

# HyDelta

## **WP 1B Gasstations**

D1B.3a vraagnummer 212 – Ventilatie

Status: final

## Document samenvatting

### Corresponderende auteur

Corresponderende auteur	Ir. Sander van Woudenberg
Verbonden aan	KIWA Technology B.V.
Email adres	sander.van.woudenberg@kiwa.com

### Document historie

Versie	Datum	Auteur	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzingen
1	01-Nov-2021	Sander van Woudenberg	Kiwa Technology BV	Eerste versie; concept
2	17-Jan-2022	Sander van Woudenberg	Kiwa Technology BV	Tweede versie; verwerking commentaar
3	18-Feb-2022	Sander van Woudenberg	Kiwa Technology BV	Derde versie; verwerking commentaar en toevoeging ATEX
4	24-Mrt-2022	Sander van Woudenberg	Kiwa Technology BV	Vierde versie; verwerking commentaar
5	19-Apr-2022	Sander van Woudenberg	Kiwa Technology BV	Vijfde versie; verwerking commentaar
6	25-Apr-2022	Sander van Woudenberg	Kiwa Technology	Zesde versie; finale versie

### Verspreidingsniveau

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

### Document beoordeling

Partner	Naam
Kiwa Technology BV	Rob van Aerde
Enexis	Raymond van Hooijdonk/ John Voogt
Rendo	Johan Jonkman
Alliander	Peter Versteegen
Stedin	Ricardo Verhoeve
Gasunie	Steffen Elgersma
NBNL, Gasunie, Kiwa, DNV, TNO, NEC	HyDelta Supervisory Group

## Executive summary

As part of the national research program HyDelta, specific research has been performed to assess the role of ventilation in gas cabinets which are placed over a gas pressure reducing and metering station. This research as described in this report is part of the work package 1B “Gasstations” and involves research question 212/ D1B.3a which is described as; is the safety level for a gas cabinet (involving ventilation) the same for natural gas in comparison with hydrogen and to what extend are modifications required?

The goal of this research is to examine whether standardized gas cabinets overhauling gas pressure reducing metering stations and which are currently applied in the urban environment, are also suitable when these would be applied for hydrogen. This research question has been examined by measuring what gas concentration will exist when a predefined leakage is introduced in two different gas cabinets. In order to do so, two different gas cabinet configurations (1/2m<sup>3</sup> and 4m<sup>3</sup> gas cabinets) have been made available by Enexis (on behalf of the DSO’s). In both configurations, the gas pressure reducing and metering station was positioned to mimic the situation in the field as realistically as possible. Via a separate inlet, the defined gas leak (of either natural gas or hydrogen) was introduced in the gas cabinet. During the tests, the dilution of the natural gas (or hydrogen) mixture and the transportation of gas was studied in relation to the ventilation. During all the tests, the gas concentrations have been measured inside and outside the gas cabinet.

Determining a representative gas leakage (for natural gas) has been a challenging exercise. A representative leakage is dependent on different factors including the configuration of the gasstation, the age of the installation and the maintenance scheme which it has had during its lifespan. By odorization, natural gas is smellable when the gas concentration is exceeding 10.000 ppm (1 vol%). Eventually, a leak opening of 1mm<sup>2</sup> was chosen (mentioned in an annex of the NEN 1059; 2019). Since a gasstation can operate at different pressures, five leak rates have been defined as reference points for this research bearing in mind to cover a clear, wide ranged comparison between the behavior of natural gas and hydrogen. For natural gas, the leak rates varied between 0,1 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h and 7,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h whereas for hydrogen, these were varied between 0,2 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h and 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. It shall be noted that the volumetric leak rate for hydrogen at a predefined leak opening is 1,2 to 3 times larger than natural gas, dependent on the pressure of the upstream system.

The most important data of the tests for the 1/2m<sup>3</sup> and the 4m<sup>3</sup> gas cabinet have been compiled in the two graphs below. It shall be noted that the volumetric leak rate on the x-axis is decreasing in size. Furthermore, the definition of “lekdebiet 1” on the x-axis is representing 7,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h natural gas as well as 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h hydrogen. This consideration holds for all other leak rates in the graph.

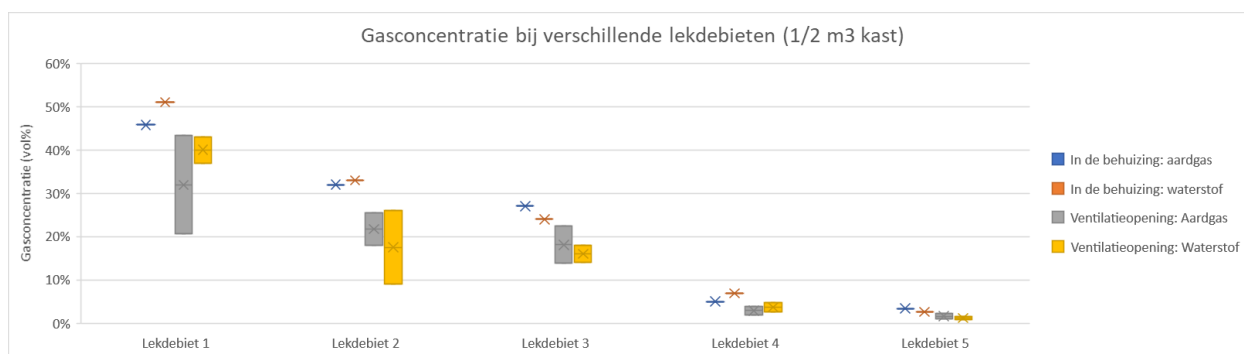


Figure 1. Gas concentration (vol%) at different volumetric leak rates for natural gas and hydrogen in a 1/2m<sup>3</sup> gas cabinet

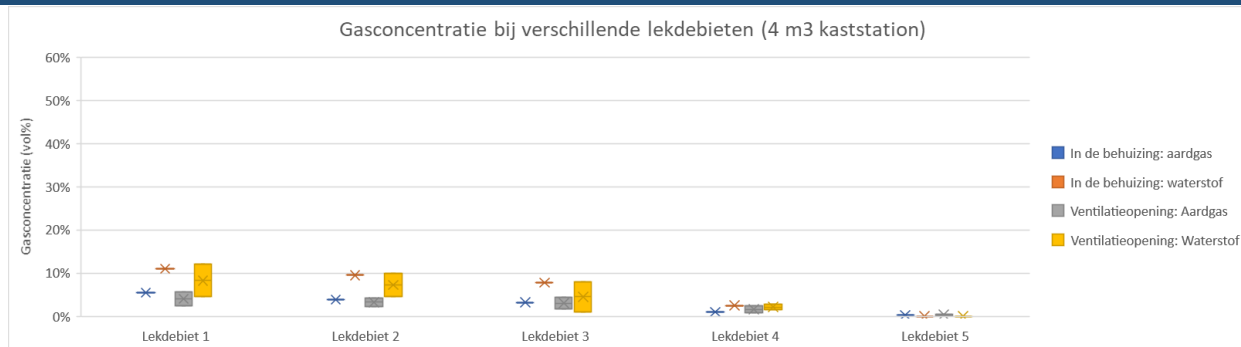


Figure 2. Gas concentration (vol%) at different volumetric leak rates for natural gas and hydrogen in a 4m<sup>3</sup> gas cabinet

When the measurements for the gas cabinets are studied in more detail, the following conclusions can be drawn:

- When all the measurements for the 1/2m<sup>3</sup> and the 4m<sup>3</sup> gas cabinet are studied more closely, it can be concluded that hydrogen will more often lead to a flammable mixture at the ventilation openings in comparison with natural gas. This is more specifically applicable for the larger leak rates ( $\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$ ). In itself, the logical explanation here is the combination of the larger volumetric leak rates as well as the wider flammability limits of hydrogen compared to natural gas. The question which arises from the above is also to what extent the leak opening and the selected leak rates are deemed realistic to represent a gas leakage. To facilitate this important dialog, this report will provide some recommendation about this matter later on.
- From Figure 1 and Figure 2, the influence of wind speed can be clearly seen by the bandwidth of the gas concentrations at the ventilation exits (ventilatieopeningen) of the gas cabinets.
- The behavior of a natural gas or hydrogen leakage is different for the two gas cabinets which were tested. It is remarkable to conclude that there is a different relation (linear versus logarithmic) when the gas concentration in the gas cabinets is compared to the gas concentration at the ventilation exits. The gas concentration in the gas cabinets is on average higher than the gas concentration at the ventilation exits for the 1/2m<sup>3</sup> gas cabinet. For the 4m<sup>3</sup> gas cabinet, the phenomena is exactly the other way around. The behavior involving ventilation is different when the two geometries are compared.
- One of the conclusions from this research program is that the selected leak opening will lead to quite significant volumetric leak rates. The 1 mm<sup>2</sup> considered in this, shall be indicated as an incident rather than a regular leakage/ malfunction. In close collaboration with the “stuurgroep”, an attempt has been undertaken to backtrack the originating source of the 1 mm<sup>2</sup> leak opening which has not resulted in identifying that specific source so far.
- In view of the ATEX analysis, the experimental results for the 1/2m<sup>3</sup> and 4m<sup>3</sup> gas cabinets have been reviewed with an expert from GasUnie. The advice on the approach/ outcome is to re-assess the volumetric leak rates as well as the leak opening according to the NEN-EN-60079-10-1 (Explosive atmospheres) where a leak opening (dependent on the boundary conditions) between 0,025 and 0,25 mm<sup>2</sup> shall be used (Table B.1 – “Suggested hole cross sections for secondary grade of releases”), which leads to substantially smaller volumetric leak rates at 8 bar pressure (according to calculations).

**Recommendations:**

- Additional research will be necessary to study the effects of smaller volumetric leak rates (more in line with practice). The results will allow the industry partners to distinguish an incident from a regular leakage/ malfunction and give a better view on the natural gas/ hydrogen concentrations that can be expected.
- Since the DSO's apply a range of different gas cabinets in the urban environment, it would be beneficial to understand which specific gas cabinets are used most frequently before hydrogen is introduced in the gas infrastructure. During this step, all cabinets can be compared with a functional set of specifications (including the ventilation rate, the mechanical design, the expected gas leak rate) to allow a comparison with the gas cabinets tested in HyDelta.
- Based on the outcome of a research program in execution, focusing on (leakages) in 1000 gasstations on natural gas, it would be recommendable to compare these results with this research "HyDelta Gasstations – Ventilation". The outcome of this report will potentially need a re-assessment when it turns out that the selected volumetric leak rates in this research are substantially larger than a regular leakage in the field.

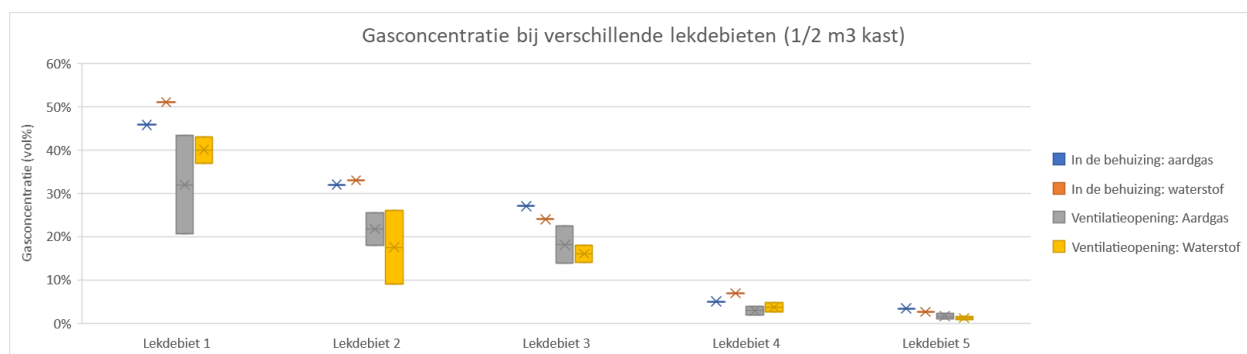
## Samenvatting

In het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta is een onderzoek uitgevoerd naar de ventilatie van de behuizing van een gasregelstation. Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is onderdeel van het werkpakket 1B “Gasstations” en betreft de onderzoeksvraag 212/ D1B.3a. Deze is als volgt geformuleerd; Is de behuizing (in relatie tot ventilatie) net zo veilig met waterstof als bij een toepassing met aardgas en zo niet, welke aanpassingen aan de behuizing zijn noodzakelijk voor een veilig gebruik met waterstof?

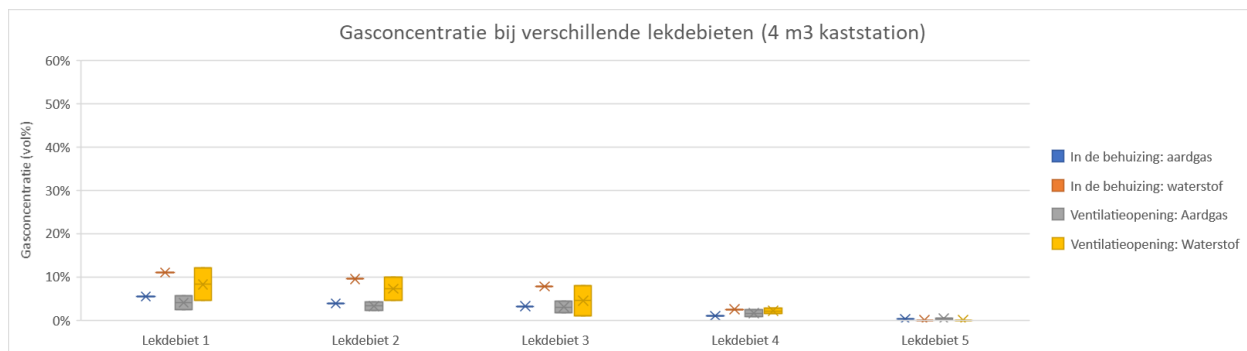
Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen of een selectie van standaard behuizingen waarin gasregelstations worden ondergebracht en zoals die nu worden toegepast in de bebouwde omgeving, ook geschikt zijn bij overschakeling naar waterstof. Dit is gedaan door proefondervindelijk vast te stellen welke gasconcentraties er ontstaan bij een voor-gedefinieerde lekkage in een kast en een kaststation. Hiervoor zijn twee behuizingen (0,5 m<sup>3</sup> kast en 4m<sup>3</sup> kaststation) met gasregelinstallatie beschikbaar gesteld door Enexis. De gaslekkage is gesimuleerd door in de behuizing, via een separate toevoer, een gedefinieerde lekkage van aardgas of waterstof aan te brengen. Daarbij is gekeken naar de gasconcentratie en het verspreidingsgedrag onder invloed van ventilatie door concentratiemetingen in en om de behuizing te doen.

Het bepalen van een representatieve gaslekkage (aardgas) is uitdagend geweest. Dit is afhankelijk van verschillende factoren waaronder de configuratie van het gasregelstation, de leeftijd en het onderhoud. Door odorisatie is de geur aan aardgas ruikbaar vanaf 10.000 ppm (1 vol%). Uiteindelijk is gekozen om een lekopening van 1mm<sup>2</sup> te hanteren (genoemd in de bijlage van de NEN 1059; 2019). Op basis van verschillende voordrukken zijn daarna vijf lekdebieten gedefinieerd die als referentiepunt hebben gediend in dit onderzoek. Dit alles om een duidelijk vergelijk te kunnen maken tussen het gedrag van aardgas en waterstof. Voor aardgas variëren deze tussen 0,1 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h en 7,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h en voor waterstof variëren deze tussen 0,2 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h en 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Hierbij geldt dat het lekvolume van waterstof bij een gegeven lekopening 1,2 tot 3 keer groter is dan bij aardgas, afhankelijk van de voordruk.

De belangrijkste gegevens van de testen zijn weergegeven in de twee onderstaande grafieken voor de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation waarbij het lekdebiet op de x-as afneemt in grootte. De definitie van “lekdebiet 1” op de x-as een weergave is van zowel 7,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h aardgas en 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h waterstof. Deze redenatie geldt ook voor de andere lekdebieten.



Figuur 1. Gasconcentratie (vol%) bij verschillende lekdebieten aardgas en waterstof in een 1/2m<sup>3</sup> kast



Figuur 2. Gasconcentratie (vol%) bij verschillende lekdebieten aardgas en waterstof in een 4m<sup>3</sup> kaststation

Wanneer de metingen aan de kast en het kaststation nader worden bestudeerd, kan het volgende worden geconcludeerd:

- Er kan bij zowel de kast als kaststation worden geconcludeerd dat waterstof vaker leidt tot een brandbaar mengsel bij de ventilatieopeningen dan aardgas. Dit blijkt vooral het geval bij de grootste lekdebieten ( $\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Dit laatste is terug te leiden naar de combinatie van grotere lekdebieten en de ruimere ontstekingsgrenzen van waterstof in vergelijking met aardgas. De vraag hierbij is wel in hoeverre de geselecteerde lekopening en de gekozen lekdebieten realistisch zijn voor het representeren van een lekkage, waarover in deze rapportage aanbevelingen worden gedaan.
- Uit Figuur 1 en Figuur 2 is de invloed van wind goed waar te nemen door de bandbreedte van de waargenomen gasconcentraties bij de ventilatie openingen.
- Het gedrag van een aardgas- of waterstoflekkage bleek verschillend voor de twee geteste behuizingen. Tevens is het opvallend dat voor beide behuizingen een andere relatie is vastgesteld (lineair versus logaritmisch) wanneer de gasconcentraties in de kast worden vergeleken met de gasconcentratie aan de ventilatieopeningen. De hypothese was dat de concentratie bij de ventilatieopening lager of gelijk is aan de concentratie gemeten in de behuizing. De hypothese bleek voor de 1/2m<sup>3</sup> kast te kloppen, maar niet voor het kaststation. Voor het 4m<sup>3</sup> kaststation is dit verband precies andersom. De gasconcentratie in de behuizing is gemiddeld hoger dan aan de ventilatieopeningen voor de 1/2m<sup>3</sup> kast. Het gedrag omtrent de ventilatie van deze behuizingen verloopt anders.
- Uit de onderzoeksvragen is naar voren gekomen dat de gekozen lekopening leidt tot aanzienlijke lekdebieten. De 1 mm<sup>2</sup> zou daarbij moeten worden beschouwd als een incident en niet als een reguliere lekkage/ storing. Naar de oorsprong van de definitie van deze lekopening is in samenspraak met de stuurgroep veel zoekwerk verricht, echter is de bron niet achterhaald.
- Over de ATEX analyse is contact geweest met een expert van GasUnie, waarbij de resultaten van de testen met de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation besproken zijn. Het advies hierover is om de beschouwing uit te voeren conform het lekdebiet en lekopening volgens de NEN-EN 60079-10-1 (Explosive atmospheres) waarbij een lekopening, afhankelijk van de gekozen uitgangspunten tussen de 0,025 en de 0,25 mm<sup>2</sup> wordt gebruikt (Table B.1 – “Suggested hole cross sections for secondary grade of releases”), hetgeen leidt tot aanzienlijk kleinere lekdebieten bij een druk van 8 bar (volgens de berekeningen).

**Aanbevelingen:**

- Er is aanvullend onderzoek nodig om de effecten van kleinere, meer met de praktijk overeenkomende lekdebieten goed in kaart te brengen. Zo kan beter onderscheid gemaakt worden tussen een incident en een reguliere lekkage wat betreft de te verwachten aardgas- of waterstofconcentraties.
- Aangezien in Nederland verschillende behuizingen voor gasregelstations worden toegepast, zou het voor de invoering van waterstof verstandig zijn te kijken welke kasten er nu veelvuldig gebruikt worden. Deze kasten worden in eerste instantie vergeleken met een functioneel eisenpakket (met bijvoorbeeld ventilatiegraad, mechanisch ontwerp, verwacht lekdebiet) om zo een vergelijking te maken met de reeds geteste behuizingen).
- Op basis van de uitkomst van het lopend onderzoek naar lekkages in 1000 gasstations op aardgas is tevens aan te raden dit onderzoek “Hydelta Gasstations – Ventilatie” naast de bevindingen te houden. De uitkomsten van dit ventilatie onderzoek zullen mogelijk opnieuw beschouwd moeten worden wanneer blijkt dat de gekozen lekken uit dit onderzoek substantieel groter zijn dan een lekkage die in de praktijk voorkomt.



## Table of contents

Document samenvatting .....	2
Executive summary .....	3
Samenvatting.....	6
1. Aanleiding.....	12
2. Plan van aanpak.....	13
Testmethode op hoofdlijnen.....	13
Meetpunten en meetapparatuur .....	13
Wind en ventilatie .....	14
Foto's van de opstellingen .....	14
3. Gekozen lekdebieten.....	15
Lekdebiet .....	15
Praktijk lekdebiet en relatie met normcommissie NEN 1059 .....	15
Lekdebiet tijdens de praktijkproeven.....	16
Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet (DNV-GL, 2020).....	16
Maximale lekdebiet bij ATEX zonering volgens de NEN:1059, 2019, bijlage E3 .....	16
Lekdebiet aardgas versus lekdebiet waterstof.....	17
Toekomstbestendige gasnetten (Kiwa Technology, 2017) .....	17
Onderzoek naar waterstofuitstroom (Kiwa Technology, 2018).....	17
4. Bespreking resultaten.....	18
Lekdebiet 7.5 m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /hr - aardgas.....	18
Lekdebiet 22,5 m <sup>3</sup> <sub>n</sub> /hr - waterstof.....	19
Gemeten lekdebieten en aardgas/ waterstof concentraties .....	20
Relaties tussen gasconcentratie en lekdebiet.....	22
Mechanisch ontwerp van behuizingen .....	25
Lekdebiet en ventilatievoud in relatie tot de NEN 1059 .....	26
5. Visualisatie met een Esders Gas-cam .....	27
6. Conclusies.....	31
7. Aanbeveling.....	33
Referenties .....	34
I Overzicht van vragen HyDelta WP1B .....	35
II Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep.....	36
III Foto's van de testopstelling .....	37
IV Gebruikte meetapparatuur .....	38

V	Meetresultaten – ½ m3 kast buitensituatie .....	39
	Lekdebiet 7.5 m3/hr - aardgas .....	39
	Lekdebiet 22,5 m3/hr - waterstof .....	40
	Lekdebiet 4,6 m3/h - aardgas.....	41
	Lekdebiet 12 m3/hr - waterstof .....	42
	Lekdebiet 3 m3/h - aardgas.....	43
	Lekdebiet 6 m3/hr - waterstof .....	44
	Lekdebiet 0,45 m3/h - aardgas.....	45
	Lekdebiet 0,9 m3/hr - waterstof .....	46
	Lekdebiet 0,1 m3/h - aardgas.....	47
	Lekdebiet 0,2 m3/hr - waterstof .....	48
VI	Meetresultaten ½ m3 kast, windluw .....	49
	Lekdebiet 3 m3/h - aardgas.....	49
	Lekdebiet 6 m3/hr - waterstof .....	50
	Lekdebiet 0,45 m3/h - aardgas.....	51
	Lekdebiet 0,9 m3/hr - waterstof .....	52
	Lekdebiet 0,1 m3/h - aardgas.....	53
	Lekdebiet 0,2 m3/hr - waterstof .....	54
VII	Meetresultaten 4 m3 kast, buitensituatie .....	55
	Lekdebiet 7.5 m3/hr - aardgas .....	55
	Lekdebiet 22,5 m3/hr - waterstof .....	56
	Lekdebiet 4,6 m3/h - aardgas.....	57
	Lekdebiet 12 m3/hr - waterstof .....	58
	Lekdebiet 3 m3/h - aardgas.....	59
	Lekdebiet 6 m3/hr - waterstof .....	60
	Lekdebiet 0.45 m3/h - aardgas.....	61
	Lekdebiet 0,9 m3/hr - waterstof .....	62
	Lekdebiet 0,1 m3/h - aardgas.....	63
	Lekdebiet 0,2 m3/hr - waterstof .....	64
VIII	Meetresultaten 4 m3 kast, windstil .....	65
	Lekdebiet 4,6 m3/h - aardgas.....	65
	Lekdebiet 3 m3/h - aardgas.....	66
	Lekdebiet 0,45 m3/h - aardgas.....	67
	Lekdebiet 0,9 m3/hr - waterstof .....	68
	Lekdebiet 0,1 m3/h - aardgas.....	69
	Lekdebiet 0,2 m3/hr - waterstof .....	70



## 1. Aanleiding

HyDelta is een nationaal samenwerkingsprogramma waarbij barrières die zorgen dat waterstofprojecten worden vertraagd of zelfs stilgezet, worden weggenomen. Een onderdeel van HyDelta programma is het werkpakket Gasstations. Gasregelstations (voor aardgas) staan in Nederland doorgaans in de openbare ruimte. Dat mag ook, omdat buiten de behuizing van een gasregelstation geen ATEX-zone aanwezig is mits deze voldoet aan de ventilatie-eisen en voorwaarden zoals gesteld in de NEN1059: 2019.

