

# Eerste vergelijking van waterstof met methaan bij een grote lekkage in een geventileerde ruimte

**Kees Pulles, september 2020.** In 2008 heeft het toenmalige Engelse Health and Safety Laboratory (nu HSE) een onderzoek uitgevoerd naar de ATEX-zonering rondom hogedruk gasleidingen in gebouwen. De aanleiding was de bestaande regelgeving in de UK die gaslevering tot en met 5 bar in inpandige opstellingsruimtes toelaat (dit is conform de EN 12279).

De achterliggende vraag was of en onder welke omstandigheden een dergelijke ruimte als niet gezoneerd gebied (in Engelse aanduiding: zone 2NE waarbij NE staat voor 'negligible extent') mag worden geclassificeerd. Vanwege de relevantie van het onderzoek heeft destijds ook Netbeheer Nederland het gedeeltelijk meegefinancierd. Het eindrapport "[Area classification for secondary releases from low pressure natural gas systems](#)", [Ivings et al 2008](#), is [openbaar en digitaal beschikbaar](#).

Als onderdeel van dat onderzoek zijn een aantal stromingsberekeningen gemaakt van een gaslek (puur CH<sub>4</sub>) in een geventileerde ruimte. Met het oog op de mogelijke risico's van de introductie van waterstof is het interessant om deze berekeningen te vergelijken met rekenresultaten van een identieke situatie, maar dan met een waterstoflek.

## Opzetten van een CFD stromingsberekening

Omdat de oorspronkelijke code en invoerbestanden niet beschikbaar zijn, en hoogstwaarschijnlijk ook niet meer bruikbaar, heeft Kiwa Technology aan het Nederlandse bedrijf Demcom-Bunova gevraagd om een berekening te reproduceren met moderne code.

Doel was om het resultaat te vergelijken met de uitkomsten van HSE en daarna dezelfde configuratie door te rekenen met een waterstoflek in plaats van een methaanlek.

Lekkage van brandbaar gas in een ruimte levert het risico van brand en explosie. Dit geldt zowel voor lekkage van aardgas als voor lekkage van waterstof. De twee gassen zijn echter verschillend van dichtheid en dit levert de vraag op of de grotere stijgkracht van waterstof wellicht de verspreiding zodanig verschillend maakt ten opzichte van aardgas dat de bijbehorende risico's ook wezenlijk anders worden (hoger of lager).

Deze vraag is niet eenvoudig te beantwoorden omdat een aantal fysische aspecten meespelen. In dit artikel wordt dan ook niet getracht om een definitief antwoord te geven, maar wordt een voorbeeld gegeven hoe met moderne rekentechnieken meer inzicht kan worden geboden.

## Keuze van een gaslek

Allereerst moet worden vastgesteld welke situatie met aardgas en waterstof we willen vergelijken. Hier is er voor gekozen om zowel de druk van het gas als de geometrie van het gaslek exact hetzelfde te houden. Er is een relatief groot lek gesimuleerd (44,5 kW<sub>th</sub> aardgas) uit een relatief klein gat (2,5 mm<sup>2</sup>). Dit blijkt als consequentie te hebben dat de gasdruk relatief hoog moet zijn (1,6 bar overdruk). In zekere zin is dat gunstig: er is veel impuls beschikbaar om het gas met lucht op te mengen. In beginsel geldt dat hoe meer impuls beschikbaar is, hoe kleiner de hoeveelheid brandbaar mengsel dat in de gasluchtpluim aanwezig is (bij gelijkblijvend debiet). Bij lagere druk is een groter gat nodig voor hetzelfde lekdebiet en is de initiële menging beperkter.

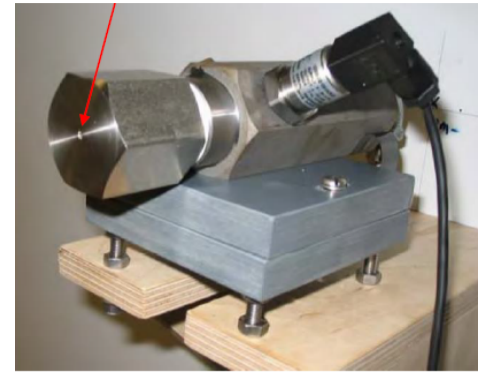
Met behulp van numerieke stromingsberekeningen (CFD) wordt de druk- snelheid en concentratieverdeling in een geventileerde ruimte berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een turbulentiemodel. Dat wil zeggen dat de tijdsgemiddelde snelheden, drukken en concentratie op ieder punt in de ruimte worden berekend.

