



Dutch
Metrology
Institute

Gevolgen van stromingsverstoringen op debietmeting in nauwe schoorstenen

Marcel Workamp

VSL

PKL

10-10-2019



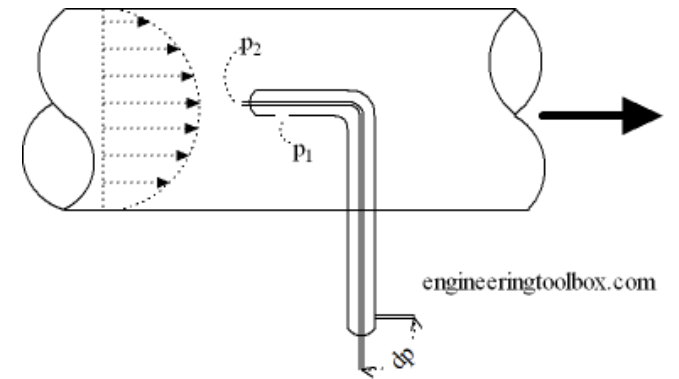
Emissie metingen in nauwe schoorstenen

- Literatuur vooral gefocussed op grote schoorstenen van installaties vallend onder het Industrial Emissions Directive (>50 MWth)
- Medium Combustion Plant Directive (MCPD, 2015) reguleert emissie van installaties met thermische input tussen 1 en 50 MWth
- Aantal van deze “Medium Combustion Plants” in EU ≈ 143000

Het correct monitoren van de emissie van al deze installaties is van belang voor volksgezondheid en milieu.

Debietmeting

- Activiteitenbesluit: debietmeting volgens ISO-16911
 - ISO-16911-1: Manual reference method
 - ISO-16911-2: Automated measuring systems
 - Kalibratie & validatie volgens deel 1.
- ISO-16911-1: Typisch gedaan met Pitot-buizen
- ISO 16911-1 refereert aan EN 15259 voor selectie van het meetvlak en de meetposities



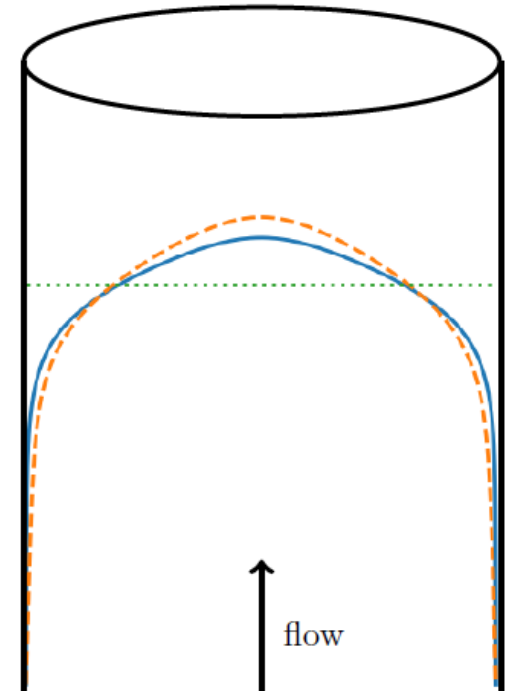
EN 15259 eisen m.b.t. het meetvlak:

- b) measurement plane shall be situated in a section of the waste gas duct (stack etc.) where homogenous flow conditions and concentrations can be expected;

NOTE 4 The requirement for homogeneous flow conditions is generally fulfilled if the measurement plane is

- as far downstream and upstream from any disturbance, which could produce a change in direction of flow (e.g. disturbances can be caused by bends, fans or partially closed dampers),
- in a section of a duct with at least five hydraulic diameters of straight duct upstream of the sampling plane and two hydraulic diameters downstream (five hydraulic diameters from the top of a stack; see A.2) and
- in a section of a duct with constant shape and cross-sectional area.

NB. “Homogene” flow is nooit te verwachten: een volledig ontwikkeld stromingsprofiel is niet vlak.



EN 15259 eisen aan de stroming

c) measurements at all the sampling points defined in 8.2 and Annex D shall prove that the gas stream at the measurement plane meets the following requirements:

1) angle of gas flow less than 15° with regard to duct axis;

NOTE 7 A method for the determination of the angle of gas flow is given in Annex B of EN 13284-1:2001.