In de NEN:1059, 2019 wordt gesteld dat bij een ventilatievoud van meer dan 5 keer per uur, binnen de behuizing ATEX zone 2 van toepassing is. Dan is er buiten de behuizing geen zonering. In het geval van een kleine lekkage zou dit moeten leiden tot voldoende ventilatie.

Wanneer gasregelstations gebruikt gaan worden voor de distributie van waterstof, moeten de nu geldende normen en eisen opnieuw tegen het licht worden gehouden. In dit onderzoek worden de volgende onderzoeksvragen onderzocht:

1. *Zijn er aanpassingen aan de behuizing nodig voor een veilig gebruik met waterstof en zo ja, welke?*
2. *Kan er onder normale omstandigheden buiten de kast een brandbaar of explosief aardgas of waterstof mengsel optreden?*

Deze hoofdvragen worden beantwoord wanneer de volgende deelvragen worden beantwoord:

1. *Wat is het maximale lekdebiet in een station waar rekening mee moet worden gehouden? (hoofdstuk 2)*
2. *Voldoet de binnenzijde van het station inderdaad aan ATEX zonering 2, bij de huidige toegepaste ventilatie en het maximale lekdebiet, zowel voor aardgas als voor waterstof?*
3. *Is er sprake van een brandbaar mengsel **buiten de behuizing** bij de huidige toegepaste ventilatie en het maximale lekdebiet, zowel voor aardgas als voor waterstof?*
4. *Indien het antwoord op vraag 3 met "ja" wordt beantwoord, kan in de praktijk ook worden bevestigd dat er inderdaad ontsteking plaatsvindt. Zo ja, wat zijn hiervan de gevolgen?*

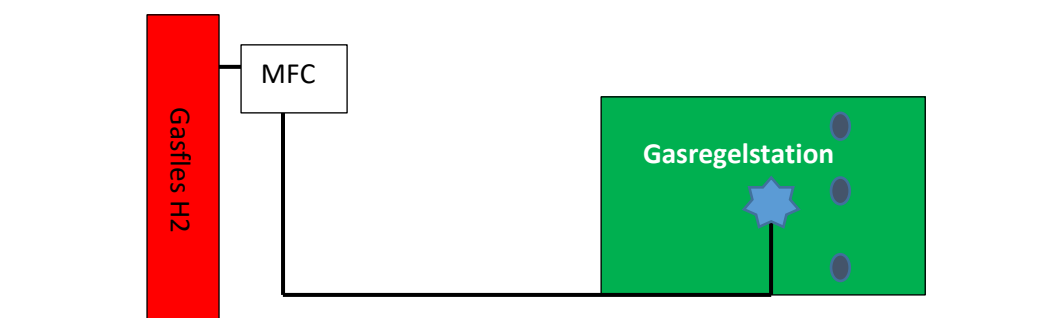
Deelvraag 4 zal verder uitgewerkt worden (buiten de scope van dit onderzoek) in een drietal stappen. Hierbij worden internationale onderzoeken en beschikbare kennis geïnventariseerd om tot een lijst van scenario's te komen met betrekking tot lekkages in gasregelstations. Uit deze lijst worden vervolgens realistische scenario's geselecteerd die gebruikt zullen worden om de kans op ontsteking alsmede de effecten daarvan vast te stellen. Hiervoor zullen verschillende onderzoeksmethoden worden aangedragen. Het doel is het formuleren van een projectplan (HyDelta WP1B – Werkplan explosie (D1B.3b)) in 2021 om deze testen vervolgens uit te kunnen voeren in 2022.

## 2. Plan van aanpak

### Testmethode op hoofdlijnen

De testopstelling bestaat uit:

- Gasflessen met waterstof, aardgas en stikstof
- Een gasdrukregelaar en een mass flow controller (MFC).
- Een standaard kast (1/2 m<sup>3</sup>), geleverd door Enexis.
- Een standaard kaststation (4 m<sup>3</sup>), geleverd door Enexis.
- Een leiding zodat een lek met een uitstroomopening van 1 mm<sup>2</sup> in het station wordt aangebracht. Het lek wordt gepositioneerd in het midden van de kast. De uitstroomopening heeft tevens de mogelijkheid tot het aansluiten van een naaldafsluiter.

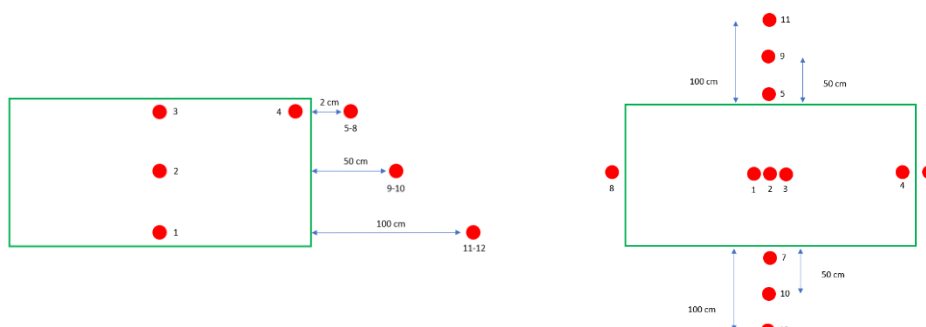


Figuur 3. Schematische weergave testopstelling

### Meetpunten en meetapparatuur

De aardgas of waterstof concentratie wordt op de volgende punten gemeten:

- In de kast op 4 punten (onder, midden en 2x boven). Het meetpunt “midden” (2), zit 10 cm verwijderd van de uitstroomopening. De meetpunten “onder” (1) en “boven” (3) zitten recht onder en boven het meetpunt “midden”, op 5 cm afstand van maaiveld dan wel de bovenkant van de kast (voor de 1/2m<sup>3</sup> kast). Het meetpunt “boven” (4) zit in het kaststation ter hoogte van de daklijn, hetgeen niet het hoogste punt betreft. Schematisch ziet de opstelling van de meetpunten er als volgt uit;



Figuur 4. Setup van de meetpunten in de testopstelling (1/2m<sup>3</sup> kast), zijaanzicht (links) en bovenaanzicht (rechts)

- Direct buiten de kast op 4 punten (punten 5, 6, 7 en 8), alle zijden op 2 cm afstand van de ventilatieopeningen in het midden. Hiervoor worden de Riken Keiki sensoren gebruikt, 0 – 100 vol% waterstof. Bij de proeven met aardgas worden de MultiRae sensoren gebruikt. (0-100% LFL en 0-100vol%).
- Tevens zal de aardgas of waterstof concentratie op 0,5 en 1 meter van de behuizing gemeten worden (punten 9, 10, 11 en 12). De sensoren (allen MultiRae's) zijn op 1 meter boven grondniveau geplaatst. Deze meters bevatten zowel een ppm-sensor als een LFL-sensor voor waterstof.

## Wind en ventilatie

De wind kan een grote invloed hebben op de proeven. Er zijn daarom twee situaties gecreëerd, namelijk een binnensituatie (windstille situatie) en een buitensituatie. Om een windstille situatie te simuleren, wordt het kaststation in een grote tent geplaatst. Daarnaast worden dezelfde serie metingen uitgevoerd op een dag die, naar verwachting, een constante windkracht (van windkracht 2 of 4) heeft om zo de invloed ten gevolge van natuurlijke trek te beperken.

## Foto's van de opstellingen

De stations zijn dus zowel in een buitensituatie als in een binnen-/ windluwe situatie getest. Stations staan in de praktijk altijd buiten. Echter, het is de verwachting dat natuurlijke ventilatie op windstille en/ of windluwe momenten minder goed zal functioneren dan wanneer er sprake is van natuurlijk ventilatie door wind. Om windstille en/ of windluwe situaties na te bootsen, is zowel de 1/2m<sup>3</sup> kast als het 4m<sup>3</sup> kaststation in een tent geplaatst.



Figuur 5. De ½ m<sup>3</sup> kast in een buitensituatie



Figuur 6. De ½ m<sup>3</sup> kast in een tent



Figuur 7. Het 4m<sup>3</sup> kaststation in een buitensituatie



Figuur 8. Het 4m<sup>3</sup> kaststation in een tent

Vanuit een gasfles is respectievelijk aardgas en waterstof met een mass flow meter (MFM) en mass flow controller (MFC) gecontroleerd toegevoegd in de kast. Dit gas stroomt uit in het midden van de kast vanuit een lekopening met een oppervlakte van 1 mm<sup>2</sup>. In de kast zijn meetpunten aangebracht, één op 5 cm van de bodem, één in het midden, één op 5 cm van de daklijn en één in de nabijheid van een ventilatieopening. Daarnaast zijn op alle vier de zijden van de kast sensoren geplaatst die buiten de kast vlak onder de ventilatieopening meten. Tenslotte zijn sensoren geplaatst die op 0,5 meter en op 1 meter afstand meten. Deze sensoren zijn op 1 meter boven de grond opgehangen zoals te zien op bovenstaande foto's. Op die manier wordt het verspreidingsgedrag van het gaslek in kaart gebracht.

### 3. Gekozen lekdebieten

#### Lekdebiet

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de vraag *Wat is het maximale lekdebiet in een station waar rekening mee moet worden gehouden? En hoe verhoudt dit zich tot een realistisch lek dat kan voorkomen in de praktijk?*

Bij het veronderstellen van een lekkage dient allereerst vastgesteld te worden om wat voor soort lekkage het gaat. Een lekkage kan het gevolg zijn van een incident maar een lekkage kan ook geleidelijk ontstaan tijdens het in bedrijf zijn van een technische installatie. Hierbij zal het resultaat qua lekgrootte en lekdebiet waarschijnlijk niet hetzelfde zijn.

#### Praktijk lekdebiet en relatie met normcommissie NEN 1059

Een lekopening van 1 mm<sup>2</sup>, zoals de norm beschrijft, staat ter discussie. In het rapport GT-170223 (Zonering van gasstations, fase 2) worden hier opmerkingen over gemaakt.

*Samengevat: als in een gasstation een gaslek aanwezig is (met een opening van 1 mm<sup>2</sup>) zouden ontstekingsbronnen bij de kast niet moeten leiden tot ontsteking van buitenaf.*

*In 2016 is de bovenstaande veronderstelling beproefd door in een gasstation (in de vorm van een houten kist met de dimensies van een gasstation) een aardgaslek te creëren en het gasstation te omringen met ontstekingsbronnen. Daaruit bleek binnen de veronderstelde maximale lekdebiet volgens de NEN 1059 (doorlaat 1 mm<sup>2</sup>) wel degelijk (lichte) explosies kunnen ontstaan.*

*Deze resultaten zijn besproken in de normcommissie. Hierop is nader onderzoek gedaan naar de lekkages die daadwerkelijk optreden bij gasstations. Er zijn meetgegevens aangedragen om na te gaan wat de maximale grootte is van lekken die worden aangetroffen. Daaruit bleek dat de lekken gebruikt in het onderzoek van 2016 (3 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h en 4,6 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h) in de praktijk niet voorkomen. 0.6 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h blijkt het maximum lek te zijn dat betrouwbaar gemeten in de meetset van ca. 8.000 metingen voorkomt.”*

In de praktijk is een lek van 0,6 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h aardgas het maximum lek dat betrouwbaar is gemeten op basis van statistische analyse. In vergelijking met een lekdebiet (door een lekopening van 1 mm<sup>2</sup> bij 8 bar) van 7.5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h aardgas en 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h waterstof is het gemeten lekdebiet in de praktijk vele malen kleiner dan het lekdebiet wat ontstaat door een lekopening van 1mm<sup>2</sup>.

Op het moment van schrijven is net een start gemaakt met de uitvoer van een onderzoeksvoorstel voor de normcommissie NEN:1059. Hierbij zullen bij 1000 stations de aardgasconcentratie bij de ventilatieopeningen worden gemeten. Het doel hiervan is om met een statische betrouwbaarheid vast te stellen dat in minder dan 1% van de metingen sprake is van een aardgasconcentratie hoger dan 100% LFL voor aardgas (komt overeen met 5vol%).

Het onderzoek geeft mogelijk belangrijke input in de risicowaardingen omdat zo duidelijker zal worden met welke lekken er in de praktijk rekening moet worden gehouden.



## Lekdebiet tijdens de praktijkproeven

Allereerst worden de lekdebieten die voor dit onderzoek gekozen zijn gepresenteerd in een tabelvorm waarbij zowel de eenheden  $\text{m}^3/\text{h}$  als  $\text{g/s}$  worden weergegeven. Uitgangspunt voor de grootte van het lek waardoor het gas in de behuizing geïnjecteerd wordt, een oppervlakte heeft van  $1 \text{ mm}^2$ .

Tabel 1 - lekdebieten voor aardgas en waterstof

	Lekdebiet 1	Lekdebiet 2	Lekdebiet 3	Lekdebiet 4	Lekdebiet 5
Aardgas ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	7,5	4,6	3,0	0,45	0,1
Aardgas ( $\text{g/s}$ )	1,67	1,02	0,67	0,10	0,022
Waterstof ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	22,5	12,0	6,0	0,9	0,2
Waterstof ( $\text{g/s}$ )	0,56	0,30	0,15	0,023	0,0050

Onderstaande uitleg geeft verdere duiding over de totstandkoming van deze waarden:

- Grootte van het lek/ lekopening van  $1 \text{ mm}^2$  als startpunt. Bij een druk van 8 bar resulteert dit in een lekdebiet van  $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$  aardgas. Dit is lekdebiet 1 in Tabel 1. Voorafgaand aan de test zal zowel met aardgas als met waterstof de uitstroom worden bepaald bij een lek met een grootte van  $1 \text{ mm}^2$  en een voordruk van 8 bar. Daarnaast zal deze lekhoeveelheid ook worden berekend, volgens bijlage E.3 van de NEN:1059, 2019.
- Lekkage die leidt tot een lekdebiet van  $4,6 \text{ m}^3/\text{h}$  aardgas. Om in lijn te blijven met nieuw onderzoek voor de NEN:1059, zal op dezelfde wijze een lek worden gecreëerd met  $4,6 \text{ m}^3/\text{h}$  aardgas (zie ook rapportage GT-170223). Dezelfde opening en voordruk zal worden gebruikt voor een lek met waterstof.

Uit eerdere testen is gebleken dat het lekdebiet voor waterstof circa tweemaal zo veel is als voor aardgas, kijkend naar lekdebiet 3, 4 en 5. In het H21 onderzoek zijn verhoudingen geconstateerd tussen de 1,1 en 2,2. Uit onderzoek in Hy4heat is geconstateerd dat het lekdebiet sterk afhankelijk is van de geometrie van het lek en zelfs kan variëren tussen 1,3 en 3. Op basis van de beschikbare info bij de aanvang van dit onderzoek is gekozen om voor de overige proeven een factor 2 toe te passen. In onderstaande paragrafen worden de keuzes verder uiteengezet.

Op basis van de testmatrix is er in de meeste gevallen sprake van “kleine lekkages”, die ook wel aangeduid worden als een hoorbaar lek. Hiervoor wordt gesteld dat  $1 \text{ g/s}$  aardgas wordt aangemerkt als een veelgebruikte referentiewaarde. Dezelfde waarde kan niet aangehouden worden voor waterstof omdat dit een vele malen grotere debiet betekent.

## Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet (DNV-GL, 2020)

Het meest recente rapport over dit onderwerp is in 2020 verschenen en gemaakt in opdracht van Netbeheer Nederland. Daarin wordt toegelicht dat de verhouding tussen de volumetrisch uitstroom aardgas en waterstof afhankelijk is van het type lek:

- Laminaire stroming: waterstoflek is een factor 1,3x zoveel als aardgas.
- Turbulente stroming: waterstoflek is een factor 2,9x zoveel als aardgas.
- Diffuse stroming: waterstoflek is een factor 3,1x zoveel als aardgas

## Maximale lekdebiet bij ATEX zonering volgens de NEN:1059, 2019, bijlage E3

In de NEN:1059, 2019 (paragraaf 7.3.11) wordt het maximale lekdebiet gedefinieerd. Daarin staat: “Een opstellingsruimte mag als niet-gevaarlijk gebied worden geclassificeerd als een gaslek met een opening van maximaal  $1 \text{ mm}^2$  bij de onder normale bedrijfsomstandigheden heersende druk geen gevaarlijke hoeveelheid explosief gas-luchtmengsel kan opleveren.” Voor alle duidelijkheid, dat is dus van toepassing op aardgas maar zou tevens kunnen gelden voor waterstof. Er is geen definitie opgenomen van de “onder normale bedrijfsomstandigheden heersende druk”. In een gasregelstation



heersen twee drukken, de ingaande druk (maximaal 8 bar) en de uitgaande druk (doorgaans 100 mbar). De worst-case situatie is een lek in het hogedrukgedeelte van het station, 8 bar. Dit lekdebiet (bij 1 mm<sup>2</sup> en 8 bar) zal in elk geval mee worden genomen tijdens het onderzoek.

### Lekdebiet aardgas versus lekdebiet waterstof

In dit hoofdstuk worden een aantal relevante bronnen aangehaald om het lekdebiet van waterstof vast te stellen.

#### Toekomstbestendige gasnetten (Kiwa Technology, 2017)

Het rapport Toekomstbestendige gasnetten (GT-170272) besteedt op pagina 37 aandacht aan de relatie tussen de volumestroom van waterstof en aardgas bij een lek van gelijke grootte.

*De conclusie is, dat een eventueel lekkende verbinding in een waterstofnet qua volumestroom ca. 25% hoger is ten opzichte van eenzelfde lekkende verbinding in een aardgasnet*

#### Onderzoek naar waterstofuitstroom (Kiwa Technology, 2018)

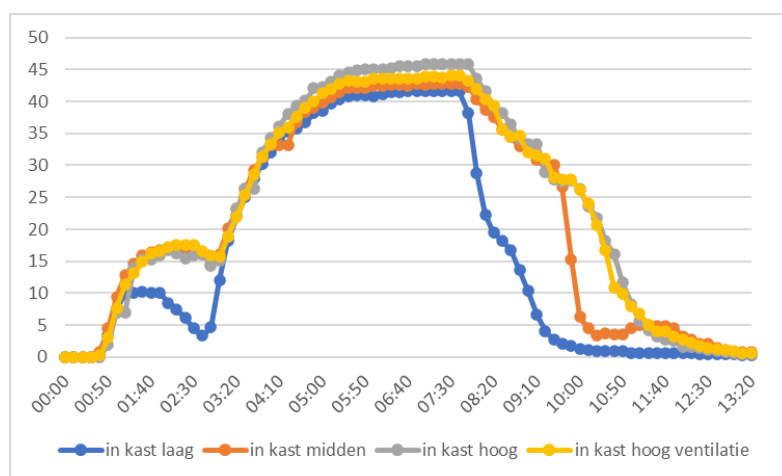
In 2018 is heeft een onderzoek plaatsgevonden naar kleine lekkages in binneninstallaties (GT-180259). Daarbij zijn lekken van 1 liter per uur (aardgas) gesimuleerd, en is vervolgens over hetzelfde lek gemeten hoe groot het lek is met waterstof. Daaruit is gebleken dat een bestaand lek met waterstof ten opzichte van aardgas resulteert in een lek met ca. 60% meer debiet.

## 4. Bespreking resultaten

In de twee onderstaande paragrafen wordt één meting voor aardgas en waterstof gepresenteerd. Beide testen zijn uitgevoerd in de 1/2m<sup>3</sup> kast bij het grootste lekdebiet in een buitensituatie (met natuurlijke trek). Deze paragrafen dienen als voorbeeld hoe alle resultaten verwerkt zijn. Deze resultaten zijn toegevoegd in bijlage V tot en met VIII van dit rapport.

### Lekdebiet 7.5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/hr - aardgas

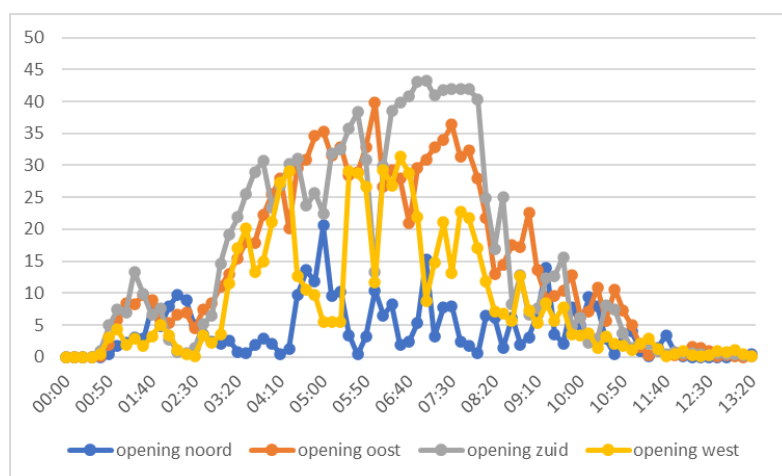
Bij de eerste test is een maximale lekopening conform de NEN 1059 gecreëerd bij een voordruk van 8 bar in de ½ m<sup>3</sup> behuizing waarbij de concentratie oploopt tot maximaal 46 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 2 tot 3, voornamelijk uit westelijke richting. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 9. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatieopeningen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	21 Vol%	40 Vol%	43 Vol%	30 Vol%



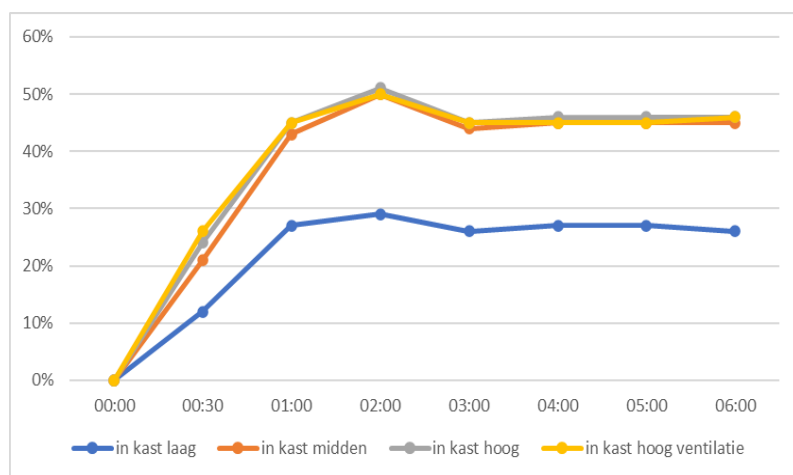
Figuur 10. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol% CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation op tot maximaal 23% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter afstand (oost) van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/hr - waterstof

Wanneer met dezelfde voordruk het gedefinieerde lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 50 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak, voornamelijk windkracht 1 tot 2, variërend tussen variërend tussen west, noordwest en noordoost.

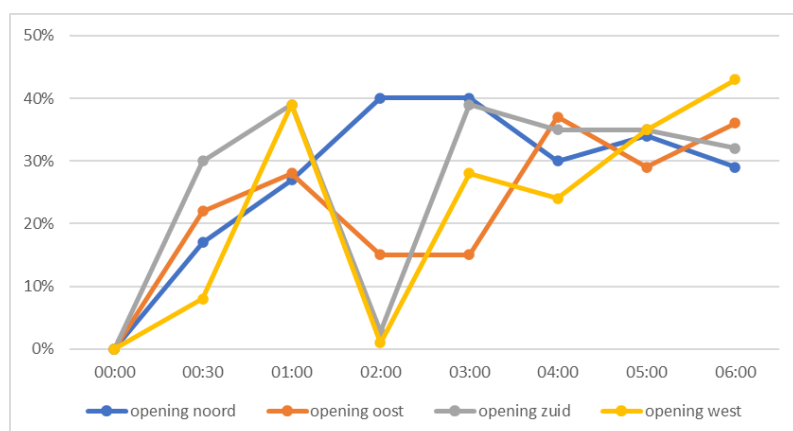
De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 11. Concentratie (vol% H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	40,0 Vol%	37,0 Vol%	39,0 Vol%	43,0 Vol%



Figuur 12. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol% H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar\*

\*) door windrichting- en snelheid op t = 2 minuten is een nulwaarde geregistreerd gedurende deze test.