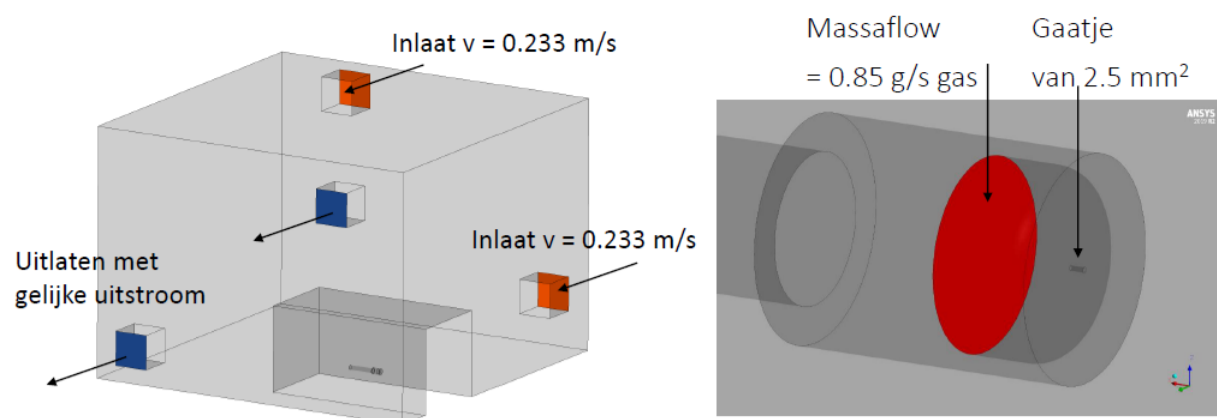
De berekening behelst dus één relatief extreme situatie en voor meer definitieve conclusies zal de rekenexercitie moeten worden herhaald met variatie in parameters. De interessante variant is de berekening met een veel kleinere lekkage (bij 4 kW<sub>th</sub>, of 1 kW<sub>th</sub>, een vermogen equivalent met een kookbrander in plaats van een groot cv-toestel)

## Lek in een geventileerde ruimte

Er is voor gekozen om de berekening van een configuratie (case C3-9) van het HSL-rapport te reproduceren. Het betreft een gaslek in een hoek van een geventileerde ruimte. De lengte, breedte hoogte van de ruimte is 4 bij 4 meter met een hoogte van 2,92 m. Rood zijn de instroomopeningen, waar een gas- respectievelijk luchtsnelheid is vastgelegd (0,233 m/s voor de luchtinlaten, hetgeen overeenkomt met een ventilatievoud van 9 u<sup>-1</sup>). Blauw zijn uitstroomopeningen waar de druk (0 mbar(g)) is vastgelegd. Het eigenlijke lek is het kanaaltje aan de rechterzijde.

De massastroom van het lek is 0,89 g/s (CH<sub>4</sub>), dit is equivalent met een lek van 44,5 kW (onderwaarde). Dit kan binnenshuis worden beschouwd als een catastrofaal groot lek en veel groter dan lekkage bij 'een beetje gaslucht'.





Figuur 1. Schema geventileerde ruimte met rechts uitvergroting van het gaslek

De redenen om met deze lek grootte te rekenen zijn a) we kunnen op deze wijze vaststellen of de oorspronkelijke berekeningen gereproduceerd kunnen worden met moderne modellen, en b) in de UK zijn op volle schaal experimenten in het project HyHouse gerapporteerd met deze lek grootte ([Crowther et al., "Energy Storage Component Research & Feasibility Study Scheme HyHouse. Safety Issues Surrounding Hydrogen as an Energy Storage Vector", Kiwa Gastec 2015](#)).

