

De capaciteit van een (aard)gasnet blijft vrijwel gelijk voor waterstof!

Kees Pulles, maart 2020. Wanneer alle fysische eigenschappen van waterstof worden vergeleken met die van het huidige in Nederland gedistribueerde Lgas, blijkt dat de capaciteit van het gedistribueerde gas in het huidige gasnet in het geval van waterstofdistributie nauwelijks lager is dan die van Lgas.

Er zijn meerdere fysische effecten die een rol spelen in de berekening van de huidige netcapaciteit van waterstof ten opzichte van aardgas. In dit artikel worden deze belicht.

Feit of fabel: bij vervanging van aardgas door waterstof zal de capaciteit van het gasnet te klein zijn?

Momenteel is de discussie gaande in hoeverre het huidige gasnet geschikt is voor waterstof. De geschiktheid van de gebruikte materialen is een belangrijk aspect, waar we in dit artikel niet verder op ingaan. Echter, hoe zit het met de capaciteit van het gasnet? De energiedichtheid van waterstof is immers drie keer zo laag als die van aardgas, dus er moet drie maal zoveel gas door de leidingen om dezelfde klanten van dienst te kunnen zijn. Wordt het drukverlies dan niet te groot?

Het eenvoudige antwoord is: nee, het drukverlies blijft gelijk. De reden is dat de soortelijke massa (ρ) van waterstof ook heel veel minder is dan die van aardgas. Dit is ongeveer een factor 9. Het drukverlies in een leiding is evenredig met de zogenaamde dynamische druk volgens de bekende formule:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v^2.$$

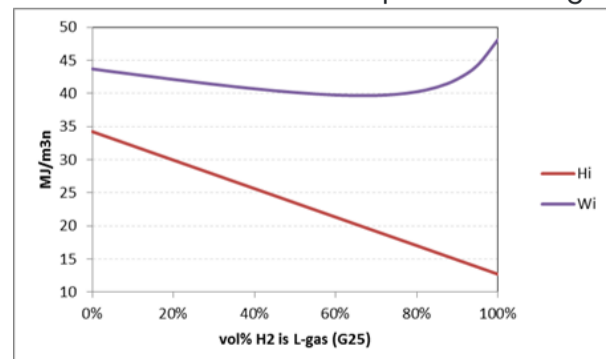
Als de dichtheid (ρ) negen maal kleiner wordt en de snelheid (v) drie maal groter, dan blijft de drukval ΔP dus exact hetzelfde.

In de normen NEN 7244 en NEN1059 is sprake van een maximaal toegestane gassnelheid (30 m/s). De exacte reden hiervoor is niet goed gedocumenteerd, maar de huidige opvatting is dat dit wellicht te maken heeft met de kans op geluidsoverlast. De geluidsproductie is echter niet alleen afhankelijk van de snelheid maar ook van de dichtheid van het gas. Daarom maakt waterstof (bij eenzelfde snelheid) minder geluid dan aardgas; waarschijnlijk is dit effect voldoende om ook bij een drie keer zo hoge snelheid niet meer hinder te veroorzaken dan met aardgas. Dit moet echter nog wel met (praktijk) onderzoek bevestigd worden.



Wobbe index of hoe ik een discussie op verjaardagsfeestjes stop

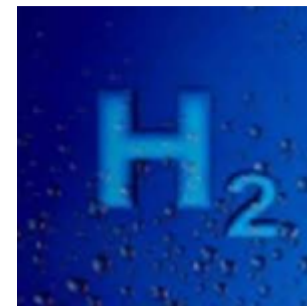
Een iets technischere manier om hetzelfde uit te drukken is: de capaciteit van een gasnet is evenredig met de Wobbe-index (W) van het gas, en de Wobbe-index van laagcalorisch gas (Lgas) is ongeveer gelijk aan de Wobbe-index van puur waterstof. In feite is de Wobbe-index van waterstof zelfs ongeveer 10% hoger. In de onderstaande figuur is deze Wobbe-index weergegeven voor Lgas/waterstof mengsels. Uit de figuur blijkt dat een beetje bijmengen van waterstof de capaciteit doet dalen, maar in de buurt van 100% waterstof wordt de Wobbe-index en dus de capaciteit weer groter en uiteindelijk zelfs iets hoger dan die van aardgas.



Figuur 1. Wobbe-index (blauw) en calorische waarde van waterstof / Lgas mengsels.

Is er dan helemaal geen probleem?