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. De gebruikte meter heeft een ppm sensor met een meetbereik tot 1000 ppm en deze waarde werd ook bereikt. Tevens bevat de meter een %LFL sensor. Op een afstand van 0,5 meter (oost) is tevens een waarde van 100% LFL gedetecteerd.

### Gemeten lekdebieten en aardgas/ waterstof concentraties

De resultaten van het volledige testprogramma zijn verzameld in bijlage V tot en met VIII. De belangrijkste gegevens van al deze testen zijn kort samengevat in onderstaande tabellen. De waarden in rood geven aan wanneer de maximale concentratiemeting binnen de ontstekingsgrenzen van het gas-luchtmengsel valt. Wanneer een veld in onderstaande tabellen niet is ingevuld, betekent dit dat er geen waarde is gemeten.

Tabel 2 - 1/2m<sup>3</sup> kast resultaten - buitensituatie voor aardgas (boven) en waterstof (onder). LFL aardgas ≥ 5 vol% en LFL waterstof ≥ 4 vol%. Buiten de behuizing is gemeten op 0,5 meter afstand.

Lekdebiet nm <sup>3</sup> /hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
7,5	45,8%	20,6%	39,8%	43,3%	31,3%	23%LFL	>1000 ppm
4,6	32,0%	22,7%	22,5%	25,4%	18,0%	13% LFL	>1000 ppm
3	27,0%	19,1%	18,4%	22,4%	13,8%	6% LFL	>1000 ppm
0,45	5,0%	3,5%	1,9%	3,0%	3,9%	-	160 ppm
0,1	3,4%	2,2%	1,0%	1,3%	2,1%	-	170 ppm

Lekdebiet nm <sup>3</sup> /hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
22,5	51,0%	40,0%	37,0%	39,0%	43,0%	100%LFL	>1000 ppm
12	33,0%	26,0%	9,0%	25,0%	20,0%	14% LFL	>1000 ppm
6	24,0%	14,0%	14,0%	17,0%	18,0%	13% LFL	>1000 ppm
0,9	6,9%	2,6%	4,8%	4,0%	3,7%	-	160 ppm
0,2	2,6%	1,1%	0,8%	1,1%	1,5%	-	200 ppm

Tabel 3 - 4m<sup>3</sup> kaststation resultaten - buitensituatie voor aardgas (boven) en waterstof (onder). LFL aardgas ≥ 5 vol% en LFL waterstof ≥ 4 vol%. Buiten de behuizing is gemeten op 0,5 meter afstand.

Lekdebiet nm <sup>3</sup> /hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
7,5	5,5%	5,6%	5,4%	2,4%	3,4%	12% LFL	>1000 ppm
4,6	3,9%	4,3%	4,0%	2,2%	3,4%	4% LFL	>1000 ppm
3	3,2%	4,0%	3,1%	1,7%	4,4%	4% LFL	>1000 ppm
0,45	1,0%	0,8%	1,5%	0,9%	2,4%	-	1000 ppm
0,1	0,3%	0,2%	0,4%	0,3%	0,5%	-	500 ppm

Lekdebiet nm <sup>3</sup> /hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
22,5	11,0%	11,0%	12,0%	4,5%	5,8%	-	720 ppm
12	9,5%	8,7%	10,0%	4,6%	5,4%	-	710 ppm
6	7,8%	4,1%	8,0%	6,6%	1,0%	-	220 ppm
0,9	2,5%	1,5%	2,8%	1,8%	1,6%	-	130 ppm
0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-	50 ppm

Tabel 4 - 1/2m3 kast resultaten – windluwe situatie voor aardgas (boven) en waterstof (onder). LFL aardgas  $\geq 5$  vol% en LFL waterstof  $\geq 4$  vol%. Buiten de behuizing is gemeten op 0,5 meter afstand.

Lekdebiet nm3/hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
3	34,8%	14,4%	13,0%	15,5%	6,2%	8% LFL	>1000 ppm
0,45	13,1%	8,2%	6,2%	5,9%	4,4%	4% LFL	>1000 ppm
0,1	3,8%	4,3%	1,3%	0,9%	1,9%	-	0 ppm

Lekdebiet nm3/hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
6	26,0%	20,0%	11,0%	20,0%	7,8%	-	1000 ppm
0,9	9,8%	6,2%	3,3%	2,7%	3,7%	-	500 ppm
0,2	3,9%	2,6%	1,7%	1,6%	1,5%	-	280 ppm

Tabel 5 - 4m3 kaststation resultaten - windluwe situatie voor aardgas (boven) en waterstof (onder). LFL aardgas  $\geq 5$  vol% en LFL waterstof  $\geq 4$  vol%. Buiten de behuizing is gemeten op 0,5 meter afstand.

Lekdebiet nm3/hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
4,6	4,3%	4,0%	1,2%	5,2%	5,2%	5% LFL	>1000 ppm
3	2,7%	3,8%	0,6%	4,2%	4,2%	7% LFL	>1000 ppm
0,45	1,7%	4,3%	1,1%	1,9%	3,8%	-	0 ppm
0,1	0,6%	1,5%	0,4%	0,5%	1,8%	-	0 ppm

Lekdebiet nm3/hr	Max concentratie behuizing vol%	Max concentratie ventilatieopening				Buiten de behuizing	
		vol%				%LFL	ppm
		N	O	Z	W		
-	-	-	-	-	-	-	-
0,9	5,9%	6,0%	3,5%	4,9%	4,0%	-	280 ppm
0,2	1,4%	1,4%	0,8%	0,5%	1,2%	-	80 ppm

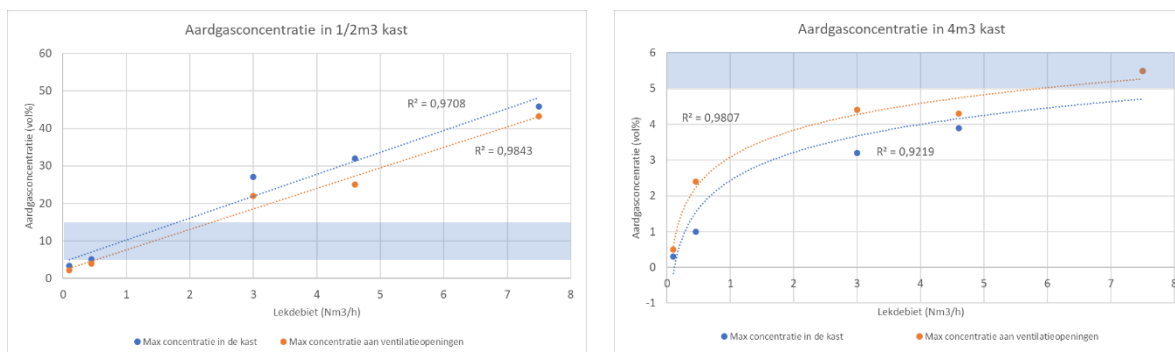
Voor de grootste lekdebieten (aardgas en waterstof) zijn geen metingen gedaan in de windluwe situatie omdat dit mogelijk tot gevaarlijke situaties zou kunnen leiden met het oog op het aanzienlijk overschrijden van de ontstekingsgrenzen.

Het mechanisme van ventilatie voor de 1/2m3 kast en het 4m3 kaststation wordt nader toegelicht in de paragraaf over het mechanische ontwerp van behuizingen.

## Relaties tussen gasconcentratie en lekdebiet

Om een goed vergelijk te maken tussen de verschillende experimenten zoals beschreven appendix V tot en met VIII is er een relatie tussen lekdebiet en aardgas (of waterstof) concentratie in kaart gebracht aan de hand van testen.

Hierbij kunnen verschillende dwarsdoorsnedes gemaakt worden, te denken aan een vergelijk tussen de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation, maar ook het verschil tussen een buitensituatie (wel wind) en een binnensituatie (geen wind) en de verschillen tussen het verspreidingsgedrag van aardgas en waterstof. Voor deze doorsnedes zijn een aantal grafieken gemaakt, te beginnen met het vergelijk tussen de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation.

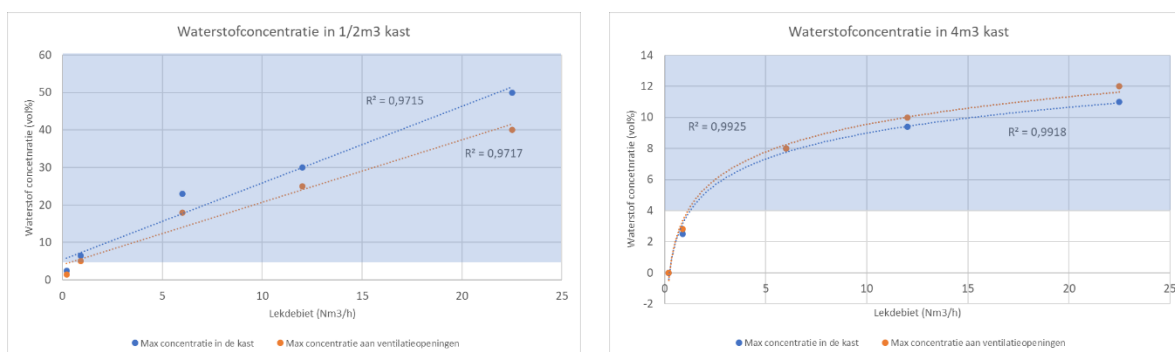


Figuur 13. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) als functie van lekdebiet ( $m_n^3/hr$ ) in de ½ m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation in een buitensituatie

In bovenstaande grafieken zijn de vergelijkingen gemaakt voor aardgas en is te zien dat de relatie tussen lekdebiet en gasconcentratie voor de 1/2m<sup>3</sup> kast bij benadering recht evenredig is. Wanneer dezelfde analyse wordt gemaakt voor het 4m<sup>3</sup> kaststation, is de spreiding op de metingen wat groter, echter is wel een betere passing van een trendlijn voor een logaritmisch verband.

Opvallend is dat de concentratiemetingen aan de ventilatieopeningen gelijk of zelfs hoger zijn dan de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation. In de grafieken is tevens in met een transparante balk aangegeven hoe de ontstekingsgrenzen zich verhouden tot de metingen.

Tevens is bovenstaande analyse voor het vergelijk van de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation gedaan voor waterstof, hetgeen leidt tot de onderstaande grafieken;

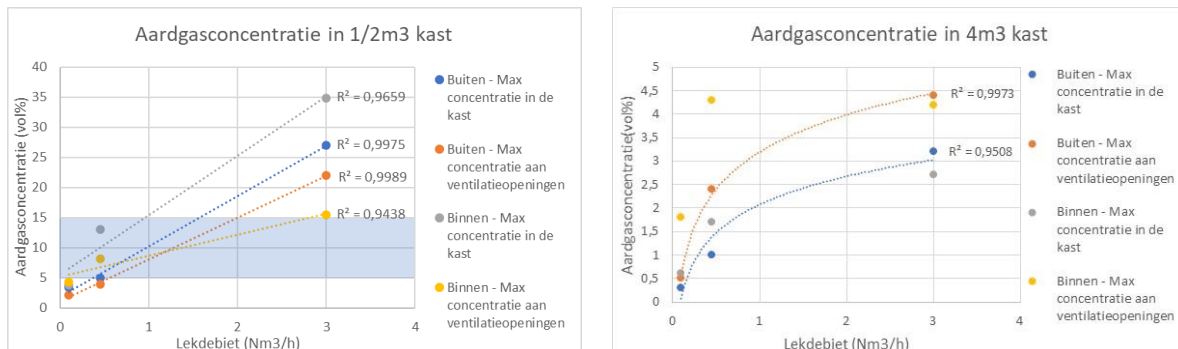


Figuur 14. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) als functie van lekdebiet ( $m_n^3/hr$ ) in de ½ m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation in een buitensituatie

In bovenstaande grafieken is te zien dat de grootte van het waterstof lek bij benadering een recht evenredig verband geeft met de maximale waterstof concentratie in de 1/2m<sup>3</sup> kast. Dit geldt zowel voor de maximale waterstofconcentratie in de kast als bij de ventilatieopeningen (van alle vier de windrichtingen). Wanneer dezelfde analyse wordt gemaakt voor het 4m<sup>3</sup> kaststation, is wederom een logaritmisch verband af te leiden. Ook hier is voor het 4m<sup>3</sup> kaststation te zien dat de

concentratiemetingen aan de ventilatieopeningen gelijk of zelfs hoger zijn dan de waterstof concentratie in de kast. Deze waarnemingen zijn theoretisch niet goed verklaarbaar en kunnen misschien verklaard worden door een niet gelijkmatige verdeling van het gas in de behuizing. Dit kan het gevolg zijn van het soort ventilatie (geen dwarsventilatie) en stratificatie.

Wanneer een vergelijking wordt gemaakt van een buitensituatie (wel wind) met een binnensituatie (geen wind), is de dataset kleiner. Vooral het meten van grote lekken in een windluwe situatie kan potentieel een gevaarlijke situatie opleveren, hetgeen te allen tijde vermeden moet worden. Het eerste vergelijk betreft de metingen aan de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation in een buitensituatie en een windluwe situatie voor aardgas.

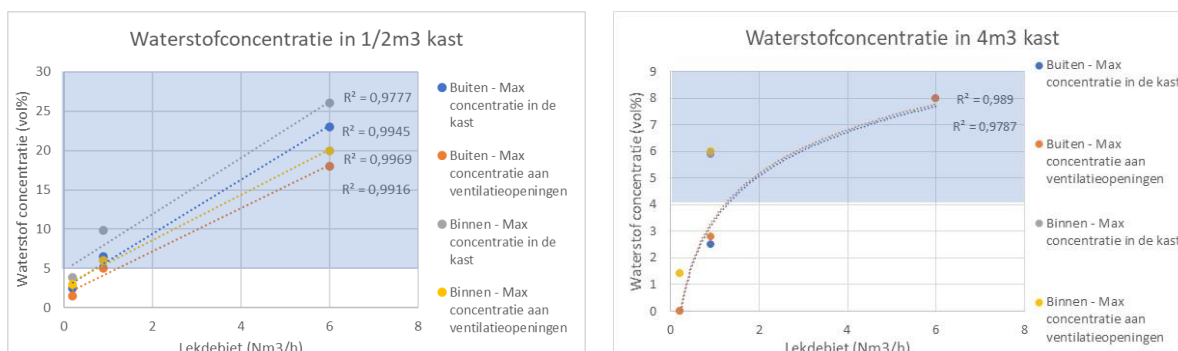


Figuur 15. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) als functie van lekdebiet (m<sup>3</sup>/hr) in de ½ m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation

Zoals al eerder vastgesteld, is er een recht evenredig verband tussen lekdebiet en gemeten aardgas concentratie in de 1/2m<sup>3</sup> kast, gemeten in de buitensituatie. In de windluwe situatie (binnen), is op basis van de meetgegevens hetzelfde verband af te leiden. Ook hier is te zien dat de concentratiemetingen aan de ventilatieopeningen over het algemeen gelijk of lager zijn dan de aardgas concentratie in de 1/2m<sup>3</sup> kast.

Wanneer dezelfde analyse wordt gemaakt voor het 4m<sup>3</sup> kaststation (buitensituatie), volgt ook hier een logaritmisch verband. De aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation is lager dan de concentratiemetingen aan de ventilatieopeningen. De trendlijn voor de binnen-/ windluwe situatie is met een grotere spreiding tevens te maken.

Bovenstaande analyse kan ook gedaan worden voor het vergelijk van de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation met waterstof, hetgeen leidt tot de onderstaande grafieken;



Figuur 16. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) als functie van lekdebiet (m<sup>3</sup>/hr) in de ½ m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation

In bovenstaande grafieken is te zien dat de grootte van het waterstof lek bij benadering lineair met de waterstof concentratie in de 1/2m<sup>3</sup> kast voor zowel de buitensituatie (zoals eerder vastgesteld) als de windluwe situatie.

Wanneer dezelfde analyse wordt gemaakt voor het 4m<sup>3</sup> kaststation, is (zoals eerder vastgesteld) een logaritmisch verband af te leiden voor de buitensituatie. Voor de binnensituatie is de spreiding op de metingen wederom groter en valt te zien dat zowel voor de 1/2m<sup>3</sup> kast als het 4m<sup>3</sup> kaststation de grotere waterstoflekken leiden tot metingen in het explosiegebied.

Wanneer bovenstaande bevindingen naast de NEN:1059, 2019 norm gelegd worden, kan worden vastgesteld dat er voor aardgas zowel in de behuizing als aan de ventilatieopeningen een zeer beperkt aantal metingen binnen de ontstekingsgrenzen vallen. Echter, wanneer dezelfde analyse voor waterstof gedaan wordt, is dit aantal groter. Dit duidt erop dat een groter ventilatie oppervlak nodig zou zijn. Ook moet hierbij opgemerkt worden dat metingen boven de 10% LFL waterstof buiten de behuizing (1/2m<sup>3</sup> kast) op 0,5 meter afstand alleen waargenomen zijn voor lekken van 6m<sup>n</sup><sup>3</sup>/h en groter. Voor deze grote(re) lekdebieten zullen de ventilatieopeningen dan heroverwogen moeten worden.

Het gedrag van een aardgas of waterstoflekage is verschillend voor de twee geteste behuizingen. De relatie tussen lekdebiet en gemeten gasconcentratie is anders (lineair versus logaritmisch). Tevens is het opvallend dat voor beide behuizingen een andere relatie is vastgesteld wanneer de gasconcentratie in de kast vergeleken wordt met de gasconcentratie aan de ventilatieopeningen. Kijkend naar figuur 11 (aardgas) en 12 (waterstof) valt op te maken dat de gasconcentratie in de behuizing hoger is dan aan de ventilatieopeningen voor de 1/2m<sup>3</sup> kast. Voor het 4m<sup>3</sup> kaststation is dit verband precies andersom. Dit is goed te zien als de “volgorde” van de blauwe en de oranje trendlijn in de figuren wordt bekeken. Het gedrag omtrent de ventilatie van deze behuizingen is anders.

Met betrekking tot de ½ m<sup>3</sup> kast, buitensituatie en windluwe situatie:

- De gemeten aardgas of waterstof concentraties (gas in lucht mengsel) zijn qua orde grootte gelijk bij de grootste lekdebieten.
- De concentratie van zowel aardgas als waterstof is logischerwijs in de 1/2m<sup>3</sup> kast hoger dan aan de ventilatieopeningen voor alle lekdebieten.

Met betrekking tot het 4m<sup>3</sup> kaststation, buitensituatie en windluwe situatie:

- De gemeten concentraties (gas in lucht mengsel) van waterstof zijn twee keer zo groot als de gemeten concentraties van aardgas bij de grootste lekdebieten.
- In het kaststation is bij het grootste lekdebiet (7,5 m<sup>n</sup><sup>3</sup>/h bij aardgas en 22,5 m<sup>n</sup><sup>3</sup>/h bij waterstof) de gemeten gas concentratie voor aardgas lager dan voor waterstof. Bij de ventilatieopeningen is zowel de concentratie aardgas in lucht als waterstof in lucht groter dan in de kast. De concentraties van aardgas (in lucht) in vergelijking met waterstof (in lucht) is ongeveer de helft zo groot.
- Bij een kleiner lekdebiet neemt de ratio tussen de gemeten aardgas concentratie versus de gemeten waterstof concentratie in de behuizing af. Bij kleine(re) lekken is dit ongeveer 1:2,5. Bij grote lekken is deze ratio ongeveer 1:2. Het ontwerp van de kast lijkt van invloed op de gemeten concentratie.



### Mechanisch ontwerp van behuizingen

Wanneer de constructies van de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation wordt bekeken, zijn er eisen met betrekking tot ventilatie volgens de NEN:1059, 2019; 7.3.11 en NEN-EN-IEC 60079-10-1 van toepassing. Door de ventilatievoud aan te passen, kan de verversing van lucht in de kast bevorderd worden. Dit kan met behulp van onder, boven en dwarsventilatie.

De positionering en de afmeting van de ventilatieopeningen zijn hierbij vooral van belang. Op basis van bovenstaande waarnemingen is specifiek naar de constructie van de behuizingen gekeken.



Figuur 17. Kleine behuizing (1/2m<sup>3</sup> kast) links en grote behuizing (4m<sup>3</sup> kaststation) rechts

Bij de 1/2m<sup>3</sup> behuizing zijn zowel aan de bovenzijde als de onderzijde ventilatieopeningen te herkennen. De behuizing scharniert over de korte zijde van de kast en valt in dicht positie over de basis van het gasregelstation. Hierdoor zijn aan de onderzijde van de kast ventilatieopeningen aanwezig. De vlakke dakconstructie is qua oppervlakmaat net groter dan de basis van de kast en valt over de vloermaat van de behuizing heen. Tussen de body van de kast en het dak zitten tevens ventilatieopeningen rondom. Hierdoor kan natuurlijke trek en dwarsventilatie plaatsvinden. De posities voor ventilatie zijn met gele pijlen aangeduid in figuur 15.

Wanneer het 4m<sup>3</sup> kaststation wordt bekeken, is te zien dat ventilatie alleen via de bovenzijde van de kast kan plaatsvinden. De kast staat op een fundering (antracietgrijs) die volledig afdicht. Ook zijn geen andere ventilatieopeningen geplaatst. De gepunte dakconstructie is qua oppervlakmaat net groter dan de basis van de kast en valt zo over de behuizing heen. Tussen de body van de kast en het dak zitten ventilatieopeningen rondom. Deze kast kan enkel ventileren via deze openingen. Doordat het hoogste punt in de kast geen ventilatieopeningen heeft, kan gas zich ophopen in het dak van de kast. Omdat er geen dwarsventilatie kan plaatsvinden door afwezigheid van lage ventilatiepunten, ventileert het 4m<sup>3</sup> kaststation minder goed dan de 1/2m<sup>3</sup> kast.

Bovenstaande is tevens terug te zien in de gasconcentratie metingen. Het zou verklaren waarom de gemeten aardgas of waterstof concentraties aan de ventilatieopeningen hoger zijn dan de gemeten concentraties dicht bij het lek voor het 4m<sup>3</sup> kaststation. Door stratificatie wordt lucht (van buiten de behuizing) in geringe mate gemengd met het gas-lucht mengsel in het kaststation. Dit proces verdunt het gas-lucht mengsel in de behuizing wellicht onvoldoende om de gemeten gasconcentratie te doen dalen. Er zal verder onderzoek nodig zijn om dit beter te begrijpen waartoe in dit rapport aanbevelingen gedaan zullen worden.

### Lekdebiet en ventilatievoud in relatie tot de NEN 1059

Wanneer bovenstaande bevindingen naast de NEN:1059, 2019 norm gelegd worden, kan worden vastgesteld dat er voor aardgas zowel in de behuizing als aan de ventilatieopeningen een aantal metingen de mate van ventilatie onvoldoende is. Wanneer dezelfde analyse voor waterstof gedaan wordt, is dit aantal groter hetgeen ook een gevolg is van de ruimere ontstekingsgrenzen voor waterstof. Het gaat hierbij dan om aanzienlijke lekdebieten voor zowel aardgas en waterstof, kijkend naar de tabellen zoals eerder in dit hoofdstuk gepresenteerd. Ook moet hierbij opgemerkt worden dat metingen boven de 10% LFL waterstof buiten de behuizing op 0,5 meter afstand alleen worden waargenomen voor lekken van  $6\text{m}_n^3/\text{h}$  en groter.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de gekozen lekopening leidde tot aanzienlijke lekdebieten, die niet statistisch waarschijnlijk worden geacht. De huidige methodiek volgens de NEN1059;2019 gebruikt de lekopening voor het definiëren van de benodigde ventilatie. Het strekt daarom tot de aanbeveling om de lekopening zoals nu gedefinieerd in de NEN1059:2019 tegen het licht te houden. Een goede optie zou zijn om deze in lijn te brengen met de NEN-EN 60079-10-1 waardoor de lekopening tot aanzienlijk lagere lekdebieten zal leiden. In de NEN-EN 60079-10-1 staan lekkages specifiek uitgesplitst in verschillende categorieën met verschillende groottes en oorzaken.