2) no local negative flow;

3) minimum velocity depending on the flow rate measuring method used (for Pitot tubes a differential pressure larger than 5 Pa);

4) ratio of the highest to lowest local gas velocities less than 3:1;

NOTE 8 The above requirements are generally fulfilled in sections of duct with at least five hydraulic diameters of straight duct upstream of the measurement plane and two hydraulic diameters downstream (five hydraulic diameters from the top of a stack). Therefore, it is strongly recommended to design sampling locations accordingly.

Dit is veel werk

Dit opvolgen is de makkelijkste route

Meetpunten volgens Sec. 8.2 van EN 15259

Table 2 — Minimum number of sampling points for circular ducts

Range of sampling plane areas m^2	Range of ducts diameters m	Minimum number of sampling lines (diameters)	Minimum number of sampling points per plane
< 0,1	< 0,35	—	1 ^a
0,1 to 1,0	0,35 to 1,1	2	4
1,1 to 2,0	>1,1 to 1,6	2	8
> 2,0	> 1,6	2	at least 12 and 4 per m^2 ^b
^a Using only one sampling point can give rise to errors greater than those specified in this European Standard.			
^b For large ducts, 20 sampling points are generally sufficient.			

Slechts 1 meetpunt vereist voor nauwe schoorstenen

Sampling points shall be located either more than 3 % of the sampling line length or more than 5 cm whichever is the greater value from the inner duct wall. This can arise when selecting more than the minimum numbers of sampling points presented in Tables 2 and 3, for example in cases of unusual duct shape.

Stel dat men meer punt zou willen meten

- “Tangential method” (Annex D EN15259)

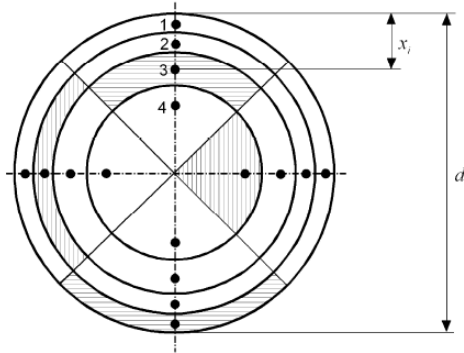


Figure D.2 — Sampling point positions in circular ducts – Tangential method (showing positions for ducts over 2 m diameter)