De bovenstaande analyse houdt geen rekening met de druk van het gas. Hoewel aardgas en waterstof bij omgevingstemperatuur en druk zich redelijk als ideale gassen gedragen, treden er bij hogere drukken afwijkingen op van het ideale gedrag. Voor waterstof werken die afwijkingen de andere kant uit dan voor

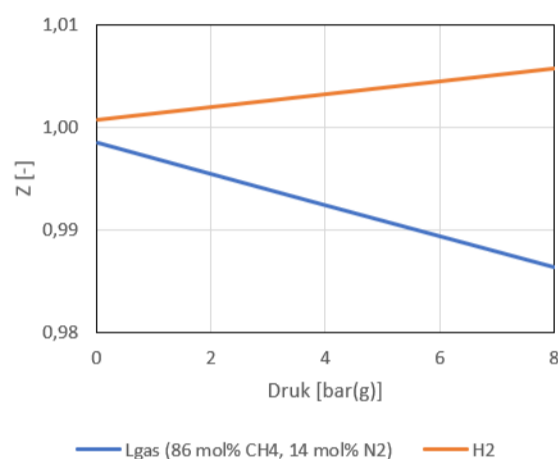


aardgas. Bij aardgas is dat in het voordeel: voor iedere bar drukverhoging krijgen we met aardgas 0.2% capaciteit cadeau. Bij waterstof kost iedere bar drukverhoging 0.04% aan capaciteit. Het netto effect is dat we in een 8 bar net dus 1.9% inleveren ten opzichte van de 10% winst die we verwachten op basis van de Wobbe-index. Nog steeds een positief effect dus. Voor de hogere drukken in het transportnet is er minder winst.

Compressibiliteitsfactor

De afwijking ten opzichte van de ideale gaswet wordt vaak uitgedrukt in de compressibiliteitsfactor Z . Voor een ideaal gas geldt $Z=1$, onafhankelijk van druk en temperatuur. Bij echte gassen is Z niet constant. Dit wordt veroorzaakt doordat de gasmoleculen interactie hebben: ze nemen effectief een volume in beslag en ze trekken elkaar aan of stoten elkaar al van een afstandje af door elektrische krachten.

In onderstaande figuur is de compressibiliteitsfactor weergegeven als functie van de druk. Dit is berekend aan de hand van de zogenaamde kritische temperatuur en kritische druk van waterstof, methaan en stikstof en met behulp van de theorie van Redlich-Kwong. Hierbij is gerekend met laagcalorisch gas als een combinatie van 86 mol% methaan met 14 mol% stikstof. (testgas G25 volgens EN 437). Uit de grafiek valt af te leiden dat waterstof ten opzichte van L_{gas} bij 8 bar, ongeveer 2% capaciteit "verliest". Bij een lagere druk is dit verlies kleiner.



Figuur 2. Compressibiliteitsfactor van waterstof en L_{gas}

De weerstandsfactor

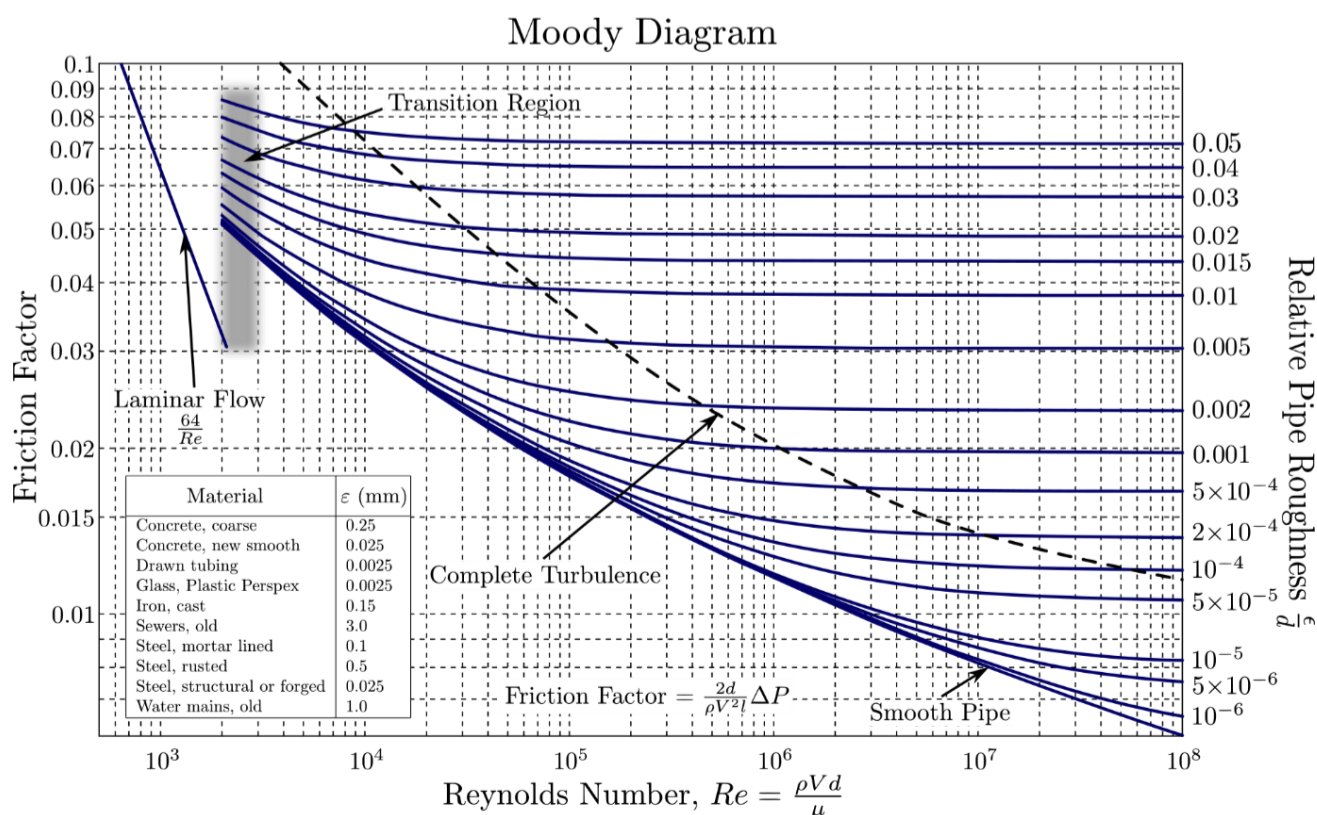
Een derde en laatste factor die een rol speelt bij het vergelijken van waterstof en aardgas is de verandering van Reynoldsgetal (Re) en de daarmee verbonden verandering van de weerstandsfactor (λ). De capaciteit van een leiding is namelijk omgekeerd evenredig met de weerstandsfactor.