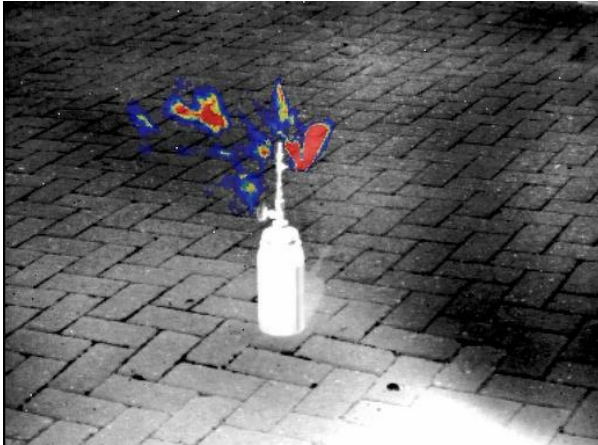
Hierbij kan het onderzoek naar 1000 gasstations op aardgas zoals aangestipt in paragraaf 3 richtinggevend zijn en kunnen de resultaten voor het onderzoek “Hydelta Gasstations – Ventilatie” opnieuw bekeken worden. Dit geldt vooral wanneer de lekdebieten uit beide onderzoeken aanzienlijk verschillen.

In het huidige onderzoek zijn slechts twee behuizingen beproeft en rijst de vraag in hoeverre dit een representatie van alle gasregelstations betreft. De meeste behuizingen hebben een inhoud van  $1/2\text{m}^3$ , al worden ook andere formaten toegepast. Een inventarisatie van frequent toegepaste behuizingen voor gasregelstations is met het oog op de kwaliteit van ventilatie (en de vereiste ventilatievoud van  $5\text{h}^{-1}$  volgens de NEN:1059, 2019) een ander gebied van aandacht. Het doel hierbij is om de gerealiseerde ventilatie te vergelijken met de vereiste ventilatievoud.

De ventilatie in de behuizing kan door het wijzigen van het ontwerp geoptimaliseerd worden als dit nodig mocht zijn. Hiervan is pas sprake wanneer onderzoek met een realistisch lekdebiet is afgerond. Hiervoor is een aanbeveling opgesteld.

## 5. Visualisatie met een Esders Gas-cam

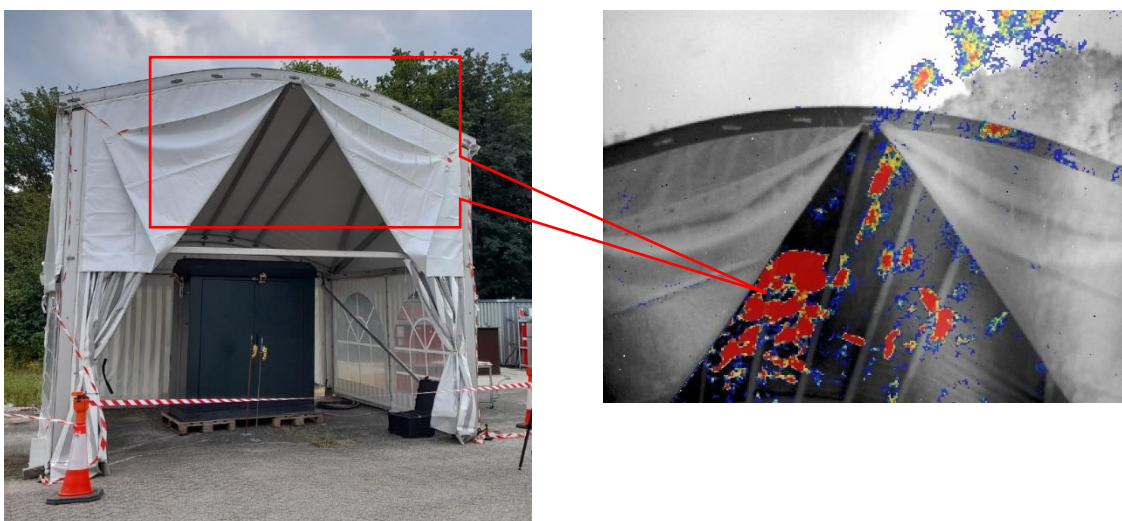
Tijdens de experimenten met aardgas is er tevens voor gekozen om voor een aantal metingen opnames te maken met een Esders gas-cam. Al deze metingen zijn gedaan in een windluwe situatie waarbij een tent om de opstelling heen is geplaatst. Een minimale ventilatievoud is altijd noodzakelijk om veilig te kunnen werken en ophoping van gas te voorkomen. De specifieke camera techniek kan de stroming van aardgas visualiseren met kleur opnames waarbij de range van kleur (tussen blauw en rood) een indicatie van de aardgasconcentratie geeft. De camera visualiseert de aardgas concentratie in een 2D opname. Dergelijke technieken zijn voor waterstof nog niet beschikbaar.



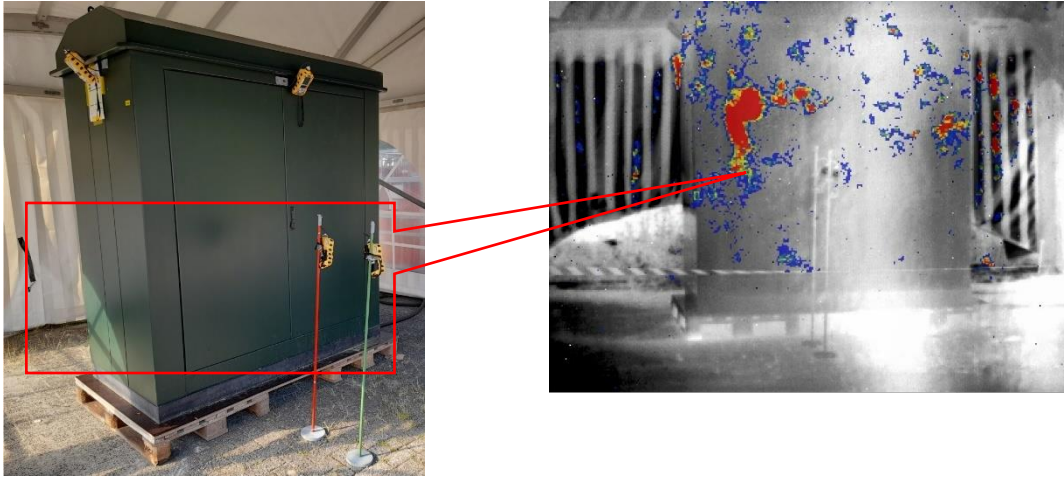
Figuur 18. Een gasfles met vrije uitstroom van aardgas, opgenomen met de Esders Gascam.

De opnames zijn gemaakt voor een lekdebieten van  $0,1 \text{ m}_n^3/\text{h}$ ;  $0,45 \text{ m}_n^3/\text{h}$ ;  $4,6 \text{ m}_n^3/\text{h}$  en  $6 \text{ m}_n^3/\text{h}$  in een binnen-/ windluwe situatie .

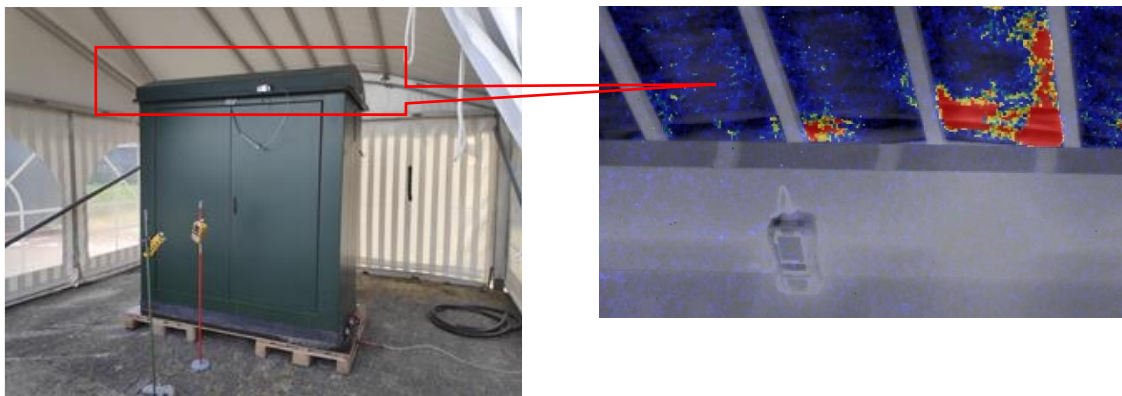
Allereerst is gekeken naar de tent (binnen-/ windluwe situatie ) met het oog op het gedrag van gasstroming rond het kaststation, bij de deuren en bij de ventilatie openingen. Ook is gekeken naar de uitstroming van gas uit de tent met het oog op veiligheid om zeker te zijn dat ophoping niet zal plaatsvinden. Hiervan zijn onderstaand enkele opnames samengevat.



Figuur 19. Gedrag van aardgas bij uitstroming uit de tent



Figuur 20. Gedrag van aardgas bij uitstroming langs de deuren



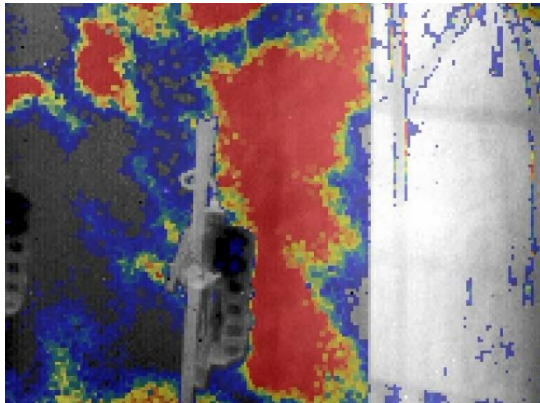
Figuur 21. Gedrag van aardgas bij uitstroming door de ventilatie openingen

Als alle opnames worden bekeken is het vooral illustratief om een vergelijk te maken tussen grote lekken en kleine lekken. Hierbij is het belangrijk om het gedrag goed in beeld te brengen. Wanneer dit wordt gedaan, valt het vooral op dat de gaswolken die ontsnappen via zowel de deuren als de ventilatie openingen een periodiek karakter hebben. Momenten van relatief rust worden afgewisseld met sterk verhoogde concentraties van gas in wolkvorm. Dit periodieke gedrag is meer van toepassing op kleine lekken in vergelijking met grote lekken. Bij die laatste is het gedrag constanter en zijn de gemiddelde gaswolken groter.

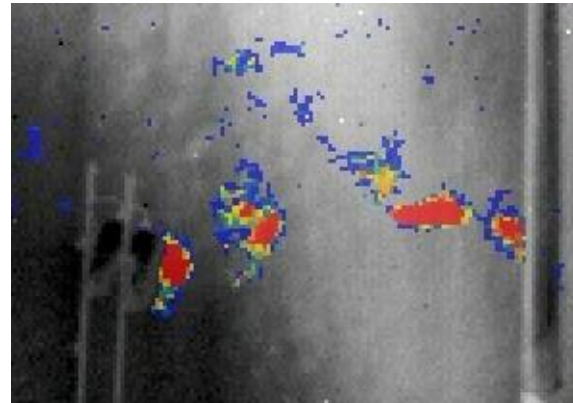
Tevens dient een kanttekening gemaakt te worden met betrekking tot het gedrag van het gelekte aardgas en de positie van de sensoren. Het drijfvermogen van aardgas ervoor zorgt dat ontsnapt gas uit het kaststation snel stijgt. De MultiRae sensoren rond het kaststation (op 0,5 meter en 1 meter) staan op 1 meter boven grondniveau. Hierdoor wordt slechts een deel van het ontsnappend aardgas door de sensoren geregistreerd en komt het grootste deel van het ontsnappend gas (via de ventilatie openingen) niet direct langs de sensoren.



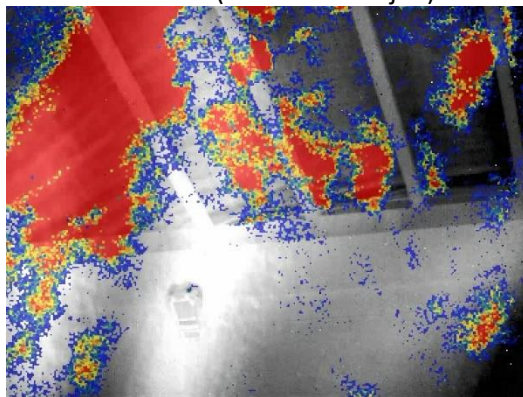
Op basis van de camerabeelden lijkt er geen verschil te zijn tussen de hoeveelheden gas die ontsnappen via de ventilatie openingen of de deuren van de kast bij eenzelfde lekdebiet.



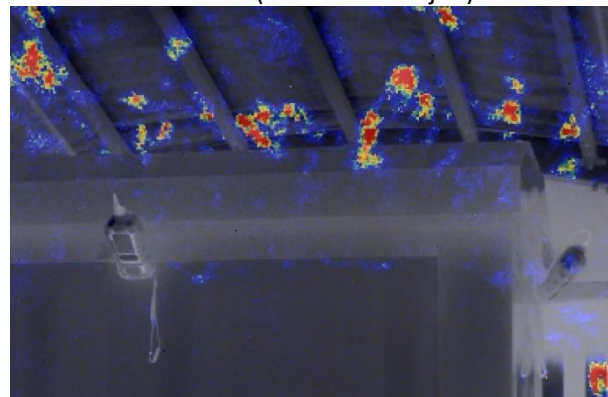
Groot lek (deuren voorzijde)



Klein lek (deuren voorzijde)



Groot lek (ventilatie)



Klein lek (ventilatie)

*Figuur 22. Gedrag van aardgas bij uitstroming langs de deuren (voor grote en kleine lekken)*

Op basis van de camerabeelden is met behulp van een Sewerin lekzoeker gemeten aan het uitstroombegedrag van gas en de gemeten aardgas of waterstof concentraties. Hierbij is vooral gemeten boven de ventilatie openingen. Zowel voor grote als voor kleine gaslekken geldt dat de verhoogde aardgas of waterstof concentraties periodiek van karakter zijn.

In onderstaande “stills” uit een korte opname is te zien hoe de gemeten concentraties in zeer korte tijd kunnen oplopen waarbij de gemeten waarde door de Multi-rae gasmeters achterblijft bij de gemeten waarde door de Sewerin lekzoeker. Dit bevestigt het periodieke gedrag van gas, ontsnappend via de ventilatie openingen.



Gemeten concentratie (t = 22 sec), 40 ppm



Gemeten concentratie (t = 34 sec), 0,15 vol%

*Figuur 23. Gedrag van aardgas of waterstof concentratie met de Sewerin Lekzoeker*

Voornaamste punt dat moet worden meegenomen, kijkend naar deze resultaten, is dat het wolkerige gedrag van gas ontsnappend uit de kast met enige vertraging doorkomt op de Multirae's gasmeters. In een eerdere rapportage van DNV-GL (Proefopstelling verspreiding waterstof in de meterkast – OGNL.10130282-071) is al eens gesproken over periodieke fluctuaties in de aardgas of waterstof concentratie rond een meterkast opstelling. Tijdens deze metingen werd er voor sommige experimenten melding gemaakt van schommelingen in de gemeten aardgas of waterstof concentraties die mogelijk verband kunnen hebben met de ophoping van gas in een behuizing waar een quote uit dit rapport luidt;

*Een verklaring zou kunnen zijn dat er eerst een gasophoping in de kast plaatsvindt waardoor er een extra ventilatie ontstaat (schoorsteeneffect) en de aardgas of waterstof concentratie vervolgens zakt. Indien de aardgas of waterstof concentratie afneemt, neemt ook de extra ventilatie af en vormt zich, na een bepaalde periode weer een stabiel evenwicht .... Dit zou de sinusbeweging van de aardgas of waterstof concentratie in de meterkast kunnen verklaren. Bij een schoorsteen is de trek minder bij koude lucht (rookgassen) dan bij warme lucht (rookgassen). Warm gas is lichter en stijgt sneller. Dit is vergelijkbaar met het verschil in dichtheid tussen waterstof en aardgas.*

De resultaten die zijn gevisualiseerd met de Esders Gascam® vormen samen met het in kaart brengen van het stromingsgedrag met de Sewerin lekzoeker en de aardgas of waterstof concentratiemetingen een extra verklaring voor dit gedrag en kan mogelijk duiden op gasophoping door een te lage ventilatiegraad.

## 6. Conclusies

Als onderdeel van HyDelta werkpakket Gasstations is onderzoek gedaan naar de ventilatie van behuizingen voor gasregelstations. Het voornaamste doel van het onderzoek is geweest om vast te stellen of standaard behuizingen ook qua ventilatie geschikt zullen zijn bij een overschakeling naar waterstof. Voor een tweetal specifieke behuizingen, een 1/2m<sup>3</sup> kast en een 4m<sup>3</sup> kaststation, is onderzocht hoe het lekdebiet zich verhoudt tot de aardgas- of waterstofconcentratie in en om de behuizingen.

Het bepalen van een representatieve gaslekage (aardgas) is uitdagend geweest. Dit is afhankelijk van verschillende factoren waaronder de configuratie van het gasregelstation, de leeftijd en het onderhoud. Door odorisatie is de geur aan aardgas ruikbaar vanaf 10.000 ppm (1 vol%). Uiteindelijk is gekozen om een lekopening van 1mm<sup>2</sup> te hanteren (genoemd in de bijlage van de NEN 1059; 2019). Op basis van verschillende voordrukken zijn daarna vijf lekdebieten gedefinieerd die als referentiepunt hebben gediend in dit onderzoek om een duidelijk vergelijk te kunnen maken tussen het gedrag van aardgas en waterstof.

Hiermee is gekeken of er sprake kan zijn van een ontsteekbaar mengsel buiten de kast bij de huidig toegepaste ventilatie en verschillende lekdebieten, zowel voor aardgas als voor waterstof. Hiervoor zijn aan de hand van een testprogramma ventilatietesten uitgevoerd voor de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation in een buitensituatie en een windluwe situatie (waarbij de behuizing in een tent geplaatst is).

- ✓ Er is gebleken dat zowel de kast als kaststation worden geconcludeerd dat waterstof vaker kan leiden tot een brandbaar mengsel bij de ventilatieopeningen dan aardgas. Dit blijkt vooral het geval bij de grootste lekdebieten ( $\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Dit is terug te herleiden naar de combinatie van grotere lekdebieten en de ruimere ontstekingsgrenzen van waterstof in vergelijking met aardgas.
- ✓ Op basis van de resultaten is de invloed van wind goed waar te nemen door de bandbreedte van de waargenomen gasconcentraties bij de ventilatie openingen.
- ✓ Het gedrag van een aardgas- of waterstoflekage bleek verschillend voor de twee geteste behuizingen. Tevens is het opvallend dat voor beide behuizingen een andere relatie is vastgesteld (lineair versus logaritmisch) wanneer de gasconcentraties in de kast worden vergeleken met de gasconcentratie aan de ventilatieopeningen. De hypothese was dat de concentratie bij de ventilatieopening lager of gelijk is aan de concentratie gemeten in de behuizing. De hypothese bleek voor de 1/2m<sup>3</sup> kast te kloppen, maar niet voor het kaststation. Voor het 4m<sup>3</sup> kaststation is dit verband precies andersom. De gasconcentratie in de behuizing is gemiddeld hoger dan aan de ventilatieopeningen voor de 1/2m<sup>3</sup> kast. Het gedrag omtrent de ventilatie van deze behuizingen verloopt anders.
- ✓ Uit de onderzoeksvragen is naar voren gekomen dat de gekozen lekopening leidt tot aanzienlijke lekdebieten. De vraag hierbij is wel in hoeverre de geselecteerde lekopening en de gekozen lekdebieten realistisch worden geacht voor een gaslekage. De 1 mm<sup>2</sup> zou daarbij moeten worden beschouwd als een incident en niet als een reguliere lekkage/ storing. Naar de oorsprong van de definitie van deze lekopening is in samenspraak met de stuurgroep veel zoekwerk verricht, echter is de bron niet achterhaald.

Met bovenstaande uitkomsten is de vraag in hoeverre de binnenzijde van een behuizing voldoet aan ATEX zonering 2, bij de huidig toegepaste ventilatie en het maximale lekdebiet, zowel voor aardgas als voor waterstof?

De basis van bovenstaande normering ligt in het technisch dicht verklaren van de installatie volgens de volgens de NEN-EN 1127 Annex B (B.3 – “Enhanced tightness”) of de NPR-7910-1. Echter, omdat hele kleine lekkages niet meteen opgemerkt worden, is het raadzaam om het binnenste van de kast als ATEX zonering 2 in te delen waarbij de zone niet buiten de kast komt. Zo hoeft er buiten de behuizing niet gezoneerd te worden.

Over de ATEX analyse is contact geweest met een expert van GasUnie, waarbij de resultaten van de testen met de 1/2m<sup>3</sup> kast en het 4m<sup>3</sup> kaststation besproken zijn. Het advies hierover is om de beschouwing uit te voeren conform het lekdebiet en lekopening volgens de NEN-EN 60079-10-1 (Explosive atmospheres) waarbij een lekopening, afhankelijk van de gekozen uitgangspunten tussen de 0,025 en de 0,25 mm<sup>2</sup> wordt gebruikt (Table B.1 – “Suggested hole cross sections for secondary grade of releases”), hetgeen leidt tot aanzienlijk kleinere lekdebieten bij een druk van 8 bar (volgens de berekeningen).

Dit leidt vervolgens, in tegenstelling tot de uitgevoerde testen, tot veel lagere aardgas- of waterstofconcentraties in en rond de behuizingen. Hierbij wordt de kanttekening geplaatst dat de ventilatie zou moeten afhangen van het lekdebiet voor het definiëren van het percentage ventilatie oppervlak en niet altijd enkel van het vloeroppervlak.



## 7. Aanbeveling

Als opvolging van de eerste hoofdvraag in de inleiding van de rapportage ventilatie adviseert KIWA om de behuizingen van gasregelstations nader te bestuderen. Op basis van de twee behuizingen en de gekozen lekkages die zijn getest in dit testprogramma is naar voren gekomen dat, afhankelijk van het mechanisch ontwerp van de behuizing en de gekozen lekopening ( $1 \text{ mm}^2$ ), ophoping van gas kan plaatsvinden. Dit geldt zowel voor aardgas als waterstof waarbij voor die laatste de ventilatie belangrijker is vanwege de aanzienlijk grotere lekdebieten en de bredere ontstekingsgrenzen.