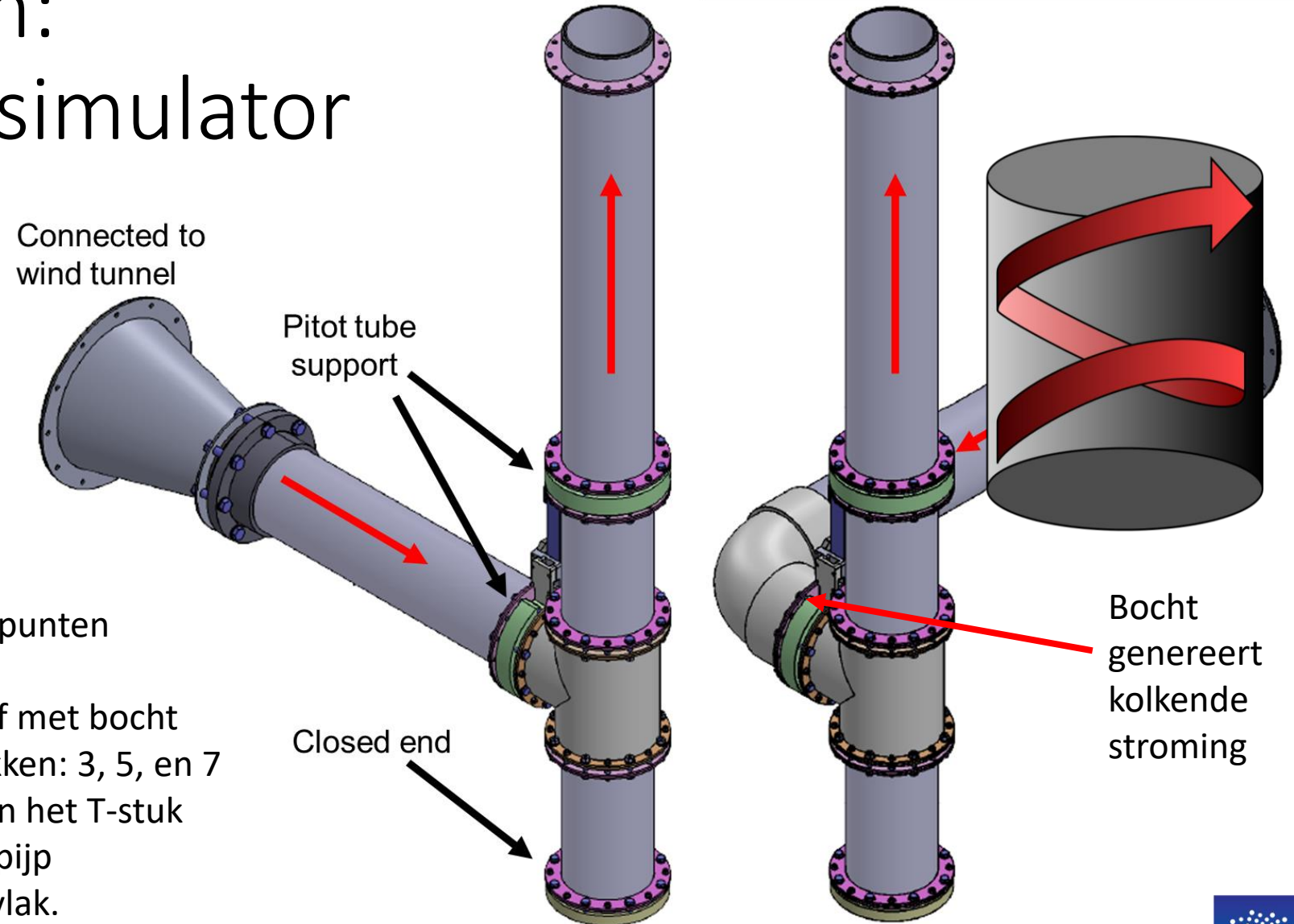
Table D.2 — Values of K_i as a percentage - Tangential method for circular ducts

i	K_i			
	$n_d = 2$	$n_d = 4$	$n_d = 6$	$n_d = 8$
1	14,6	6,7	4,4	3,3
2	85,4	25,0	14,6	10,5
3		75,0	29,6	19,4
4		93,3	70,4	32,3
5			85,4	67,7
6			95,6	80,6
7				89,5
8				96,7

In een schoorsteen met diameter 0.2 m: bijna geen geldig punten (meer dan 5 cm van de wand)

Experimenten: schoorsteen-simulator

- Diameter = 20 cm
- L-Pitot tube
- Metingen in 2 lijnen met elk 8 punten
- Ook in het midden gemeten
- 2 configuraties: rechte inlaat of met bocht
- Gemeten op verschillende vlakken: 3, 5, en 7 diameters benedenstrooms van het T-stuk
- Tenminste 6 diameters rechte pijp benedenstroom van het meetvlak.
- Referentie debiet door master meters ($U < 0.15\%$)