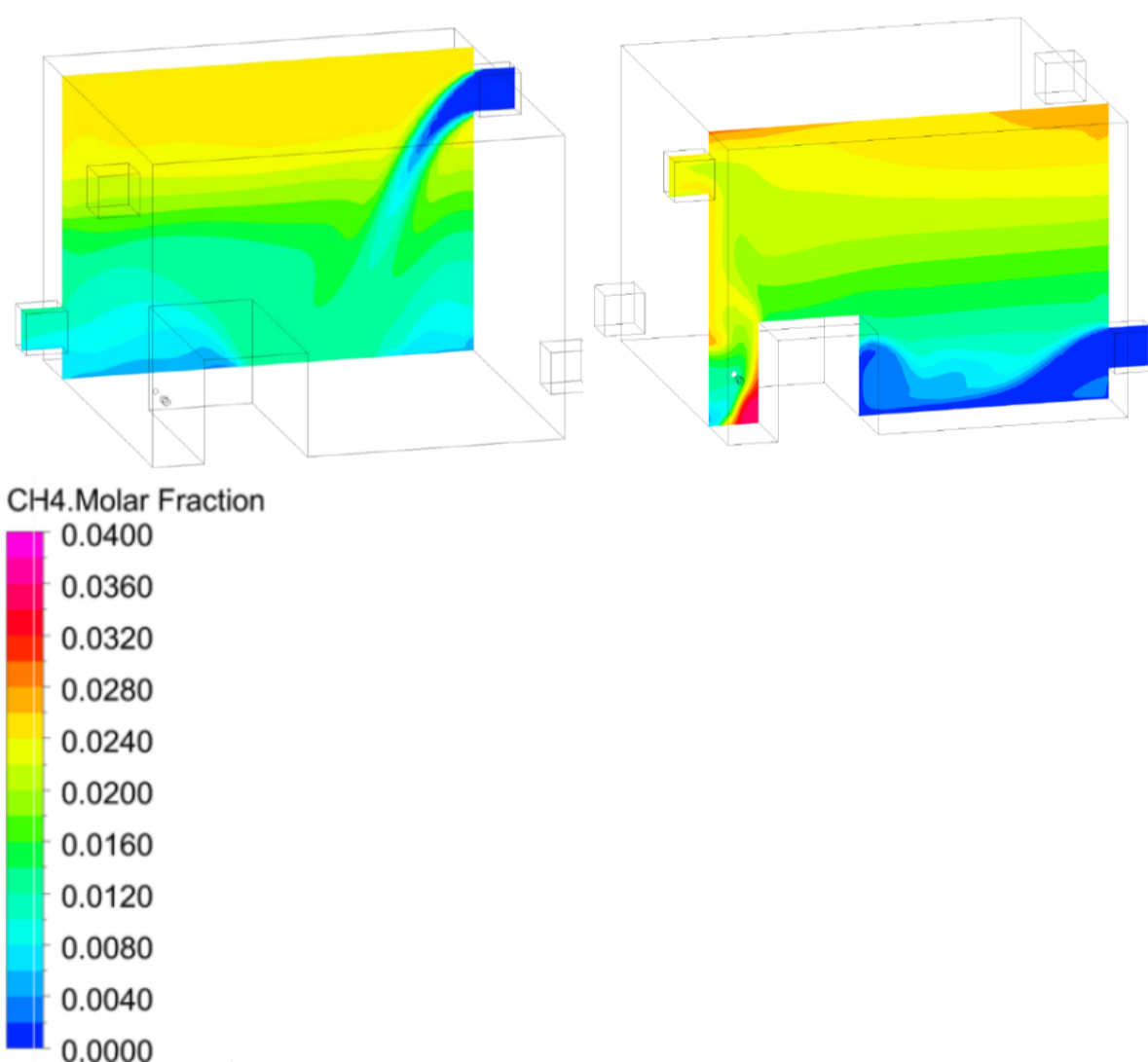
## Resultaten methaanlekkage

Het lek is een rond kanaaltje van 2,5 mm<sup>2</sup> doorsnede en 3 mm lengte. In de oorspronkelijke berekening is de stroming bij het lek separaat gemodelleerd (en niet in detail gerapporteerd). In het nieuwe model was het mogelijk om een zo fijn rekenrooster aan te brengen dat het hele stromingspatroon in één model kon worden doorgerekend. Een neveneffect is dat nu ook wordt berekend welke gasdruk vóór het gat heerst. Dit blijkt 1,61 bar(g) te zijn. Dit is opnieuw een indicatie dat het een grote lekkage betreft, dat met de gebruikelijke druk in een binneninstallatie (25 mbar) niet zo maar optreedt.

Een tweede voordeel van deze aanpak is dat er eenvoudig met een andere gassoort kan worden gerekend. Er is geen aanvullende modellering nodig, alleen andere gaseigenschappen, waarbij dezelfde (gat)geometrie kan worden gebruikt.