De volgende aanbevelingen worden gedaan;

- ✓ De bepaling van de ventilatievoud en de beschikbaarheid van ventilatie zijn plaats- en mechanisch ontwerp afhankelijk. Het gaat hierbij om windsnelheid en de oppervlakte van de ventilatieroosters. Er wordt een aanbeveling gedaan om de metingen in de rapportage te herhalen voor een kleinere, meer met de praktijk overeenkomende lekopening (met aardgas en waterstof) en tevens hiermee een ATEX berekening uit te voeren. Op basis van bovenstaande, wordt een lage ATEX zonering verwacht. Zo kan met zekerheid gezegd worden dat de behuizing in het geval van een lekkage voldoet aan de gestelde eisen.
- ✓ Aangezien in Nederland verschillende behuizingen voor gasregelstations worden toegepast, zou het voor de invoering van waterstof verstandig zijn om te kijken welke kasten er nu veelvuldig gebruikt worden. Deze kasten worden in eerste instantie vergeleken met een functioneel eisenpakket (met bijvoorbeeld ventilatiegraad, mechanisch ontwerp, verwacht lekdebiet) om zo een vergelijking te maken met de reeds geteste kasten. Er wordt de aanbeveling gedaan om een functioneel eisenpakket op te stellen en alle variabelen goed te begrijpen. Hierbij kan met behulp van CFD en/ of testen inzichtelijk gemaakt worden hoe een gasmengsel in een behuizing ontstaat, in hoeverre stratificatie een belangrijke rol vervult en hoe de ventilatie van een behuizing zorgt voor een goede verversingsgraad. Waar nodig kan daarna de geometrie van de gebruikte behuizing geoptimaliseerd worden.
- ✓ Tevens strekt het tot de aanbeveling om de lekopening zoals nu gedefinieerd in de NEN1059:2019 voor het bepalen van een ATEX zonering tegen het licht te houden. Een goede optie zou zijn om deze in lijn te brengen met de NEN-EN 60079-10-1 waarin met een kleinere lekopening wordt gerekend voor een storingssituatie.
- ✓ Op basis van de uitkomst van het lopend onderzoek naar (lekkages in) 1000 gasstations op aardgas is tevens aan te raden dit onderzoek "Hydelta Gasstations – Ventilatie" naast de bevindingen te houden. De uitkomsten van dit ventilatie onderzoek zullen mogelijk opnieuw beschouwd moeten worden wanneer blijkt dat de gekozen lekken uit dit onderzoek substantieel groter zijn dan een lekkage die in de praktijk voorkomt.

## Referenties

- [1] Nederlandse Norm NEN:1059 - 2019
- [2] Nederlandse Praktijk Richtlijn Explosieveiligheid NPR 7910-1 – 2021
- [3] Nederlandse Norm NEN-EN-IEC 60079-10-1 - 2021
- [4] K. Pulles, M. van der Laan, Zonering van gasstations, fase 2, Kiwa Technology, rapport GT-170223, maart 2021
- [5] R. Hermkens, T. Muselaers, E. Polman, S. Jansma, M. van der Laan, H. de Laat, B. Pilzer, K. Pulles, Toekomstbestendige gasdistributienetten, Kiwa Technology, rapport GT-170272, juli 2018
- [6] R. Hermkens, H. Freese, J. Caanen, Onderzoek naar waterstofuitstroom bij kleine toelaatbare lekken GT-180259, december 2018
- [7] A. van den Noort, J. Douma, T. van Wingerden, Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet, Netbeheer Nederland, DNV-GL, OGNL.184991, juli 2020
- [8] B. Bierling, H. Vlap, R. Bahlmann, Proefopstelling verspreiding waterstof in de meterkast – OGNL.10130282-071, Alliander, DNV-GL, OGNL.10130282-071, februari 2020
- [9] M.J. Ivings, S. Clarke, S.E. Gant, Area classification for secondary releases from low pressure natural gas systems, health and safety executive, RR630 Research Report, 2008.

## I Overzicht van vragen HyDelta WP1B

In dit werkpakket worden de volgende vragen behandeld

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? (nr. 207, zie KIWA rapport GT-200237)

Werking station:

- Zijn de huidige stations geschikt voor het veilig reduceren van waterstofgas (station in zijn geheel)? (nr. 206, zie HyDelta rapport – D1B.1 - Gasdrukregelaars op aardgas en waterstof)
- Welke effecten heeft het verhogen van de snelheid op de complete werking van het station? (nr. 213, zie HyDelta rapport – D1B.1 - Gasdrukregelaars op aardgas en waterstof)
- Zijn aanpassingen aan de behuizing noodzakelijk voor een veilig gebruik met H<sub>2</sub> en zo ja, welke? (ventilatie & aarding) (nr. 212, zie HyDelta rapport – D1B.3 - ventilatie)

Veilig werken aan en met stations op waterstof:

- Welke beheersmaatregelen (VWI) zijn noodzakelijk om een station in- en uit bedrijf te nemen? (nr. 208, zie HyDelta rapport – D1B.2 – Veiligheid bij werken aan gasstations)
- Kan op een veilige manier de druk vereffend worden indien een veiligheid is gevallen? (nr. 209, onderdeel van 208, zie HyDelta rapport – D1B.2 – Veiligheid bij werken aan gasstations)
- Is er een noodzaak voor 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 dat kan tot een grotere belasting van de filters leiden (nr. 173 zie HyDelta rapport – D1B.4 – Gasfilters)

## II Overzicht samenstelling begeleidings- en sparringsgroep

Tabel 6 – Samenstelling begeleidingsgroep en sparringsgroep

Naam	Werkgever	Begeleidingsgroep	Sparringsgroep
R. van Hooijdonk	Enexis	V	V
J. Jonkman	Rendo	V	V
R. Scholten	Rendo	V	V
P. Versteegen	Alliander	V	V
R. Verhoeve	Stedin		V
J. Voogt	Enexis		V
S.J. Elgersma	Gasunie		V
M. van der Laan	Kiwa Technology	V	V
R. van Aerde	Kiwa Technology		
S. van Woudenberg	Kiwa Technology	V	V

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

III Foto's van de testopstelling



Figuur 24. De ½ m3 kast in een buitensituatie



Figuur 25. De ½ m3 kast met daarin het gasregelstation



Figuur 26. Het 4m3 kaststation in een buitensituatie



Figuur 27. Het 4m3 kaststation met daarin het gasregelstation



Figuur 28. MultiRAE Lite IR  
Aardgasdetector



Figuur 29. Riken Keiki NP 1000  
Waterstofdetector



Figuur 30. Esders Gas-cam®

## IV Gebruikte meetapparatuur

Tabel 7 – Gebruikte meetapparatuur details

Omschrijving	Fabrikaat en type	Kiwa-nr
Aardgasdetector	MultiRAE - Lite IR	114033
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114034
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114036
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114037
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114038
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114039
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114040
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114041
Aardgasdetector	MultiRAE Lite IR	114043
Waterstofdetector	Riken Keiki NP 1000	114633
MFM	Bronkhorst type F-106AZ	-
MFC	Bronkhorst, type F-202AC-FAC-55-V	-
Gas camera (methaan)	Esders Gas-cam® SG	-
Gasdetector	Sewerin Ex-Tec PM4	-

### Aardgas

- De Multirae hebben een meetbereik van 0 - 100% LFL en 0-100vol% aardgas).
- De vier Multirae sensoren die zijn gebruikt als meetpunt op grotere afstand (op 0,5 m en 1 m benedenwinds) van het gasregelstation hebben een meetbereik van 0 - 100% LFL en 0-100vol% aardgas.

### Waterstof

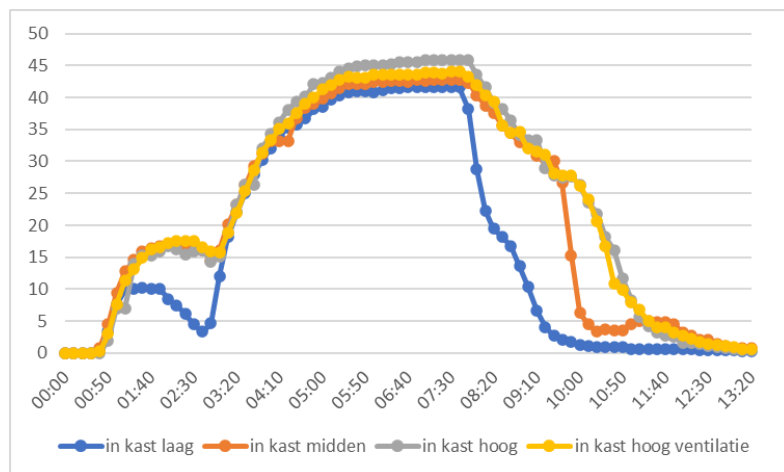
- De Riken Keiki sensoren hebben een meetbereik van 0 – 100 vol% waterstof.
- De vier Multirae sensoren die zijn gebruikt als meetpunt op grotere afstand (op 0,5 m en 1 m benedenwinds) van het gasregelstation hebben een meetbereik van 0-1000 ppm waterstof. Tevens zijn deze specifieke Multirae sensoren uitgerust met een 0 – 100% LFL sensor voor waterstof.



## V Meetresultaten – ½ m<sup>3</sup> kast buitensituatie

### Lekdebiet 7.5 m<sup>3</sup>/hr - aardgas

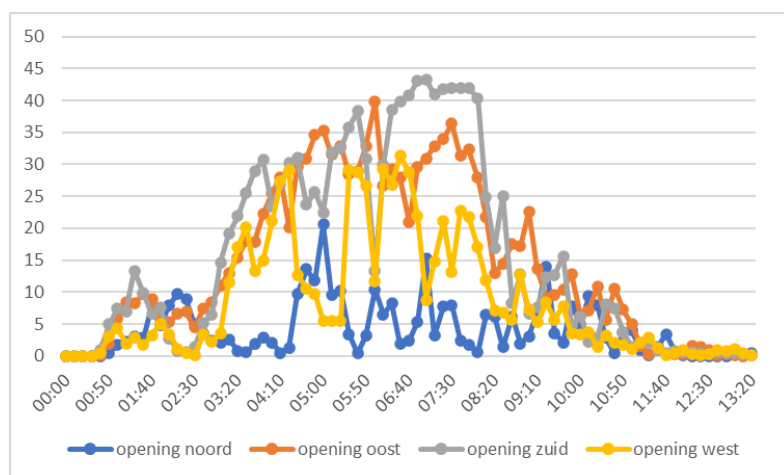
Bij de eerste test is een maximale lekopening conform de NEN 1059 gecreëerd bij een voordruk van 8 bar in de ½ m<sup>3</sup> behuizing waarbij de concentratie oploopt tot maximaal 46 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 2 tot 3, voornamelijk uit westelijke richting. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 31. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	21 Vol%	40 Vol%	43 Vol%	30 Vol%



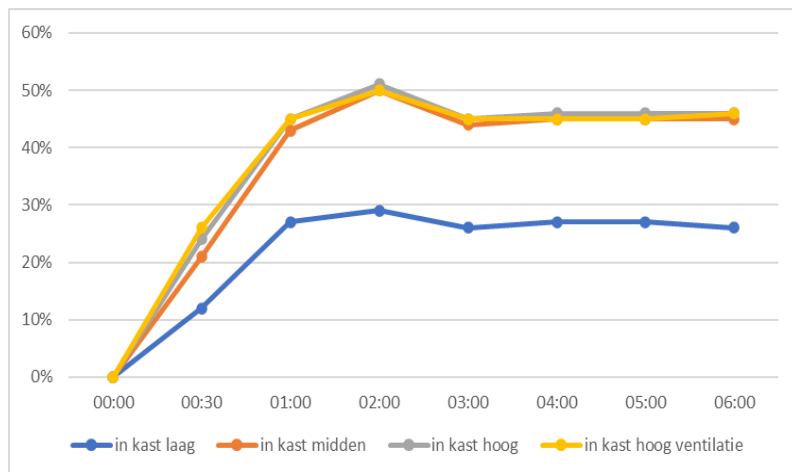
Figuur 32. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol% CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation op tot maximaal 23% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter afstand (oost) van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebit 22,5 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebit circa 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 50 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 1 tot 2, variërend tussen west, noordwest en noordoost.

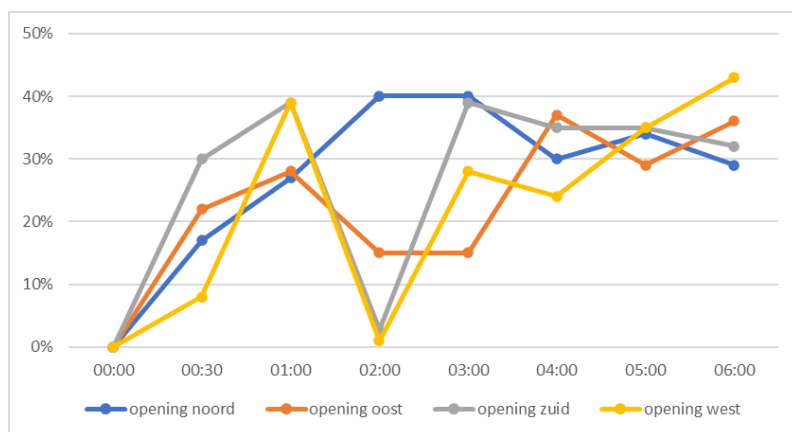
De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 33. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	40,0 Vol%	37,0 Vol%	39,0 Vol%	43,0 Vol%



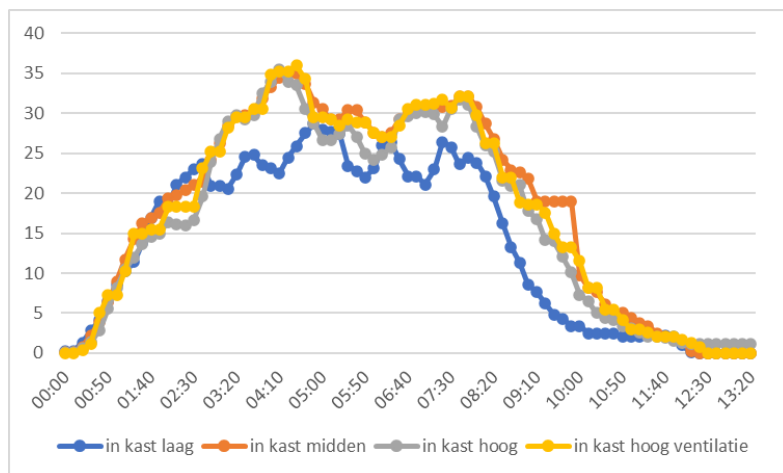
Figuur 34. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol% H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en deze waarde werd ook bereikt. Op een afstand van 0,5 meter (oost) is tevens een waarde van 100% LFL gedetecteerd.



### Lekdebiet 4,6 m<sup>3</sup>/h - aardgas

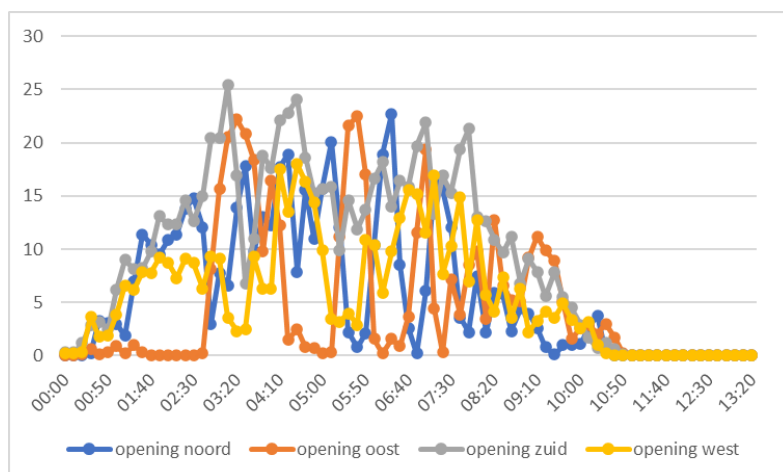
Bij een lek van 4,6 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 36 vol%. Tijdens dit experiment was de wind matig, windkracht 3 tot 4, stabiel tussen noord en noordoost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 35. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 4,6 m<sup>3</sup>/h

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	22,7 vol%	22,5 vol%	25,4 vol%	18,0 vol%



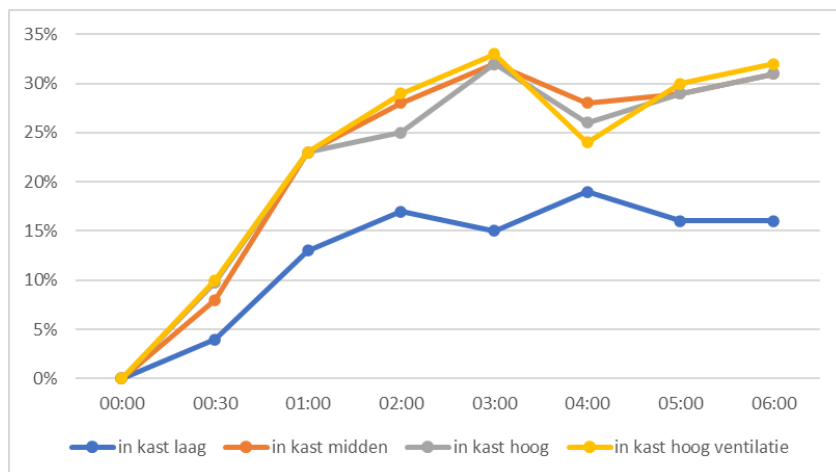
Figuur 36. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 4,6 m<sup>3</sup>/h.

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation op tot maximaal 13% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter afstand (oost) van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 12 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 12 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 33 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind matig, windkracht 4 tot 5, variërend tussen noord en zuidoost.

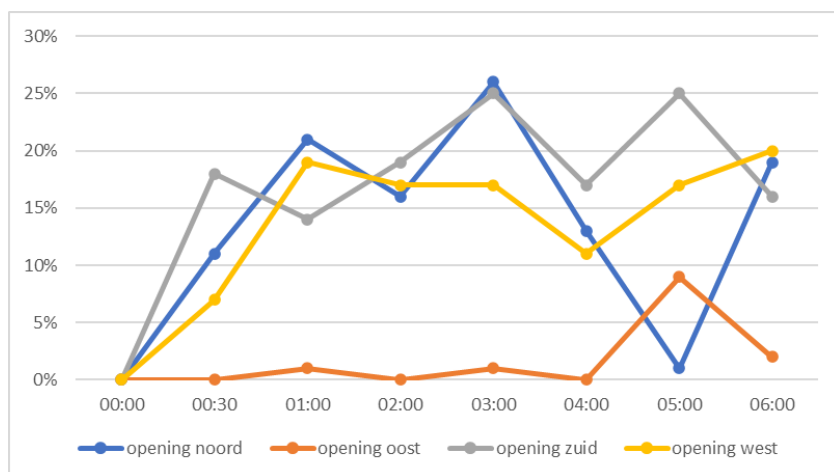
De concentratie op alle meetpunten in de behuizing stabiliseerde gedurende het experiment. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 37. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 12 m<sup>3</sup>/h waterstof

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	26,0 vol%	9,0 vol%	25,0 vol%	20,0 vol%

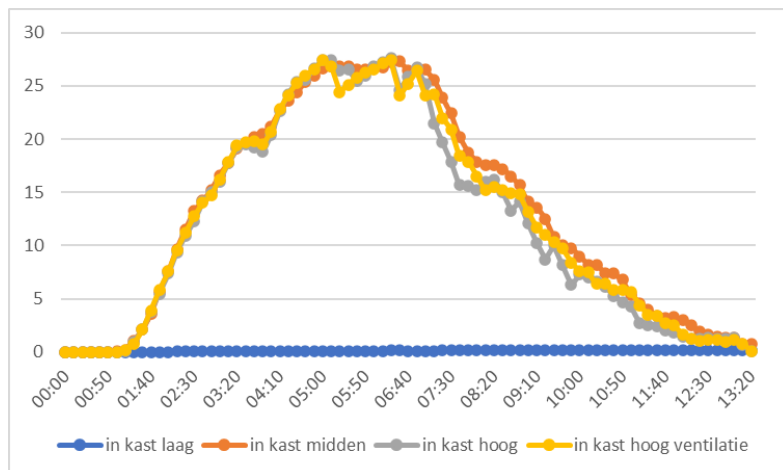


Figuur 38. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol % H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 12 m<sup>3</sup>/h waterstof

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en deze waarde werd ook bereikt. Op een afstand van 0,5 meter (oost) is tevens een waarde van 14% LFL gedetecteerd.

### Lekdebiet 3 m<sup>3</sup>/h - aardgas

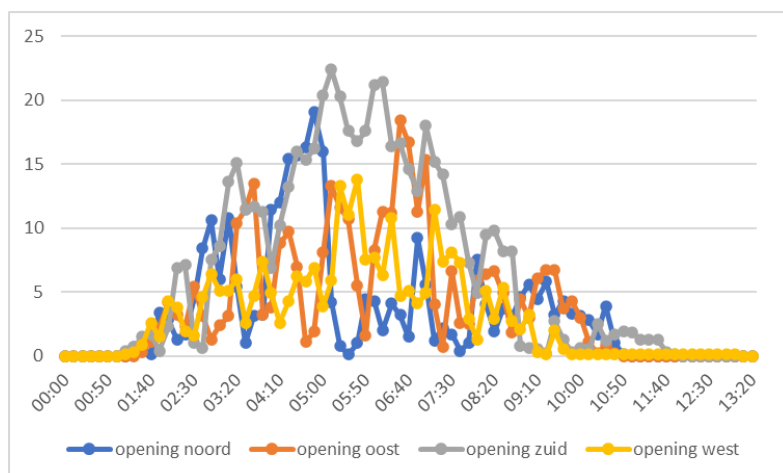
Bij een lek van 3 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 27 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 3, variërend tussen noord en zuidoost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 39. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	19,1 vol%	18,4 vol%	22,4 vol%	13,8 vol%



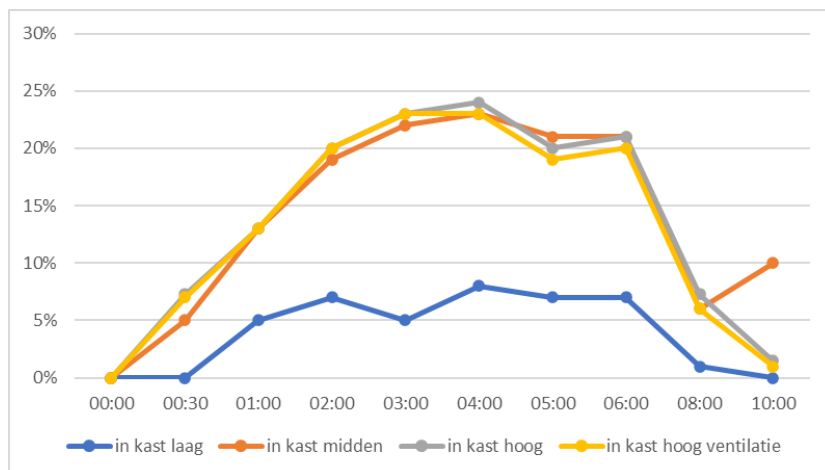
Figuur 40. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopening van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation op tot maximaal 6% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (west) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.

### Lekdebiet 6 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

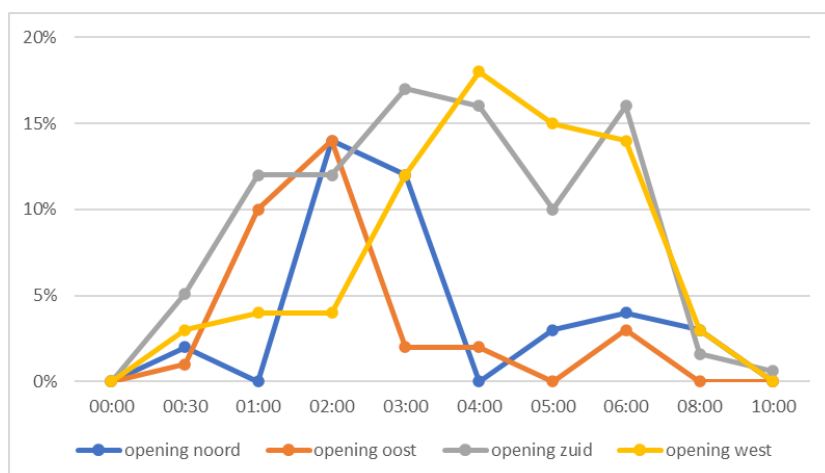
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 6 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 23 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind matig, windkracht 3 tot 4, variërend tussen noord en oost. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing bouwt op boven in de behuizing voor midden, hoog en ventilatie. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 41. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 6,7 m<sup>3</sup>/h waterstof

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	14,0 vol%	14,0 vol%	17,0 vol%	18,0 vol%

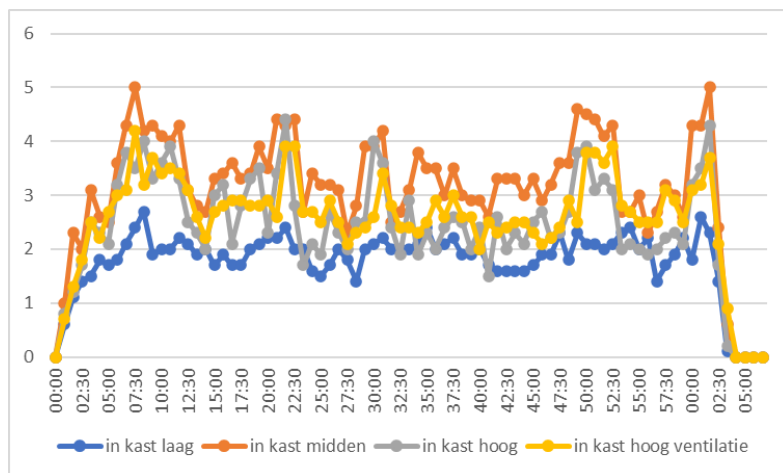


Figuur 42. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) bij de ventilatie openingen in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 6,7 m<sup>3</sup>/h waterstof

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en deze waarde werd ook bereikt. Op een afstand van 0,5 meter (west) is tevens een waarde van 13% LFL gedetecteerd.

