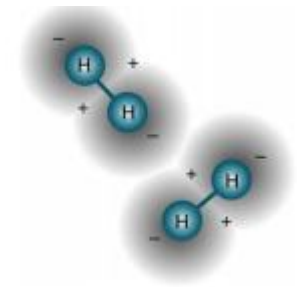


Ontmenging van waterstof

Kees Pulles, november 2019. Omdat waterstof zo licht is, wordt gedacht dat waterstof zich kan ontmengen van lucht en zich kan "ophopen" in een ruimte. Berekeningen tonen aan dat het ontmengeffect zeer gering is. Voor een mengsel van 0,4% waterstof in lucht (10% LEL) op 3 meter hoogte, is de ontmenging minder dan 2 ppm waterstof en dus slechts 0,05% relatief.



Verzamelt waterstof zich spontaan bovenin de ruimte?

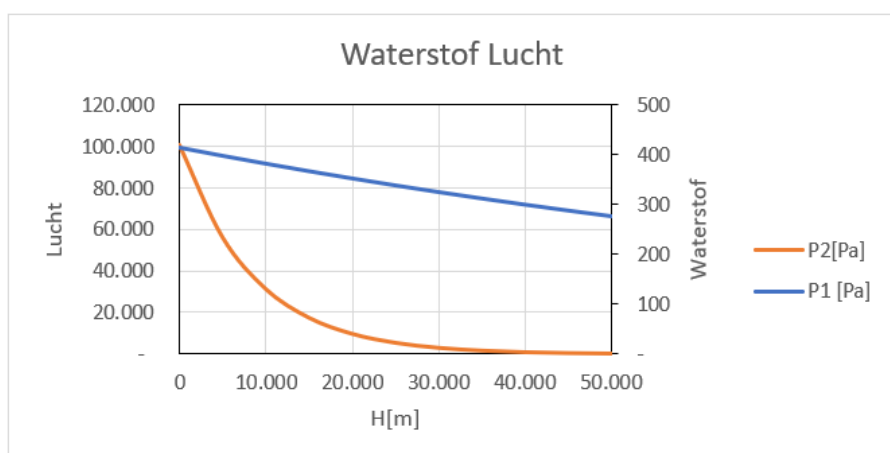
Bij een discussie over de risico's van distributie van waterstof wordt wel eens geopperd dat waterstof een heel licht gas is en dat je daarom moet oppassen dat waterstof zich bovenin een ruimte verzameld.

Op zich is dit een correcte gedachtegang, waarbij die geldig is zolang lucht en waterstof zich nog niet gemengd hebben. Echter, bij een gaslek(je) waar het gas met enige snelheid in de lucht gespoten wordt, treedt er al snel menging op. De gedachte dat waterstof, omdat het zo licht is, zich lastig laat mengen met lucht en zich in merkbare mate ontmengt van lucht, berust op een verkeerde inschatting.

Om dit punt te illustreren, is de onderstaande uitleg en berekening van toepassing. Als we een verticale zuil van een gasmengsel nemen, zal de gasdruk op de bodem van de zuil hoger zijn dan aan de bovenkant. Een goed voorbeeld is de aard atmosfeer. De druk op een paar kilometer hoogte is aanmerkelijke lager dan op zeeniveau. In eerste benadering neemt de druk exponentieel af met de hoogte, volgens een constante lengte schaal. De lengte wordt wel de 'atmosferisch schaalhoogte' genoemd en bedraagt voor de aardatmosfeer ongeveer 8,5 km (https://en.wikipedia.org/wiki/Scale_height).