In de onderstaande figuren is de molfractie CH<sub>4</sub> weergegeven op twee vlakken door de in- en uitlaten. Te zien is dat:

- de concentratie op de inlaten nul is en bij het lek het hoogst is;
- een gelaagdheid ontstaat, met bovenin de hoogste concentratie van het lichte CH<sub>4</sub>;
- op de bovenste en onderste uitlaat de molfractie gelijk is aan 0,0237 respectievelijk 0,0104; dus een factor twee verschillend.

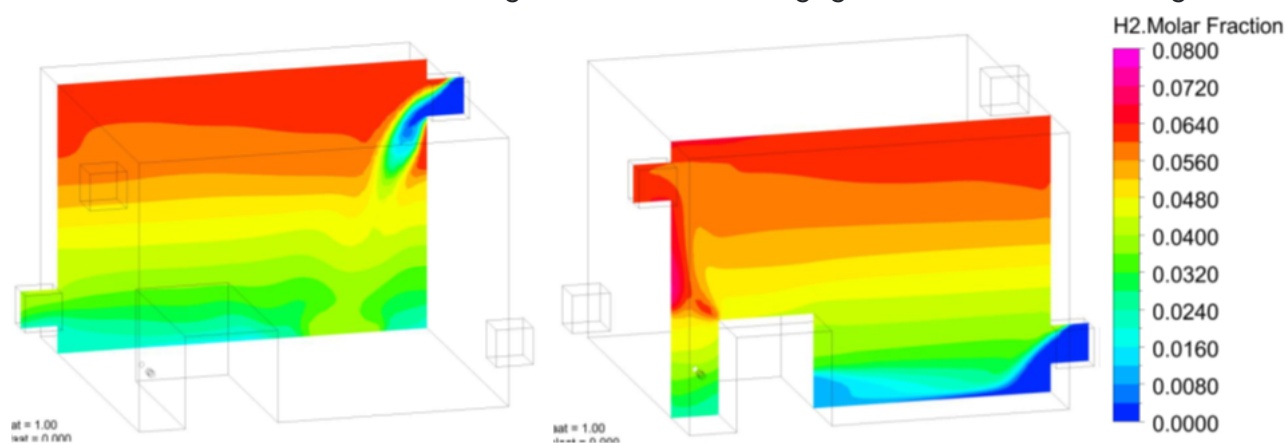


Een eenvoudige conversie van de rekenresultaten met puur CH<sub>4</sub> naar een situatie met Gronings aardgas of G25 (14% N<sub>2</sub> + 86% CH<sub>4</sub>) is er niet, maar de verschillen zullen gering zijn en veel kleiner dan het verschil met een H<sub>2</sub>-lek.

## Resultaten waterstoflekkage

Als bij eenzelfde druk (1,61 bar(g)) en gatgeometrie waterstof in plaats van methaan wordt aangeboden, dan ontstaat er een massastroom van 0,313 g/s, omgerekend is dat 37,6 kW<sub>th</sub> (onderwaarde), Omdat de dichtheid van waterstof veel geringer is dan van methaan, komt de lagere massastroom toch overeen met een circa drie maal zo grote volumestroom.

De resulterende concentratieverdeling in de ruimte is weergegeven in onderstaande figuren.



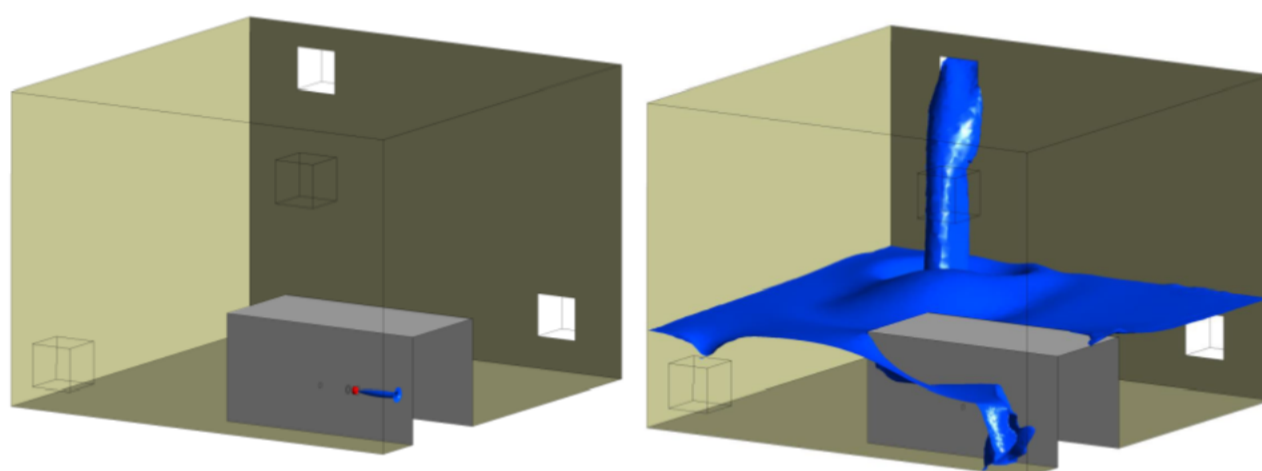
Figuur 3: twee doorsnedes in de ruimte met de waterstoffractie