### Lekdebiet 0,45 m<sup>3</sup>/h - aardgas

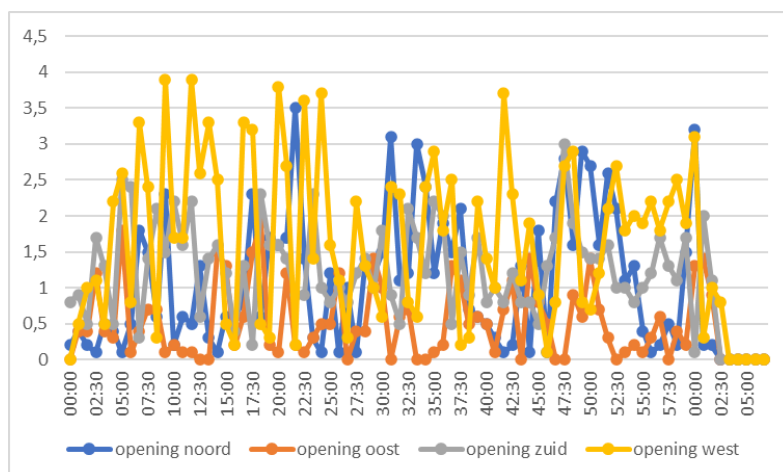
Bij een lek van 0,45 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 5 vol%. Tijdens dit experiment was de wind matig tot krachtig, windkracht 3 tot 6, variërend tussen noordwest en oost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 43. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	3,5 vol%	1,9 vol%	3,0 vol%	3,9 vol%

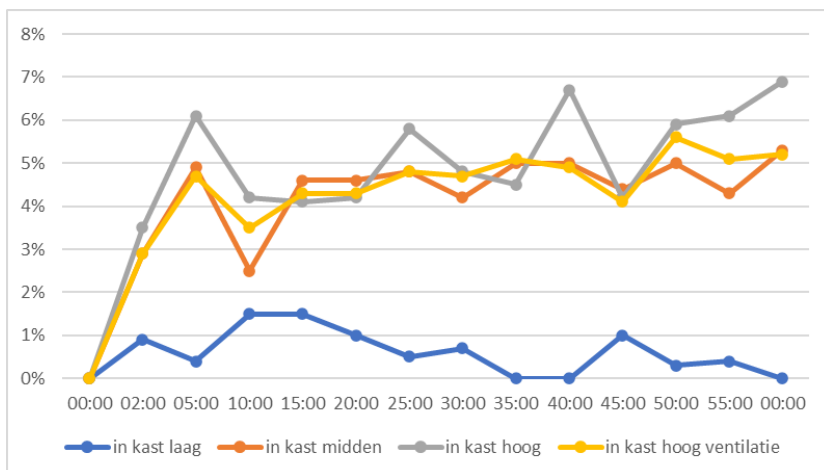


Figuur 44. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopening van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h.

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation incidenteel op tot maximaal 13% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (oost) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 0,9 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

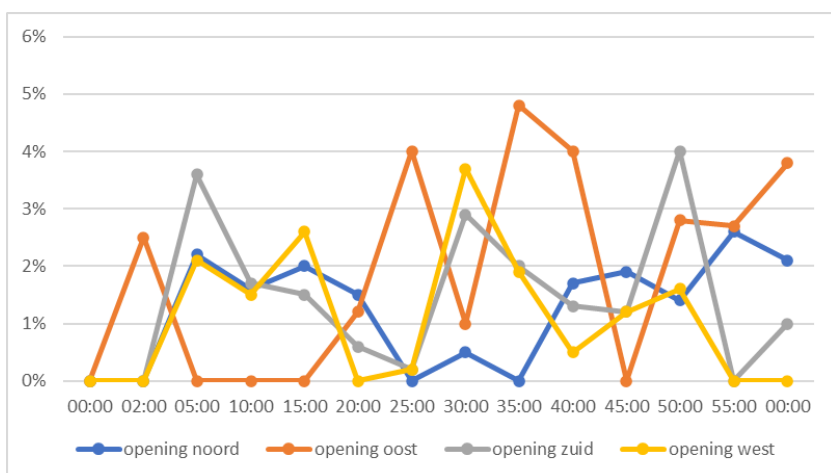
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,9 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 7 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind matig, windkracht 3 tot 6, variërend tussen noordoost en noordwest. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing bouwt op boven in de behuizing voor midden, hoog en ventilatie. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 45. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	2,6 vol%	4,8 vol%	4,0 vol%	3,7 vol%

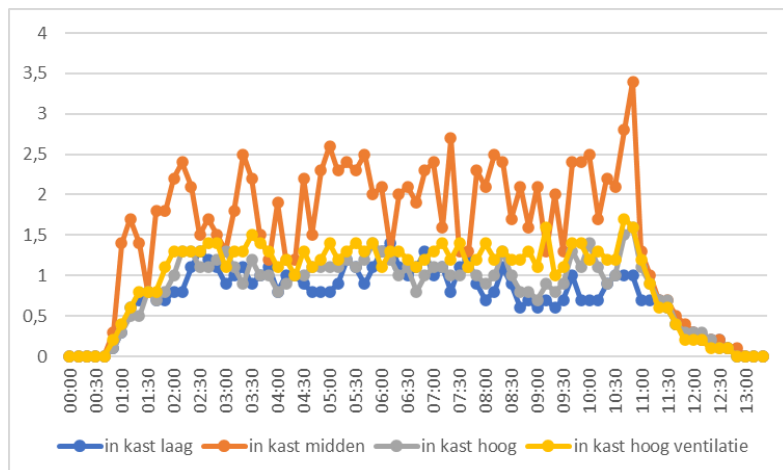


Figuur 46. Concentratie bij de ventilatieopeningen (vol% H<sub>2</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 160 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

### Lekdebiet 0,1 m<sup>3</sup>/h - aardgas

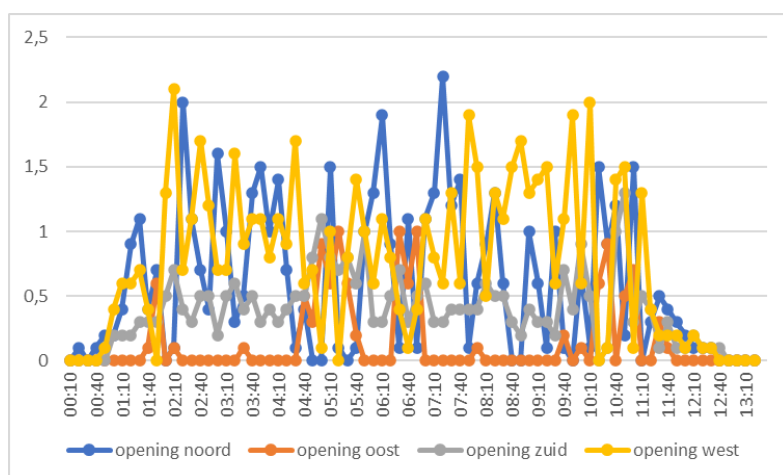
Bij een lek van 0,1 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 3,5 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 4, variërend tussen noord en noordoost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 47. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	2,2 vol%	1,0 vol%	1,3 vol%	2,1 vol%



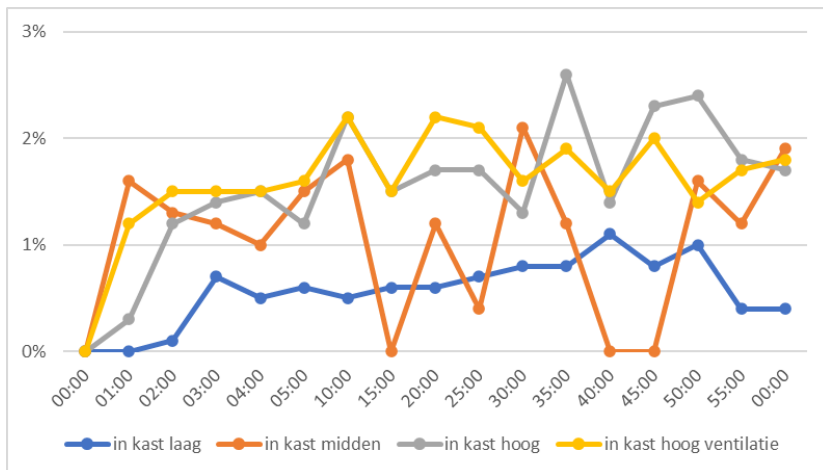
Figuur 48. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopening van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h

Op een afstand van 0,5 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.



### Lekdebiet 0,2 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

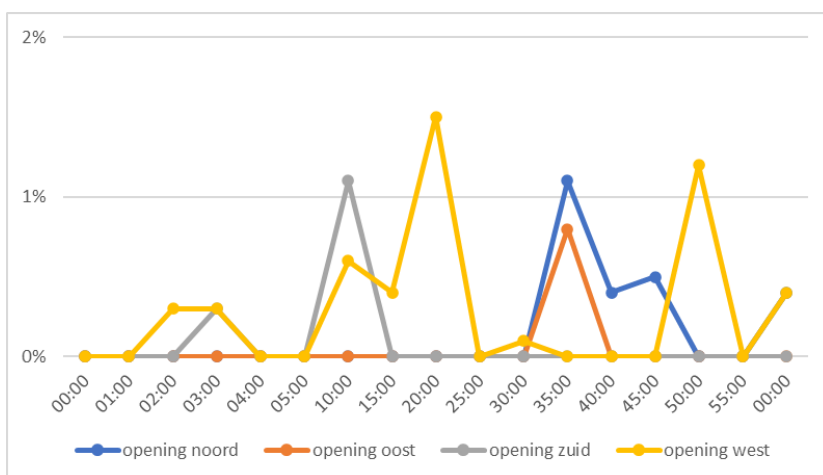
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,2 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 2,6 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 3, variërend tussen noord en oost. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft enkel gelijk gedurende het begin van de test. Onder invloed van wind wordt het beeld diffuser. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 49. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lek van 0,2 m<sup>3</sup>/h waterstof

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	1,1 vol%	0,8 vol%	1,1 vol%	1,5 vol%



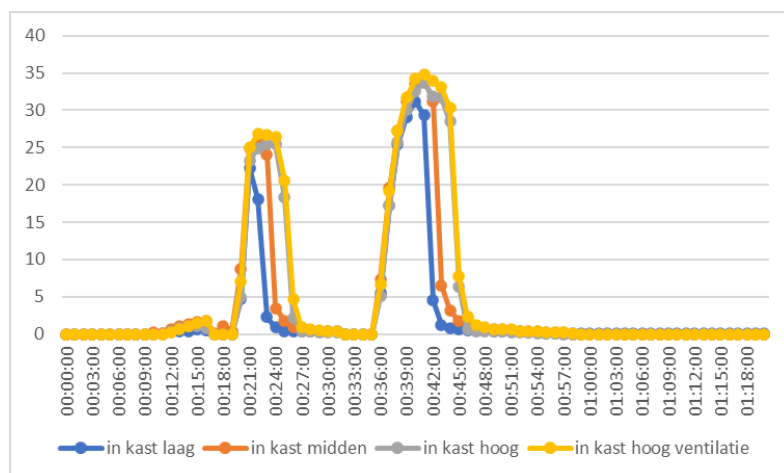
Figuur 50. Concentratie H<sub>2</sub> (vol%) bij de ventilatie openingen van de 1/2m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,2 m<sup>3</sup>/h.

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 200ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

## VI Meetresultaten ½ m3 kast, windluw

### Lekdebiet 3 m<sup>3</sup>/h - aardgas

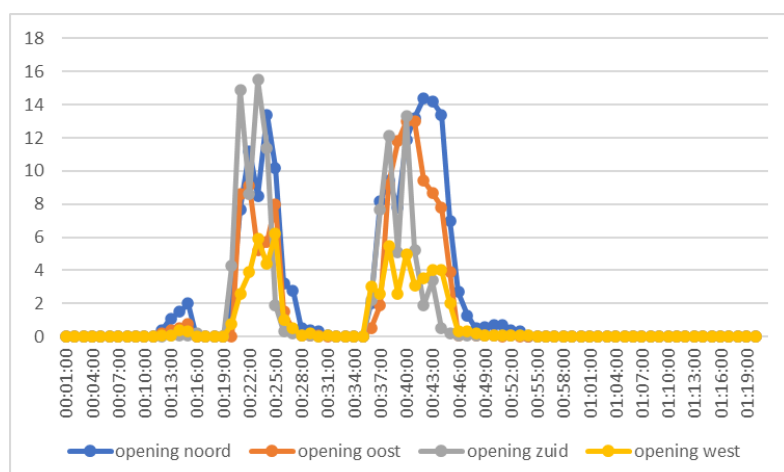
Bij een lek van 3 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 35 vol%. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie beïnvloedde. Gedurende deze meting is geen beïnvloeding waargenomen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden. Het experiment is kortstondig tweemaal uitgevoerd met het oog op de concentraties in de tent en de geringe ventilatie van deze windluwe situatie.



Figuur 51. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	14,4 vol%	13,0 vol%	15,5 vol%	6,2 vol%

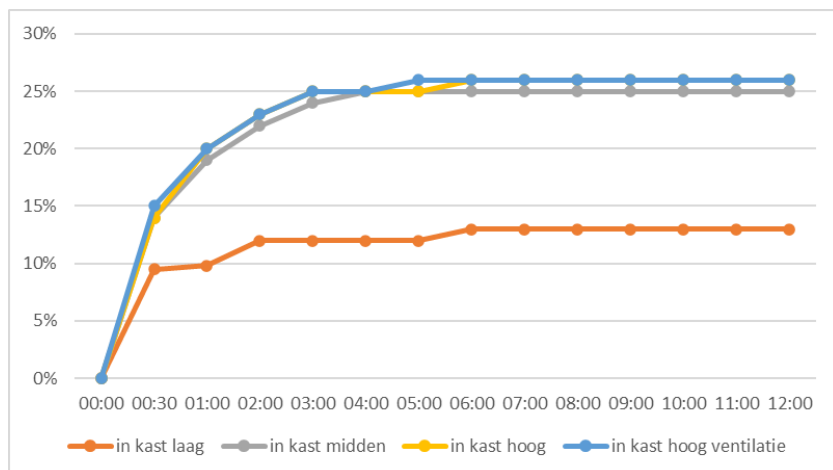


Figuur 52. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopening van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation incidenteel op tot maximaal 8% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (oost) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 6 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

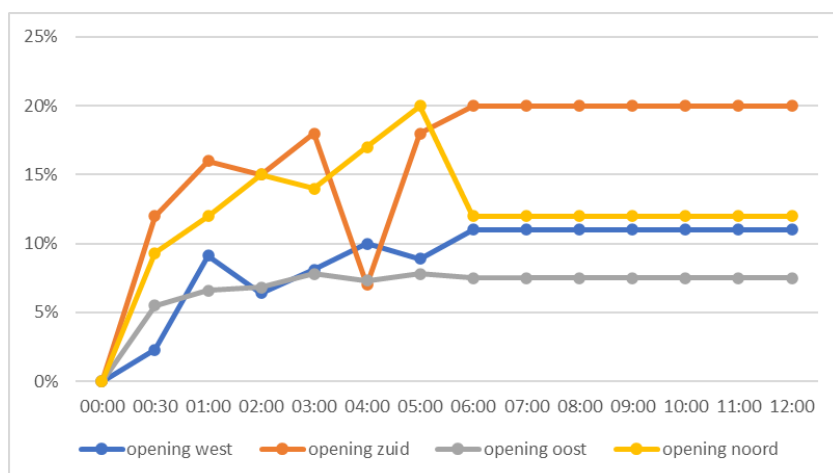
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 6 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 25 vol% in de behuizing. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoorde. Gedurende deze meting is geen beïnvloeding waargenomen. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 53. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 6,7 m<sup>3</sup>/h waterstof (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	20,0 vol%	11,0 vol%	20,0 vol%	7,8 vol%

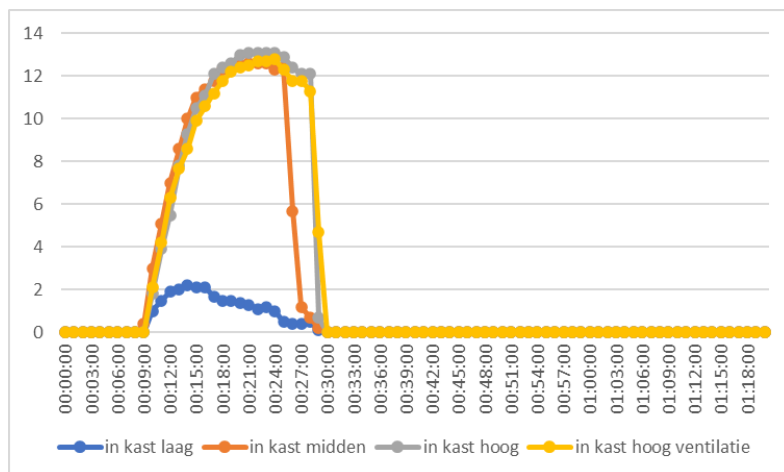


Figuur 54. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) bij de ventilatie openingen in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 6,7 m<sup>3</sup>/h waterstof (windluw)

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en deze waarde werd ook bereikt op zowel 0,5 meter als 1 meter (west). Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

### Lekdebiet 0,45 m<sup>3</sup>/h - aardgas

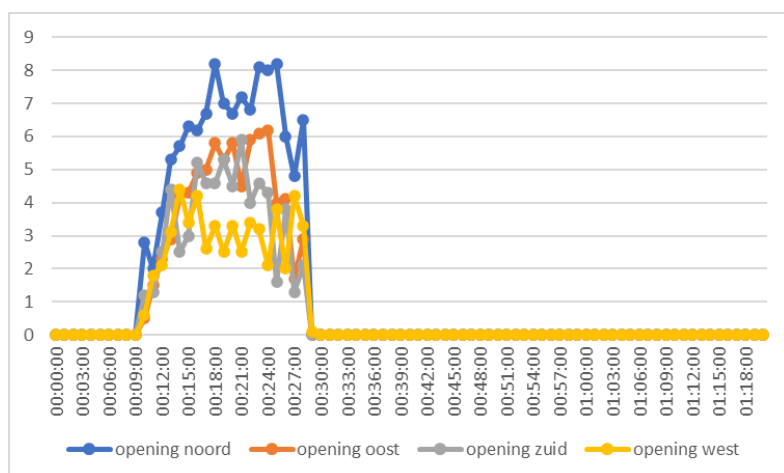
Bij een lek van 0,45 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 13 vol%. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoord. Gedurende deze meting is een kleine invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 55. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	8,2 vol%	6,2 vol%	5,9 vol%	4,4 vol%

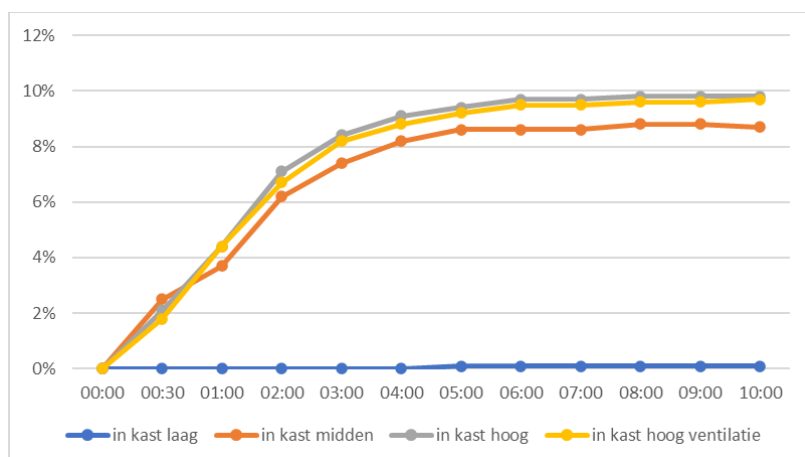


Figuur 56. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation incidenteel op tot maximaal 4% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (oost) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 0,9 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

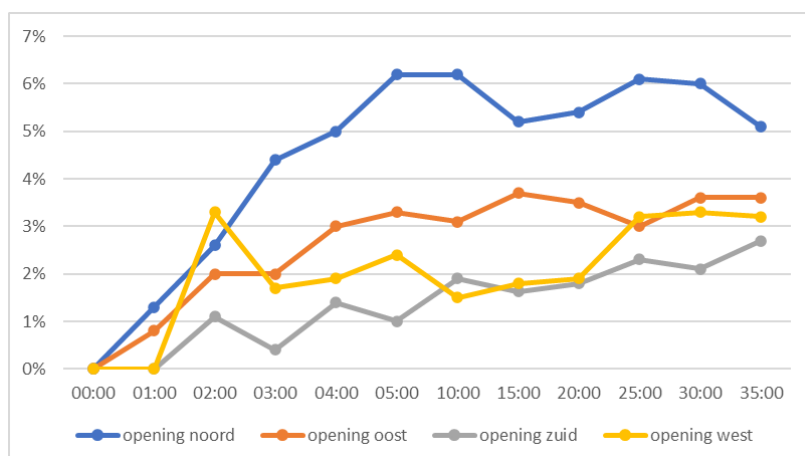
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,9 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 10 vol% in de behuizing. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoorde. Gedurende deze meting is geen beïnvloeding waargenomen. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 57. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof (windluw)\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	6,2 vol%	3,3 vol%	2,7 vol%	3,7 vol%



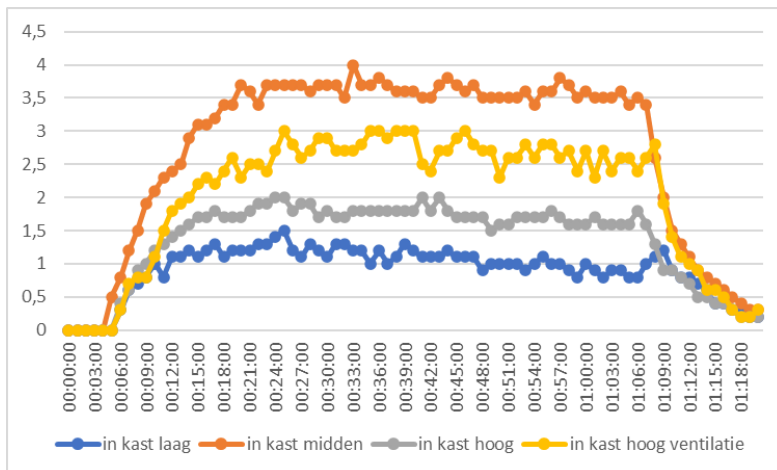
Figuur 58. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) bij de ventilatie openingen in de 1/2 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof (windluw)

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 500 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.

