontstaan wanneer akoestische trillingen samenvallen met de eigenfrequentie van het station.

Michiel van der Laan, oktober 2020.
Naar verwachting zal in de toekomst steeds meer waterstof worden gedistribueerd in de Duitse gasnetwerken. Er zijn nog veel vragen te beantwoorden over bijvoorbeeld het materiaalgedrag en de lekdichtheid van de bestaande infrastructuur bij de toepassing van waterstof. Een onderwerp dat nog niet zo veel aandacht heeft gekregen is het trillingsgedrag van waterstof in gasstations. In Duitsland heeft dit meer aandacht. Dat komt onder andere door een ongeval uit 2002 waarbij een aardgas hogedrukleiding in een verdeelstation brak met een grote gasbrand tot gevolg. De waarschijnlijke oorzaak was dat de bouten van een flensverbinding zijn losgeraakt door trillingen. Het bedrijf Kötter Consulting Engineers (KCE) heeft sindsdien veel onderzoek gedaan aan trillingen in stations. Er ontstaat een risico wanneer akoestische trillingen samenvallen met de mechanische natuurlijke frequenties (resonantie) van het station.

Trillingsinvloed door waterstof

Dit artikel is een samenvatting van het artikel "Wasserstoff in Erdgasanlagen. Schwingungstechnische Aspekte und Lösungen zum Betrieb." uit GWF Gas+Energie van april 2020.

Bij de overstap van aardgas naar een mengsel van aardgas en waterstof of naar 100% waterstof in bestaande aardgasinfrastructuur, moet aandacht geschonken worden aan het trillingsgedrag van stations.
Door het lage molecuulgewicht van de waterstof die aan het aardgas wordt toegevoegd, verandert de geluidssnelheid van het gas aanzienlijk. Dit verandert ook de akoestische omstandigheden in de pijpleidingen en de voorwaarden voor akoestische resonantie. KCE heeft in haar laboratorium een leidinggedeelte met een luidspreker blootgesteld aan diverse mogelijke omgevingsgeluiden. Bij de gemeten drukschommelingen binnen het buisgedeelte worden "staande golven" gevormd, die als frequenties met verhoogde amplitudes in het spectrum zichtbaar zijn. De positie van deze individuele frequenties wordt voornamelijk beïnvloed door de geometrie (afstand tussen de reflectiepunten) van de pijpleiding en de geluidssnelheid van het medium. Door 10% waterstof aan het aardgas toe te voegen, veranderen de akoestische frequenties in het systeem. Wanneer deze samenvallen met de eigenfrequentie, kunnen resonantietrillingen niet worden uitgesloten. Afhankelijk van het type systeem worden verschillende procedures aanbevolen om ervoor te zorgen dat het gasstation vanuit trillingsoogpunt probleemloos werkt.



Figuur 1. Metingen aan gasstations bij verschillende gassen (in dit geval lucht en helium). De trillingsfrequentie is afhankelijk van de gebruikte gassen.

Voorgestelde acties

De auteurs van het artikel stellen een aantal acties voor. Bij nieuwe stations zou een pulsatiestudie uitgevoerd moeten worden om de individuele akoestische frequenties en de eigenfrequenties van de constructie te berekenen. Met de invloed van waterstof kan tot in detail rekening worden gehouden en kan het systeem zo worden opgezet dat er geen problemen ontstaan.
Voor bestaande gasstations waardoor in de toekomst aardgas een verhoogd aandeel waterstof wordt getransporteerd, is online monitoring van de trillingen aan te bevelen. Er wordt gezocht naar een pilotproject om de effectiviteit van de trillingsmonitoring aan te tonen.

Geplaatst op: 19-10-2020

© Kiwa N.V.

XII HyDelta werkpakket Gasstations

In het kader van de HyDelta werkpakketten is ook een werkpakket Gasstations opgenomen. Daarin wordt onderzoek gedaan op basis van de volgende onderzoeksvragen:

Bestandheid materialen:

- Kunnen de weke delen van de in de aardgasdistributie toegepaste regelaars en veiligheden in vergelijking met waterstof negatief worden beïnvloed als wordt overgegaan naar distributie van waterstofgas? (NBN, vraag. 207)
  Opmerking: dit is in onderhavig onderzoek niet onderzocht.

Werking station:

- Zijn de huidige stations geschikt voor het veilig reduceren van waterstofgas (station in zijn geheel)?' (NBN, vraag. 206)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek onderzocht voor één configuratie en één type regelaar.
- Welke effecten heeft het verhogen van de snelheid op de complete werking van het station? (NBN, vraag. 213)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek onderzocht voor één configuratie en één type regelaar.
- Zijn aanpassingen aan de behuizing noodzakelijk voor een veilig gebruik met waterstof en zo ja, welke? (ventilatie & aarding) (NBN, vraag. 212)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek niet onderzocht.
- In hoeverre heeft de hogere snelheid van waterstof effect op het gedrag in leidingen en meet- en regelstations? (geluid, stof en vuil in de leiding, lekken, wrijving bij uitstroom en daardoor kans op ontbranding?) (NBN, vraag. 71)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek niet onderzocht.

Veilig werken aan en met stations op waterstof:

- Welke beheersmaatregelen (VWI) zijn noodzakelijk om een station in en uit bedrijf te nemen? (NBN, vraag. 208)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek niet onderzocht.
- Kan op een veilige manier de druk vereffend worden indien een veiligheidsrisico is ontstaan? (NBN, vraag. 209, onderdeel van vraag 208)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek niet onderzocht.
- Is er een noodzaak voor een intensievere inspectie van filters in gasdrukregelstraten? Dit onderdeel gaat specifiek over filters: de verhoogde gassnelheid kan er toe leiden dat meer vuil wordt meegevoerd en dit kan tot een grotere belasting van de filters leiden (NBN, vraag. 173)
  Opmerking: dit is bij dit onderzoek niet onderzocht.

© Kiwa N.V.

kiwa