De figuren geven aanleiding tot de volgende constatering:

- bij waterstoflekkage ontstaat, net als bij methaan, ook gelaagdheid
- de concentraties zijn circa drie maal zo hoog als bij het methaanlek (conform de verwachting, omdat het lekvolume ook drie maal zo groot is als bij methaan)
- op de bovenste en onderste uitlaat is de molfractie gelijk aan 0,0619 respectievelijk 0,0322. Dus een factor twee verschillend.

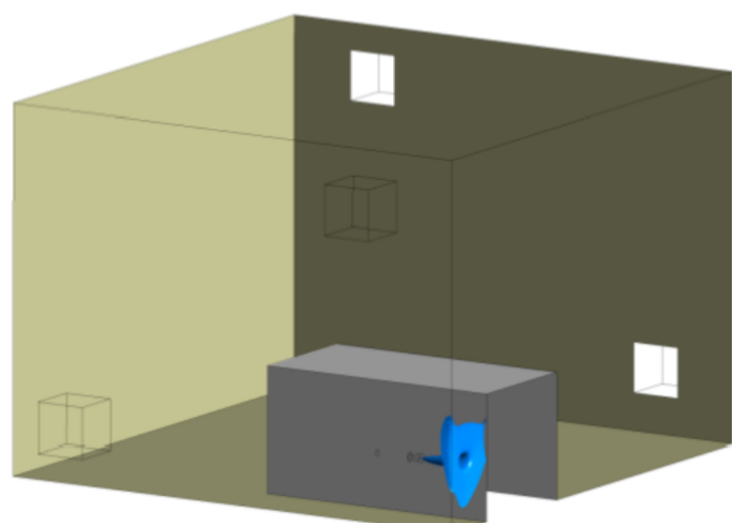
Een andere manier om de rekenresultaten te presenteren is door de contourvlakken van gelijke concentratie in de ruimte weer te geven.

Interessante contourwaarden zijn hierbij 10% LEL en 100% LEL.