### Lekdebiet 0,1 m<sup>3</sup>/h - aardgas

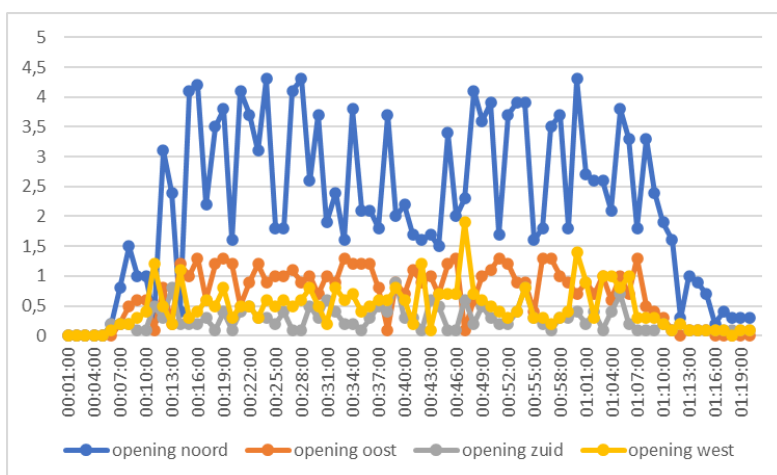
Bij een lek van 0,1 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 4 vol% in het midden van de behuizing rond het lek. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoord. Gedurende deze meting is een invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 59. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	4,3 vol%	1,3 vol%	0,9 vol%	1,9 vol%

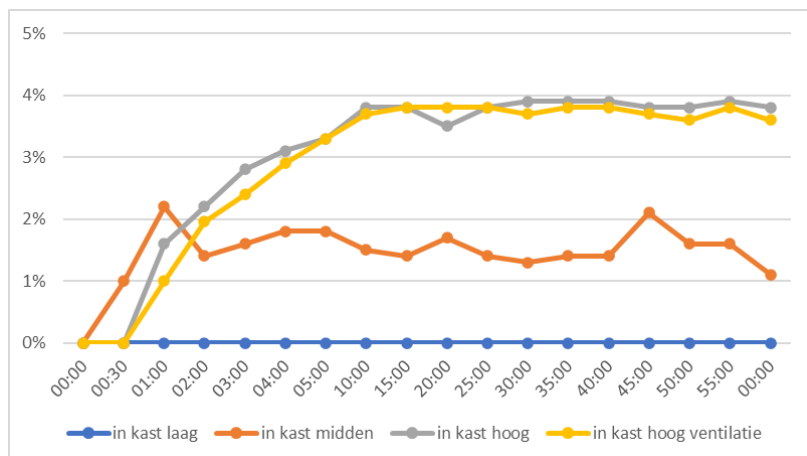


Figuur 60. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Op een afstand van 0,5 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

### Lekdebiet 0,2 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

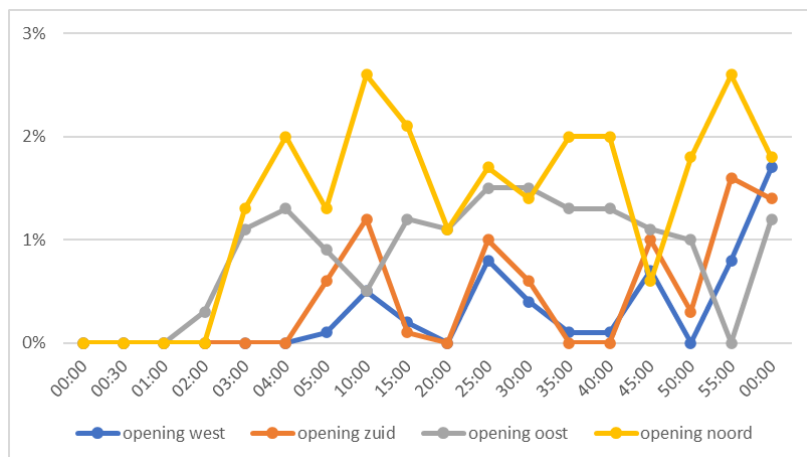
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,2 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 4 vol% in de behuizing. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoorde. Gedurende deze meting is geen beïnvloeding waargenomen. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 61. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,2 m<sup>3</sup>/h waterstof (windluw)\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	2,6 vol%	1,7 vol%	1,6 vol%	1,5 vol%



Figuur 62. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) bij de ventilatie openingen in de ½ m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,2 m<sup>3</sup>/h waterstof (windluw)

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 220 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

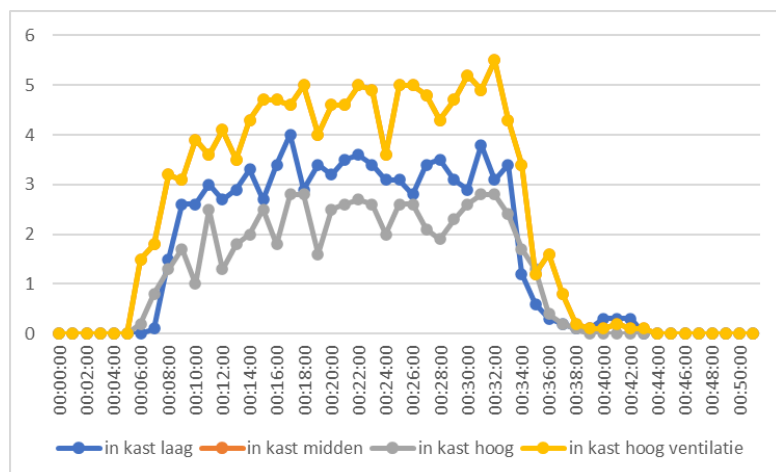
\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.



## VII Meetresultaten 4 m3 kast, buitensituatie

### Lekdebiet 7.5 m3/hr - aardgas

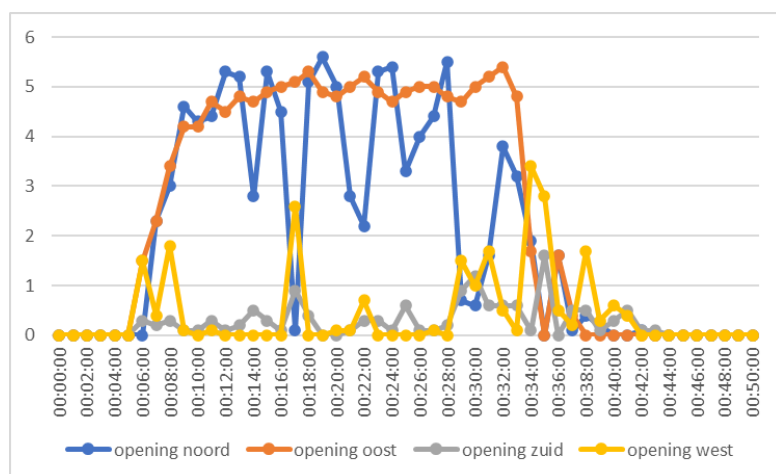
Bij de eerste test is een maximale lekopening conform de NEN 1059 gecreëerd bij een voordruk van 8 bar in het 4m<sup>3</sup> kaststation waarbij de concentratie oploopt tot maximaal 5,5 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 2 tot 3, variërend tussen zuid en west. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 63. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	5,6 Vol%	5,4 Vol%	2,4 Vol%	3,4 Vol%

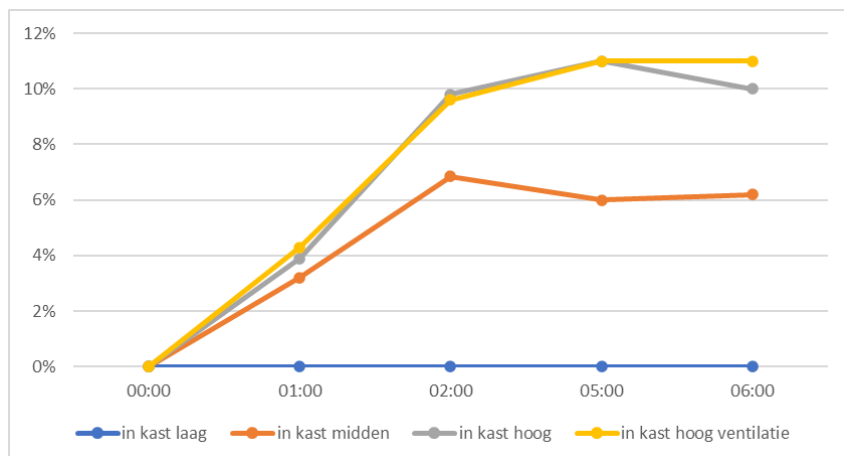


Figuur 64. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol% CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation op tot maximaal 12% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter afstand (oost) van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 22,5 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

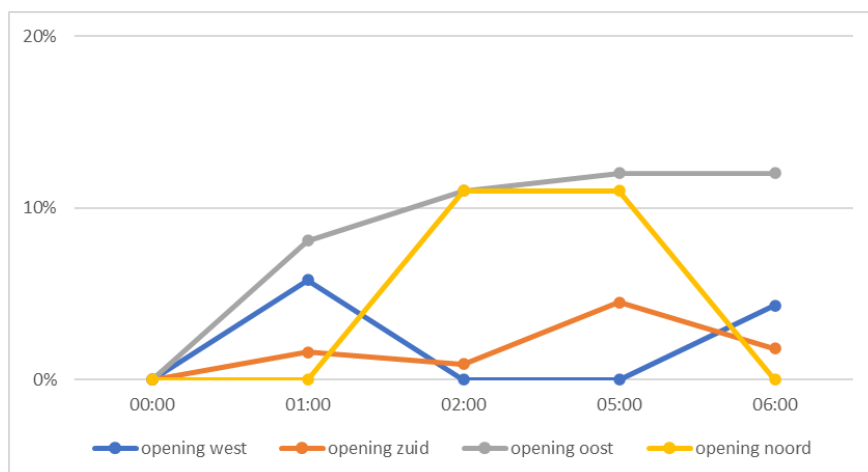
Wanneer met dezelfde voordruk en lekdebiet een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 22,5 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 11 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 1 tot 2, variërend tussen variërend tussen west, noord en noordoost. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 65. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar \*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	11,0 Vol%	12,0 Vol%	4,5 Vol%	5,8 Vol%



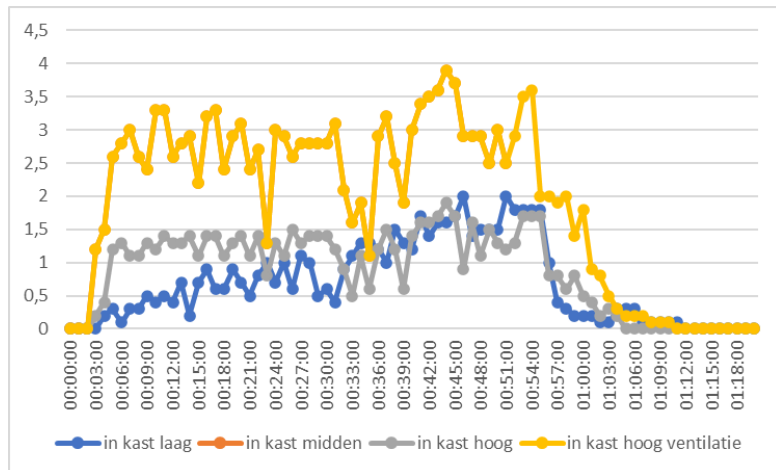
Figuur 66. Concentratie bij de ventilatieopeningen (vol% H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lek van 1mm<sup>2</sup> bij 8 bar

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 720 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd, waarschijnlijk door de korte duur van dit experiment.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.

### Lekdebiet 4,6 m<sup>3</sup>/h - aardgas

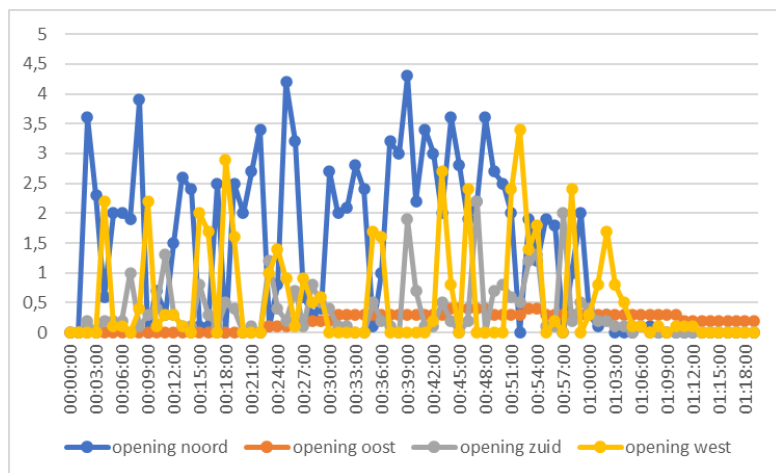
Bij een lek van 4,6 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van 3,9 vol%. Tijdens dit experiment was de wind matig, windkracht 3 tot 4 uit variabele richting. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 67. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 4,6 m<sup>3</sup>/h\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	4,3 Vol%	4,0 Vol%	2,2 Vol%	3,4 Vol%



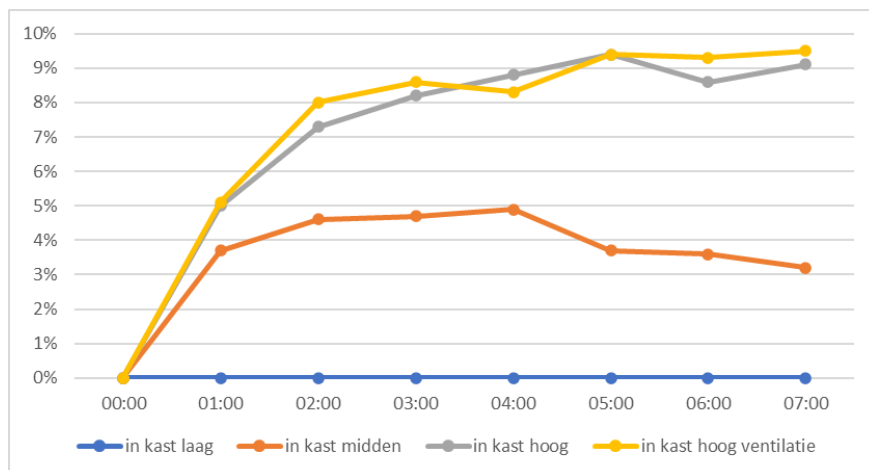
Figuur 68. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 4,6 m<sup>3</sup>/h.

Op een afstand van 0,5 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

\*)de meetwaarden voor de sensoren laag en midden zijn identiek. Geen verklaring voor deze meetfout.

### Lekdebiet 12 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

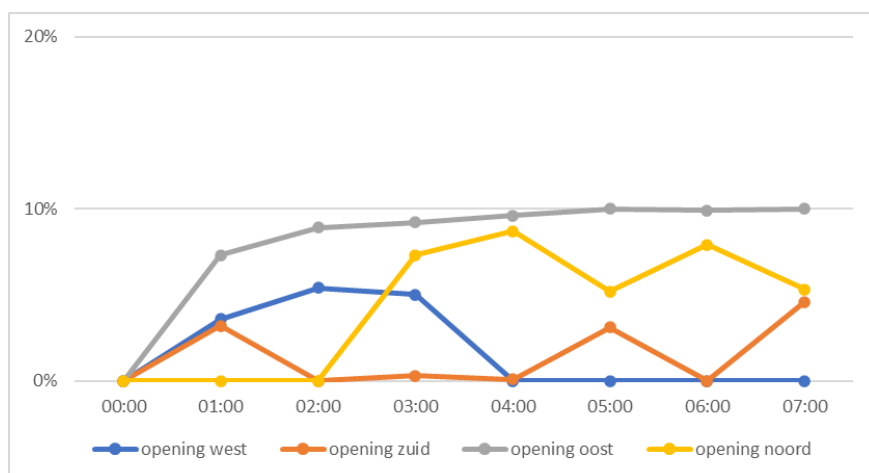
Wanneer met dezelfde voordruk lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 12 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 9,4 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 3, variërend tussen noordoost en oost. De concentratie hoog in de behuizing stabiliseerde gedurende het experiment. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 69. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 12 m<sup>3</sup>/h waterstof\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	8,7 Vol%	10,0 Vol%	4,6 Vol%	5,4 Vol%



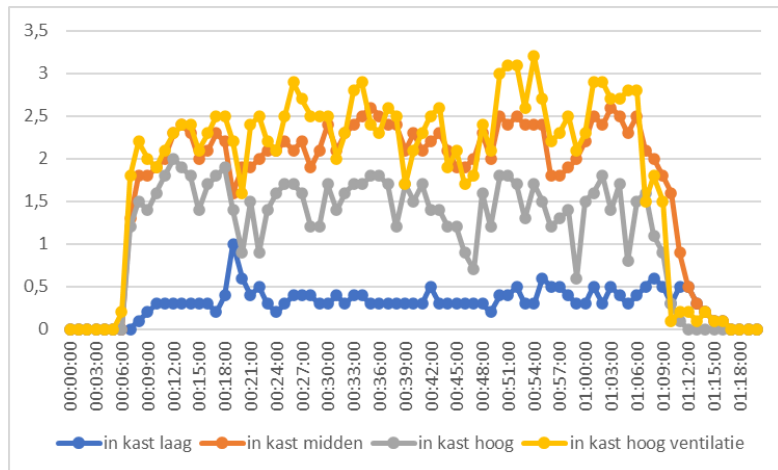
Figuur 70. Concentratie bij de ventilatie openingen (vol% H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 12 m<sup>3</sup>/h waterstof

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 710 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft geen waarden geregistreerd gedurende deze test.

### Lekdebiet 3 m<sup>3</sup>/h - aardgas

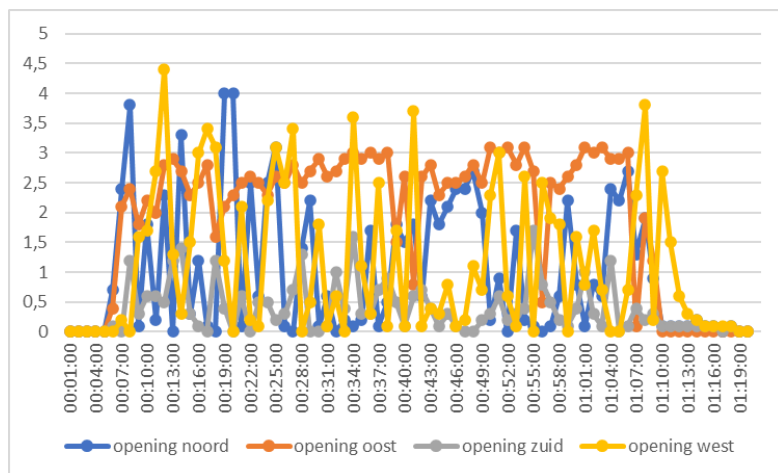
Bij een lek van 3 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van 3,2 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 4, variërend tussen noord en zuidoost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 71. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	4,0 Vol%	3,1 Vol%	1,7 Vol%	4,4 Vol%

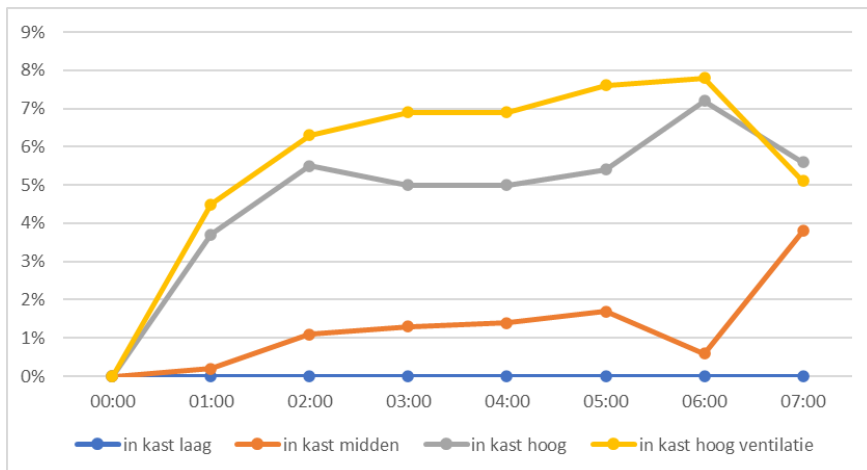


Figuur 72. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopening van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation op tot maximaal 4% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (oost) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 6 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

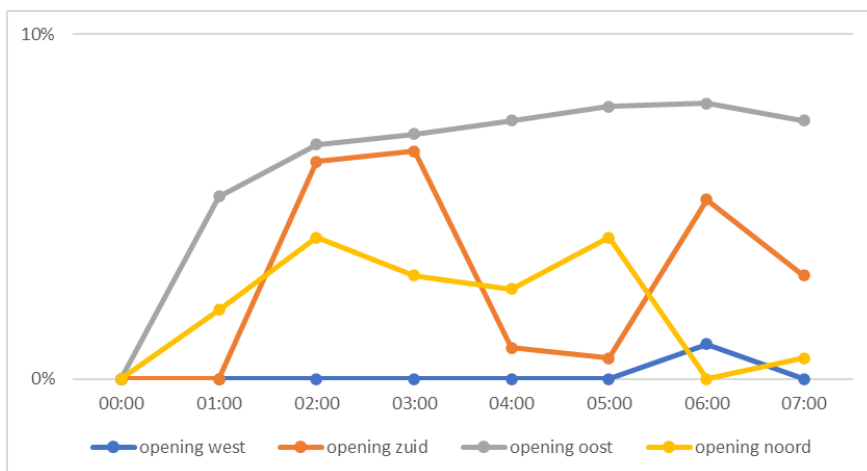
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 6 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 8 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 2, variërend tussen noord en west. De concentratie hoog in de behuizing stabiliseerde gedurende het experiment. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 73. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 6,7 m<sup>3</sup>/h waterstof\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	4,1 Vol%	8,0 Vol%	6,6 Vol%	1,0 Vol%



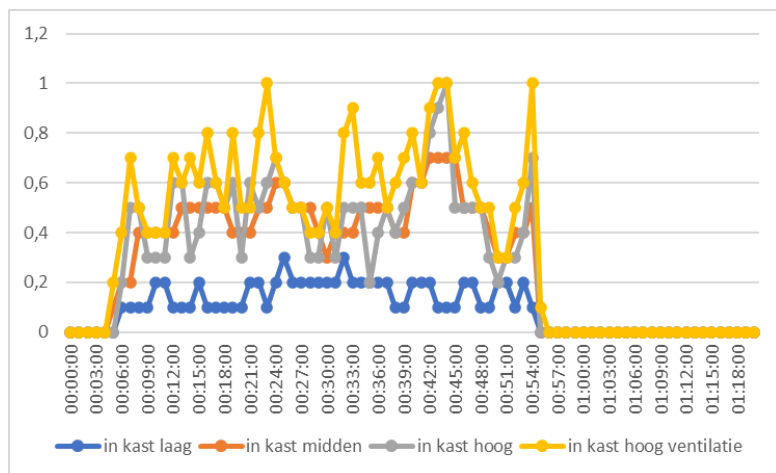
Figuur 74. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) bij de ventilatie openingen in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 6,7 m<sup>3</sup>/h waterstof

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 220 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.

### Lekdebiet 0.45 m<sup>3</sup>/h - aardgas

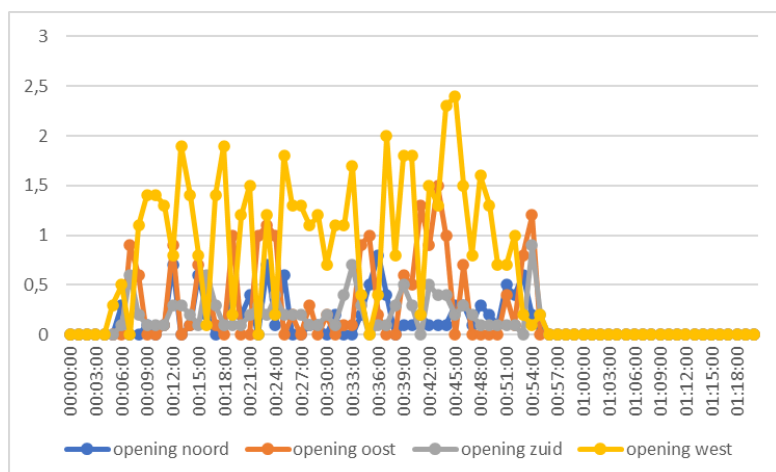
Bij een lek van 0,45 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van ongeveer 1 vol%. Tijdens dit experiment was de wind matig tot krachtig, windkracht 2 tot 3, variërend tussen noord en zuidoost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 75. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	0,8 Vol%	1,5 Vol%	0,9 Vol%	2,4 Vol%



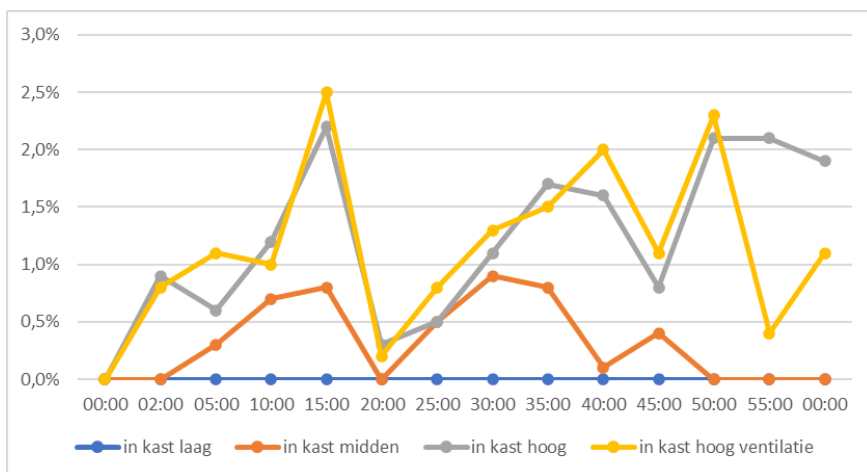
Figuur 76. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h.