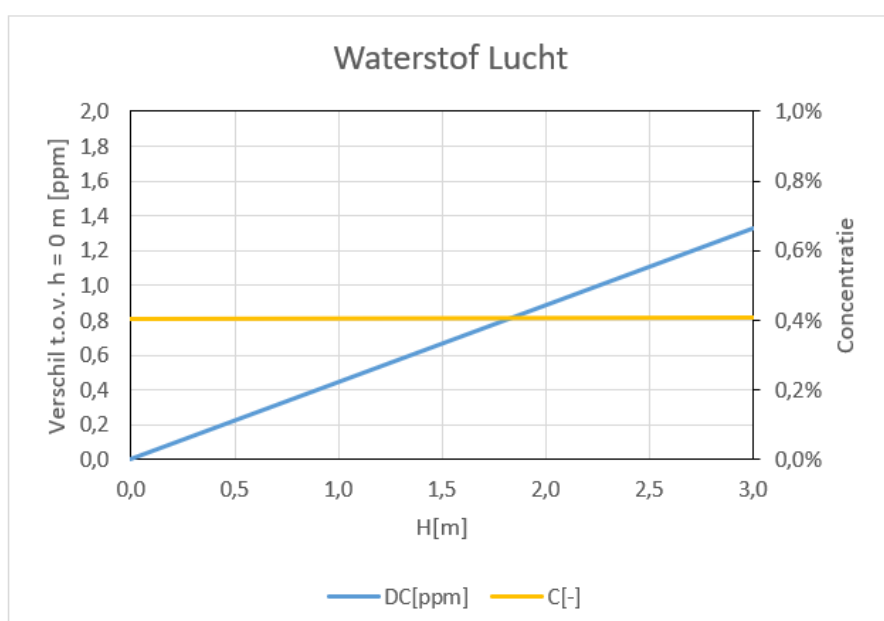
Als we de evenwichtsconcentratie van een mengsel van ideale gassen als functie van de hoogte willen weten, kunnen we ons baseren op de constatering dat de partiële drukkens van ieder gas onafhankelijk zijn en dat ieder gas zijn eigen karakteristieke schaalhoogte heeft.

In het geval van waterstof en lucht (van 20 °C) vinden we schaalhoogte van 123 km respectievelijk 8,6 km. Als we uitgaan van een mengsel van 0.4 vol% waterstof in lucht (de 10% LEL grens waarop de alarmering voor een gevaarlijk mengsel wordt gegeven) dan berekenen we het onderstaande drukverloop als functie van de hoogte (boven zeeniveau).



Figuur 1. Verloop van de partiële drukkens (in Pa) van waterstof in lucht als functie van de hoogte. (Voor waterstof, blauwe lijn, geldt de schaalverdeling van de rechter as).

De waterstof concentratie op iedere hoogte volgt eenvoudig uit de verhouding van de partiële druk t.o.v. de totaal druk (som van de twee partiële drukkens). In de dagelijkse praktijk zijn we vooral geïnteresseerd in wat er in een woning gebeurt. Daarom tonen we in de volgende grafiek de concentratie in de onderste 3 meter.



Figuur 2. Concentratieverloop (vol%) van waterstof als functie van de hoogte (oranje lijn, rechter schaal) en afwijking ten opzichte van concentratie op hoogte $h = 0$.

De berekening en de figuur toont dat het effect van het dichtheidsverschil tussen lucht en waterstof op eventuele spontane ontmenging buitengewoon gering is voor de hoogteverschillen waar we in de praktijk mee te maken hebben. Met andere woorden als we een ruimte betreden met een stilstaand waterstof/lucht

mengsel maakt het uiteindelijk geen verschil waar we (op welke hoogte beven de vloer) we de samenstelling meten. Het effect is kleiner dan 2 ppm op de 4000 ppm.

Conclusie

Waterstof ontmengt niet spontaan in praktisch merkbare wijze binnen de hoogte verschillen die voor gebouwen relevant zijn.

Hoe lang duurt het voordat een stabiele evenwichtsconcentratie is bereikt?

Het feit dat er in de stabiele eindsituatie geen concentratieverschillen in een ruimte heersen, zegt niets over de tijd die nodig is om initiële concentratieverschillen te nivelleren. Deze tijd wordt bepaald door de luchtsnelheden die heersen, en (meestal in mindere mate) door de diffusiesnelheid van waterstof in lucht. Belangrijk hierbij is het dempende effect dat dichtheidsgradiënten ten gevolge van temperatuur- en concentratie-gelaagdheid hebben op de verticale (component van) de luchtsnelheden in de ruimte. Dit vertraagt het nivelleren van bestaande concentratieverschillen. In de meest extreme situatie blijft dan alleen de (laminaire) diffusie over als mechanische dat de menging bewerkstelligt.

Om een idee te geven van de grootte orde: de laminaire diffusiecoëfficiënt van waterstof in lucht is ongeveer $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Over een hoogte van 3 m, betekent dat een karakteristieke tijd van ongeveer 35 uur. Methaan heeft een ongeveer 3x zo kleine diffusiecoëfficiënt en de karakteristieke tijd voor nivellering dan ook 3x zo lang. In de praktijk zal convectie overheersen (typische luchtsnelheid in een normale ruimte is in de orde van 0,1 m/s, waaruit een karakteristieke tijd volgt van ongeveer een halve minuut). De diffusiecoëfficiënt (en het verschil in waarde voor waterstof en methaan) is dan van ondergeschikt belang.