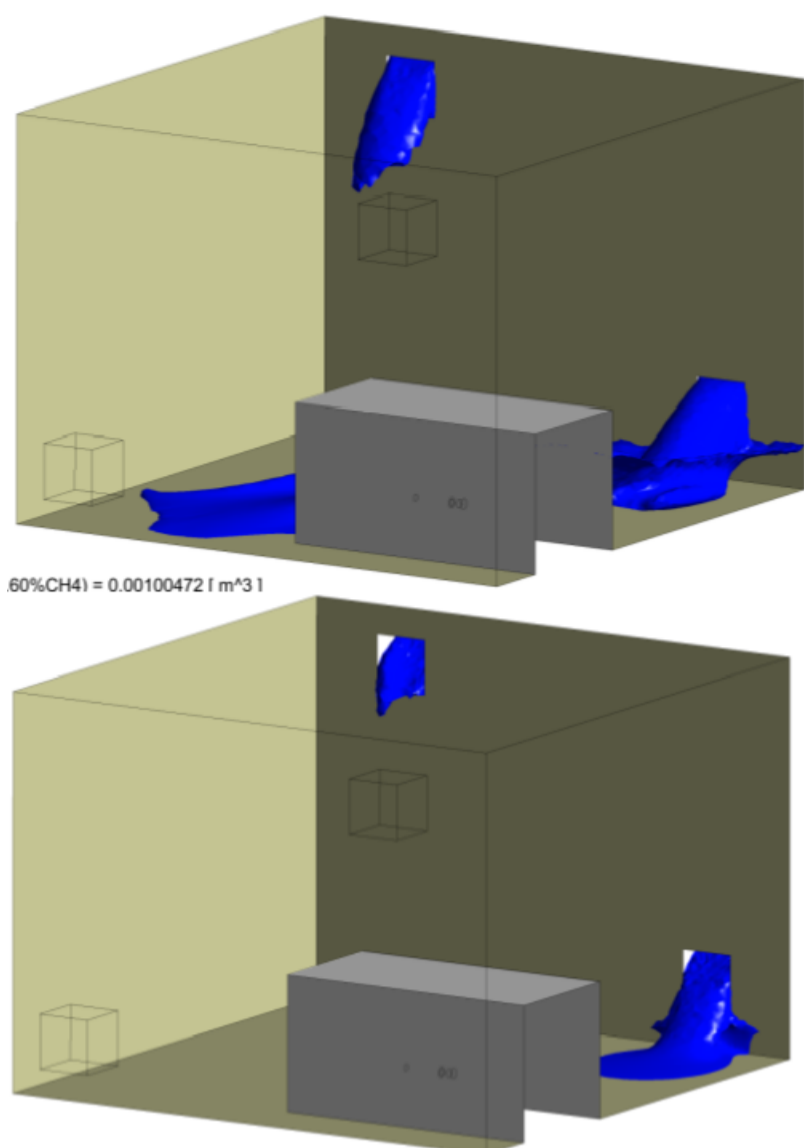
Figuur 4. Contourwaarden links  $CH_4$  100%LEL (4,6%  $CH_4$ ) en rechts  $H_2$  100%LEL (4,1%  $H_2$ )

Vanwege de veel grotere volumestroom  $H_2$  lijkt het verschil met  $CH_4$  opvallend groot. Het onderliggende stromingspatroon is echter ongeveer hetzelfde. Dit blijkt bij de iso-contour van 200% LEL bij waterstof (figuur 4).



Figuur 5. Isocountourlijn  $H_2$  200% LEL (8.2%  $H_2$ )

Ook voor de 10%LEL iso-contouren zien we eenzelfde soort verschillen, die grotendeels verklaard worden uit het verschil in volumestroom.



Figuur 6: Isocountourlijnen  $CH_4$  10%LEL (0,46%  $CH_4$ ) en  $H_2$  10%LEL (0,41%  $H_2$ )

Uit de figuren blijkt dat zowel bij  $CH_4$  als bij  $H_2$  vrijwel de hele ruimte gevuld wordt met een mengsel van meer dan 10% LEL. Dus in beide situaties mag de ruimte niet worden betreden en geeft een gasdetector een waarschuwing op vrijwel iedere locatie in de ruimte.

## Conclusies

Het is prematuur om op basis van één situatie algemeen geldende conclusies te trekken, maar enkele vaststellingen kunnen wel worden geformuleerd:

- de verschillen in concentratie zijn in deze situatie bijna overal ongeveer een factor drie en lijken daarmee vooral het gevolg van het verschil in volumestroom (dat is ook een factor drie). Het effect van het verschil in dichtheid van het lekkende gas lijkt secundair.

In deze berekening is de ventilatiestroom (het ventilatievoud) vast voorgeschreven. Dit is de situatie bij mechanische ventilatie. Als gerekend zou worden met natuurlijke ventilatie, dan zullen (iets) grotere verschillen zichtbaar worden. Naar verwachting zullen de waterstofconcentraties dan iets lager uitkomen.

- uit een aanvullende berekening is gebleken dat de stroming erg gevoelig is voor een eventueel klein verschil in druk dat aan de twee uitlaten is opgelegd. Er is gerekend met volledig gelijke drukken van 0 mbar. Bij kleine drukverschillen (enkele honderdsten mbar) wordt de stroming aanzienlijk gewijzigd. In de praktijk kunnen dit soort drukverschillen in de uitlaatopening al worden veroorzaakt door een beetje wind op de gevel (enkele meters per seconde).
- ondanks alle voorbehouden qua interpretatie van de resultaten en representativiteit geven dit type berekeningen een intuïtief begrijpelijk en gedetailleerd beeld van de stroming en concentratie verdeling in een ruimte en vormen ze een complementaire en nuttige aanvulling op experimentele metingen