Het Reynoldsgetal is evenredig met de snelheid, diameter en omgekeerd evenredig met de dynamische viscositeit (μ). Als we de capaciteit en diameter hetzelfde houden geldt:

$$\frac{Re_{H2}}{Re_{Lgas}} = \frac{\mu_{Lgas} W_{Lgas}}{\mu_{H2} W_{H2}} \sqrt{\frac{\rho_{H2}}{\rho_{Lgas}}} = \frac{11.4 \cdot 43.8}{8.8 \cdot 48.5} \sqrt{\frac{0.090}{0.813}} = 0.39$$

Nb: we hanteren de Wobbe-index op basis van bovenwaarde. De keuze op bovenwaarde in plaats van onderwaarde is een beetje in het voordeel van waterstof, omdat daar relatief meer condensatiewarmte uit de verbrandingsgassen wordt verkregen.

De relatie tussen de weerstandsfactor λ en het Reynoldsgetal Re is nog afhankelijk van de geometrie en in het bijzonder van de ruwheidsfactor van de leiding. Het is een niet-lineaire relatie. Een bekende en veelgebruikte relaties is de formule van Colebrook-White of Darcy-Weisbach. Bij hogere Reynoldswaarden wordt de invloed van Re op de weerstandsfactor steeds geringer. Dit is zichtbaar in het Moody diagram.



Figuur 3. Relatie tussen de weerstandsfactor, de ruwheidsfactor en het Reynoldsgetal

Bij de berekening van de weerstandsfactor gaan we uit van een gassnelheid u van 20 m/s en een binnendiameter d van 0.1 m. Alle benodigde parameters staan vermeld in tabel. 1

Grootheid	Eenheid	Waarde Lgas	Waarde H ₂
Dynamische viscositeit (μ)	Pa.s	11,4.10 ⁻⁶	8.8.10 ⁻⁶
Dichtheid (ρ)	Kg/m ³	0.813	0.090

Tabel 1. Uitgangspunten voor het bepalen van de Reynoldsgetallen

Dit levert: $Re(L_{gas}) = 140\ 000$ en $Re(H_2) = 54\ 000$.

De wandruwheid van kunststofleidingen is laag: typisch 0.01 mm; dus de relatieve wandruwheidfactor is $0.01\text{ mm} / 100\text{ mm} = 10^{-4}$.

Daarmee komen we in de buurt van een hydraulisch gladde buis, waarvoor geldt dat de weerstandfactor ongeveer evenredig is met $Re^{0.25}$.

Dus:

$$\frac{\lambda(H_2)}{\lambda(L_{gas})} = \left(\frac{Re(H_2)}{Re(L_{gas})} \right)^{0.25} = 0.79$$

Dus hiermee komt waterstof ca 20% lager in capaciteit dan Lgas op basis van de weerstandfactor.

Buizen van staal of van gietijzer zijn van binnen ruwer dan kunststof buizen. De lijnen in het Moody diagram lopen meer horizontaal. Dus voor staal is het effect op de capaciteit geringer.

Conclusie

Samenvattend is de vergelijking tussen H₂ en Lgas als volgt:

Winst door de capaciteit op basis van de Wobbe-index (bovenwaarde)	10%
Verlies door weerstandfactor	-21%
Verlies vanwege niet-ideaal gasgedrag	0 tot -1.9%
Netto verlies (voor een kunststofnet)	-11% tot -13%

Afhankelijk van de heersende druk in het gasnet zal bij een drie maal zo hoge snelheid de capaciteit van het gasnet in geval van waterstof distributie iets meer dan 10% lager zijn dan die voor levering van Lgas.