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.



### Lekdebiet 0,9 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

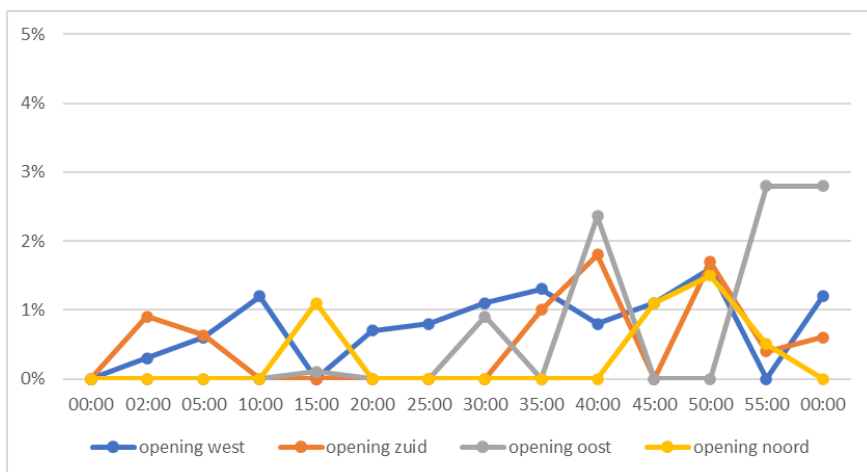
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,9 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 2,5 vol% in de behuizing. Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 3, variërend tussen noordoost en noordwest. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing is behoorlijk variabel van karakter en de hoogte concentraties worden boven in de behuizing en aan de ventilatie gemeten. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 77. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	1,5 Vol%	2,8 Vol%	1,8 Vol%	1,6 Vol%



Figuur 78. Concentratie bij de ventilatieopeningen (vol% H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof

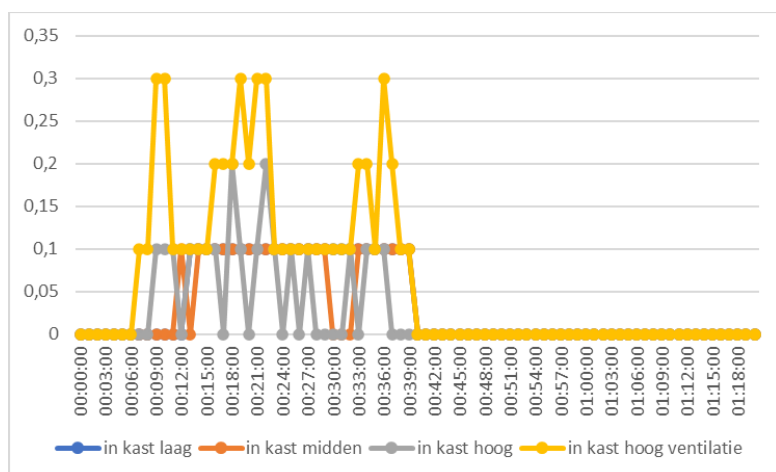
Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.

### Lekdebiet 0,1 m<sup>3</sup>/h - aardgas

Bij een lek van 0,1 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in de ½ m<sup>3</sup> behuizing op tot een maximum concentratie van 0,3 vol%. Tijdens dit experiment was de wind zwak, windkracht 1 tot 2, variërend tussen noord en oost. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

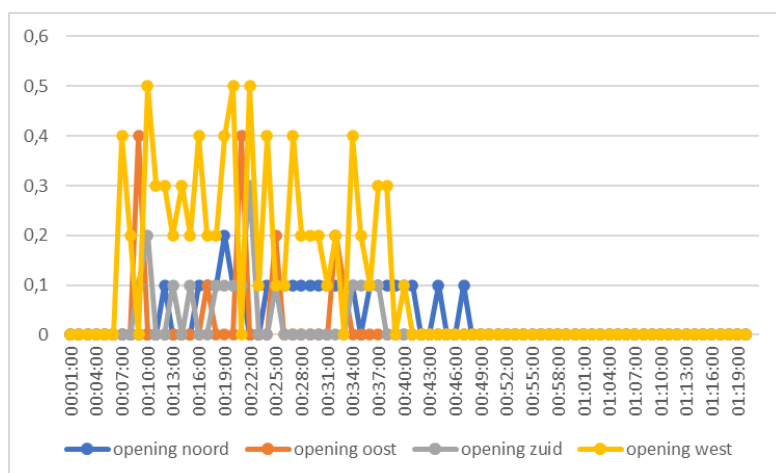
De concentratie op alle meetpunten in de behuizing is gedurende dit experiment variabel. In onderstaande grafiek is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 79. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	0,2 Vol%	0,4 Vol%	0,3 Vol%	0,5 Vol%



Figuur 80. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

### Lekdebiet 0,2 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,2 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde niet tot een opbouw van waterstof concentratie in de behuizing, noch werd aan de ventilatieopeningen verhoogde concentraties waterstof gemeten.

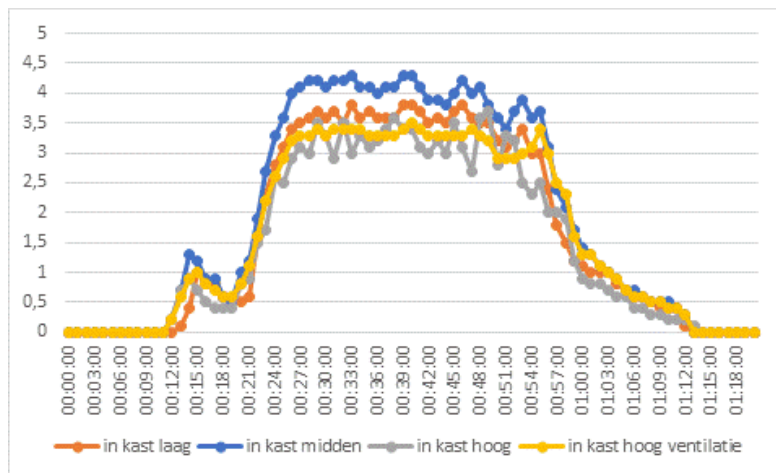
Tijdens dit experiment was de wind zwak tot matig, windkracht 2 tot 4, variërend tussen noord en oost.

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

## VIII Meetresultaten 4 m3 kast, windstil

### Lekdebiet 4,6 m<sup>3</sup>/h - aardgas

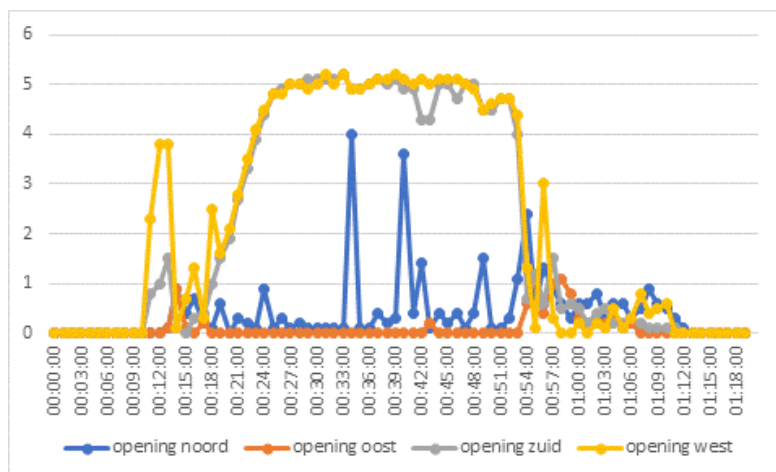
Bij een lek van 4.6 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van 4,3 vol%. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoord. Gedurende deze meting is een kleine invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 81. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 4.6 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	4,0 Vol%	1,2 Vol%	5,2 Vol%	5,2 Vol%



Figuur 82. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 4.6 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation incidenteel op tot maximaal 5% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (oost) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 3 m<sup>3</sup>/h - aardgas

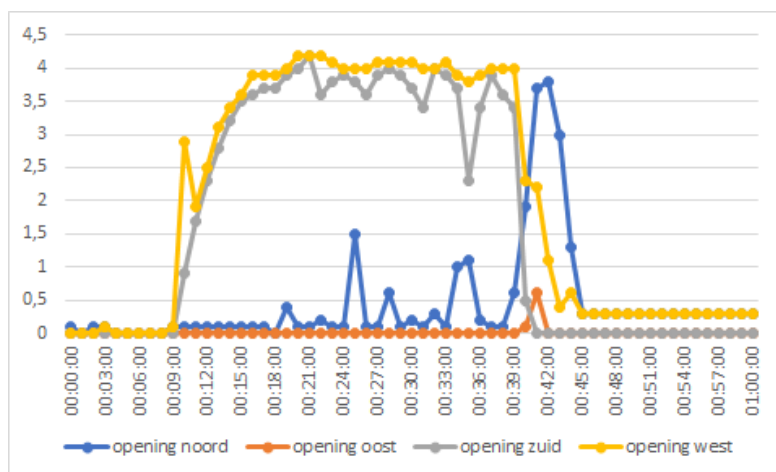
Bij een lek van 3 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van 2.7 vol%. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoord. Gedurende deze meting is een kleine invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 83. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	3,8 Vol%	0,6 Vol%	4,2 Vol%	4,2 Vol%

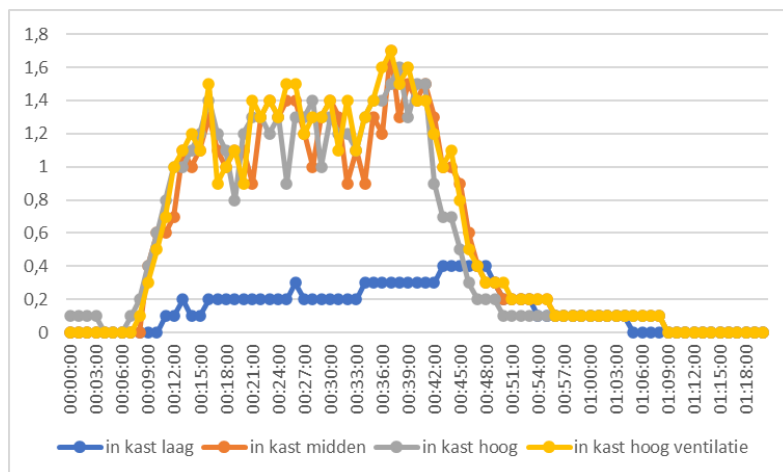


Figuur 84. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 3 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Gedurende het experiment loopt de concentratie aardgas buiten het gasregelstation incidenteel op tot maximaal 7% LFL. Deze concentratie wordt gemeten op 0,5 meter (west) afstand van de behuizing op 1 meter hoogte vanaf de grond.

### Lekdebiet 0,45 m<sup>3</sup>/h - aardgas

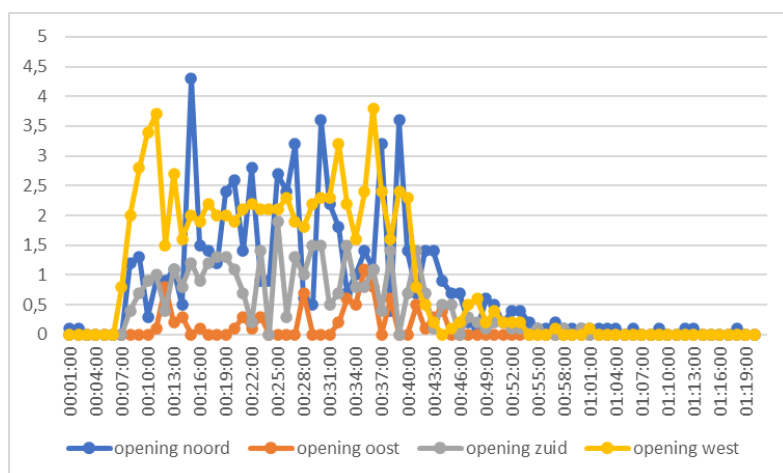
Bij een lek van 0,45 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van 1,7 vol%. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoord. Gedurende deze meting is een kleine invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 85. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	4,3 Vol%	1,1 Vol%	1,9 Vol%	3,8 Vol%

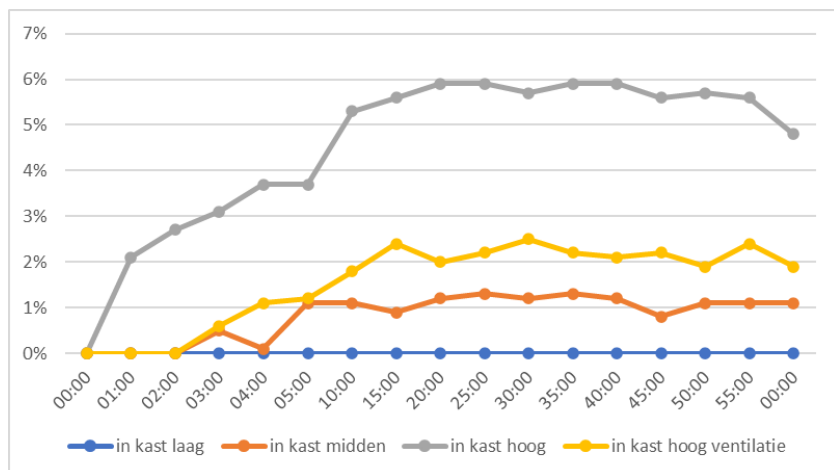


Figuur 86. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatieopeningen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,45 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Op een afstand van 0,5 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

### Lekdebiet 0,9 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

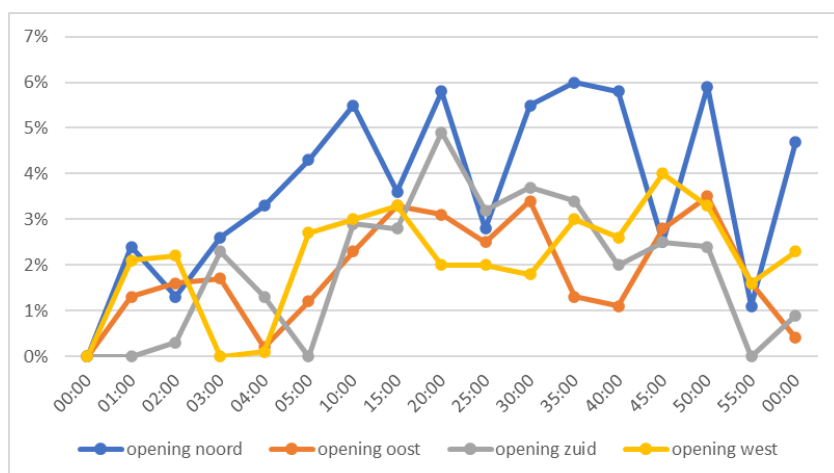
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,9 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 6 vol% in de behuizing. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoorde. Gedurende deze meting is geen beïnvloeding waargenomen. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 87. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	6,0 Vol%	3,5 Vol%	4,9 Vol%	4,0 Vol%



Figuur 88. Concentratie bij de ventilatieopeningen (vol% H<sub>2</sub>) in de 4 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,9 m<sup>3</sup>/h waterstof

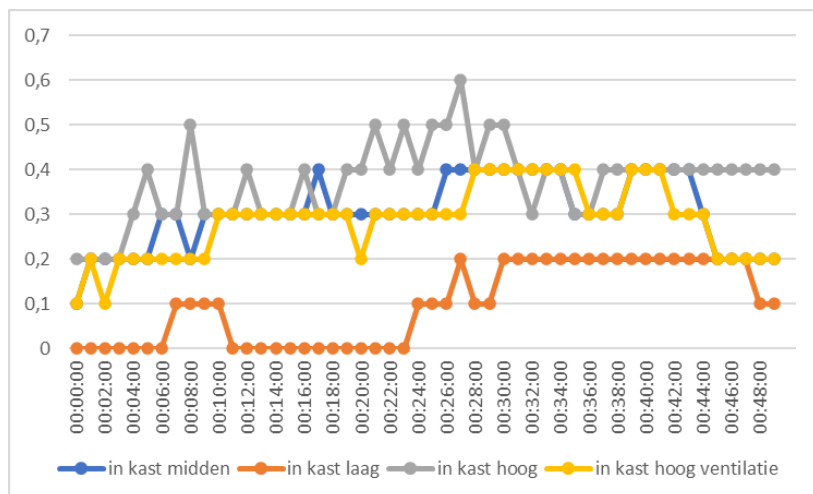
Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 280 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

\*Jde sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.



### Lekdebiet 0,1 m<sup>3</sup>/h - aardgas

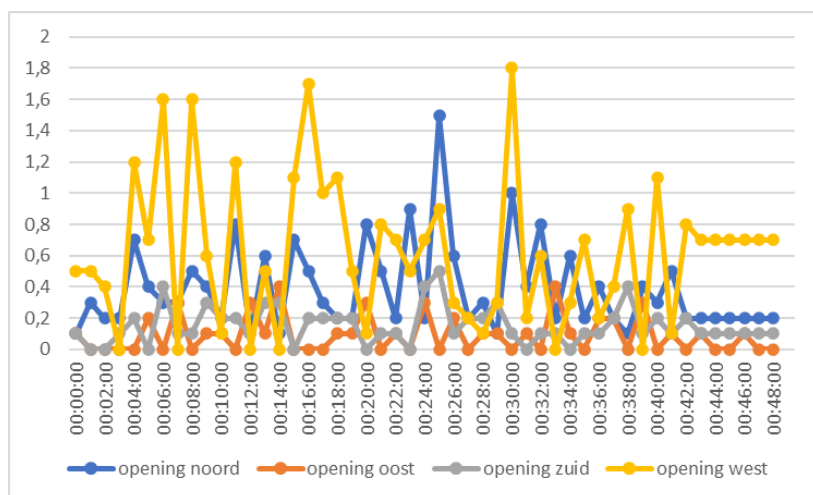
Bij een lek van 0,1 m<sup>3</sup>/h loopt de aardgas concentratie in het 4m<sup>3</sup> kaststation op tot een maximum concentratie van 0,6 vol% in het midden van de behuizing rond het lek. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoord. Gedurende deze meting is een kleine invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In de onderstaande grafiek is de concentratie aardgas (in vol%) weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 89. Concentratie (vol % CH<sub>4</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie aardgas (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie aardgas weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie aardgas	1,5 Vol%	0,4 Vol%	0,5 Vol%	1,8 Vol%

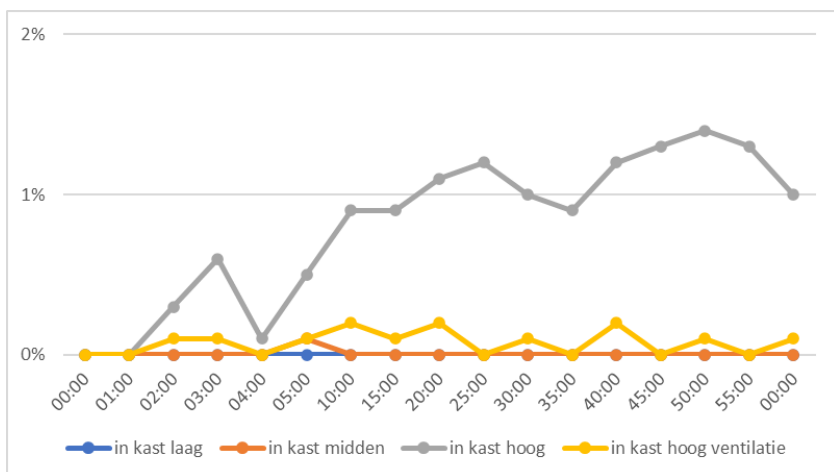


Figuur 90. Concentratie (vol% CH<sub>4</sub>) bij de ventilatie openingen van een 4m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,1 m<sup>3</sup>/h (windluw)

Op een afstand van 0,5 meter van de kast, is op geen enkel moment een aardgas of waterstof concentratie gemeten, deze is daarmee onder de 0,1% LFL gebleven.

### Lekdebiet 0,2 m<sup>3</sup>/hr - waterstof

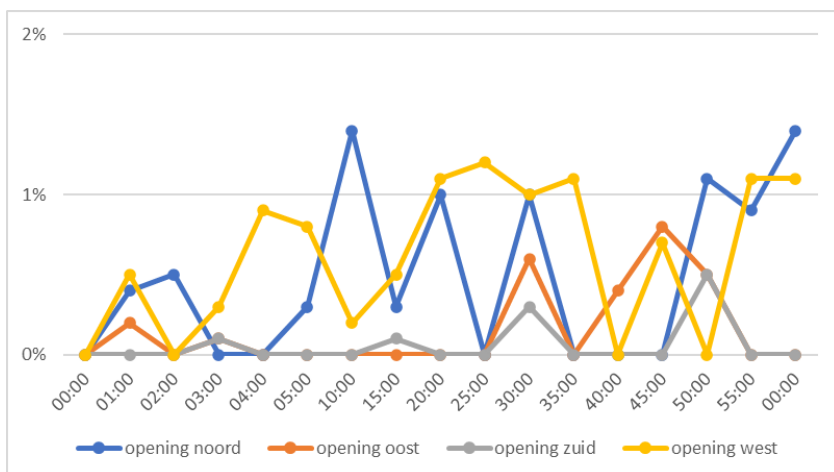
Wanneer met dezelfde voordruk een lek met waterstof wordt gecreëerd, is het gemeten lekdebiet circa 0,2 m<sup>3</sup><sub>n</sub>/h. Dit lek leidde tot een waterstof concentratie van maximaal 1,4 vol% in de behuizing. De concentratie op alle meetpunten in de behuizing blijft nagenoeg gelijk tijdens de hele test. De invloed van wind is enkel bekeken als deze experimenten in de windluwe situatie verstoorde. Gedurende deze meting is een kleine invloed van wind waargenomen waardoor preferentie ontstaat op de ventilatieopeningen. In onderstaande grafiek is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.



Figuur 91. Concentratie (vol % H<sub>2</sub>) in het 4m<sup>3</sup> kaststation bij een lekdebiet van 0,2 m<sup>3</sup>/h waterstof\*

Onderstaande grafiek en tabel laat het tijdsafhankelijke beeld van de gemeten concentratie waterstof (in vol%) aan de ventilatie openingen met de maximale concentratie in rood. Wederom is de concentratie waterstof weergegeven als functie van de tijd in minuten en seconden.

	Noord	Oost	Zuid	West
Concentratie waterstof	1,4 Vol%	0,8 Vol%	0,5 Vol%	1,2 Vol%



Figuur 92. Concentratie bij de ventilatieopeningen (vol% H<sub>2</sub>) in de 4 m<sup>3</sup> kast bij een lekdebiet van 0,2 m<sup>3</sup>/h waterstof

Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter van de behuizing is ook gemeten met waterstofsensoren op 1 meter hoogte. Deze hebben een meetbereik tot 1000 ppm en werd 80 ppm bereikt. Op een afstand van 0,5 meter en 1 meter werd geen LFL waarden gedetecteerd.

\*)de sensor laag in de behuizing heeft alleen nulwaarden geregistreerd gedurende deze test.