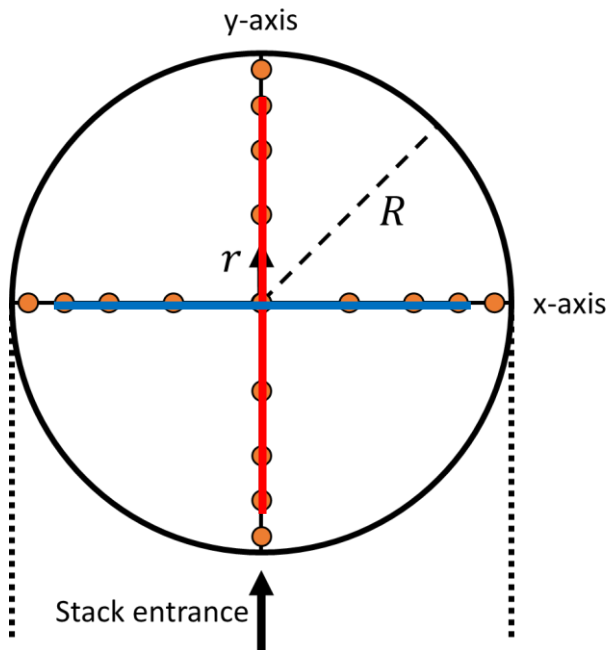


Flow profielen

$$v_z^* = v_{measured}^* / v_{bulk}^*$$

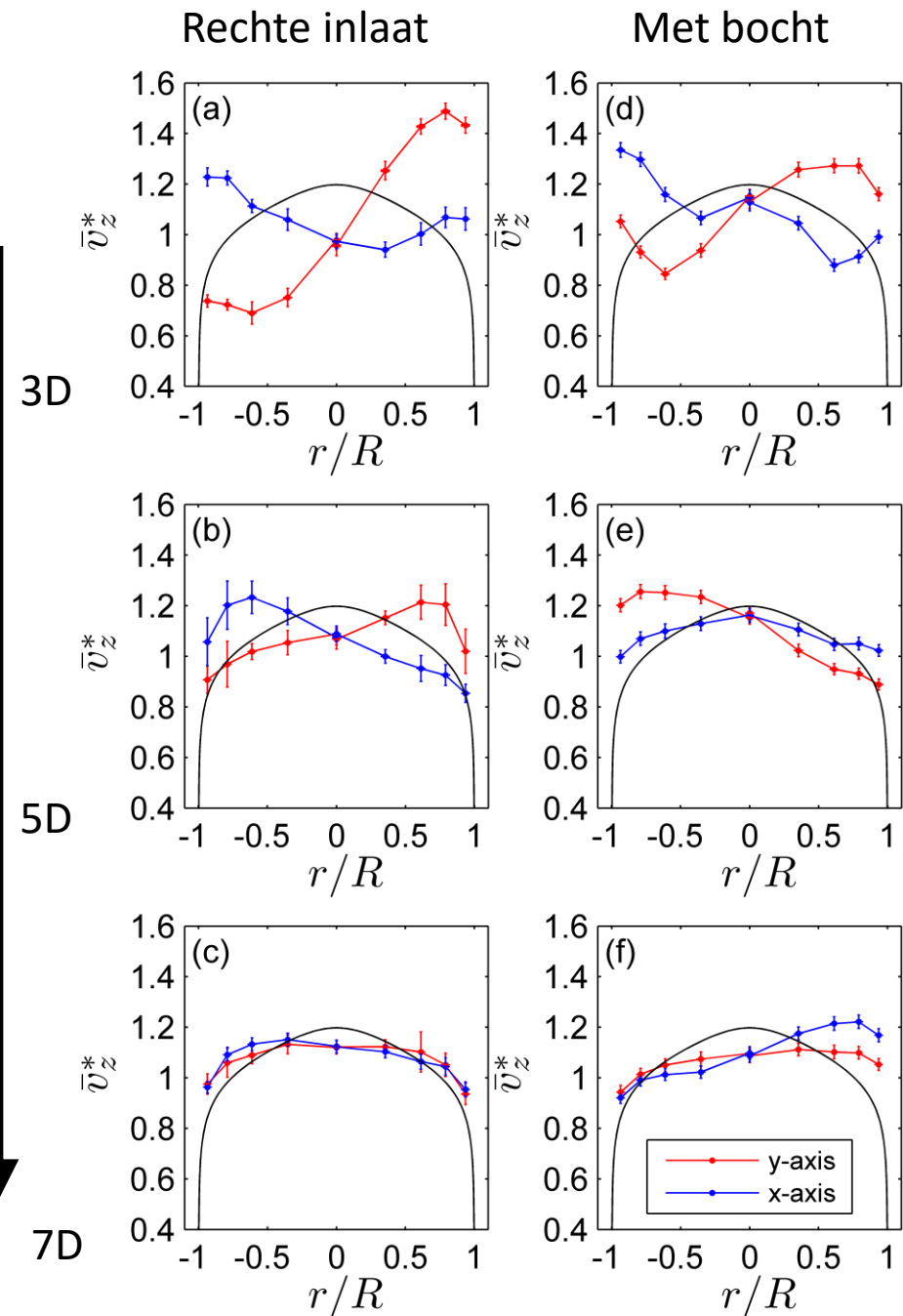
Flow profielen:

- Zijn asymmetrisch
- Wijken sterk af van volledig ontwikkeld profiel (zwarte lijn), zelfs bij 7 hydraulische diameters na het T-stuk

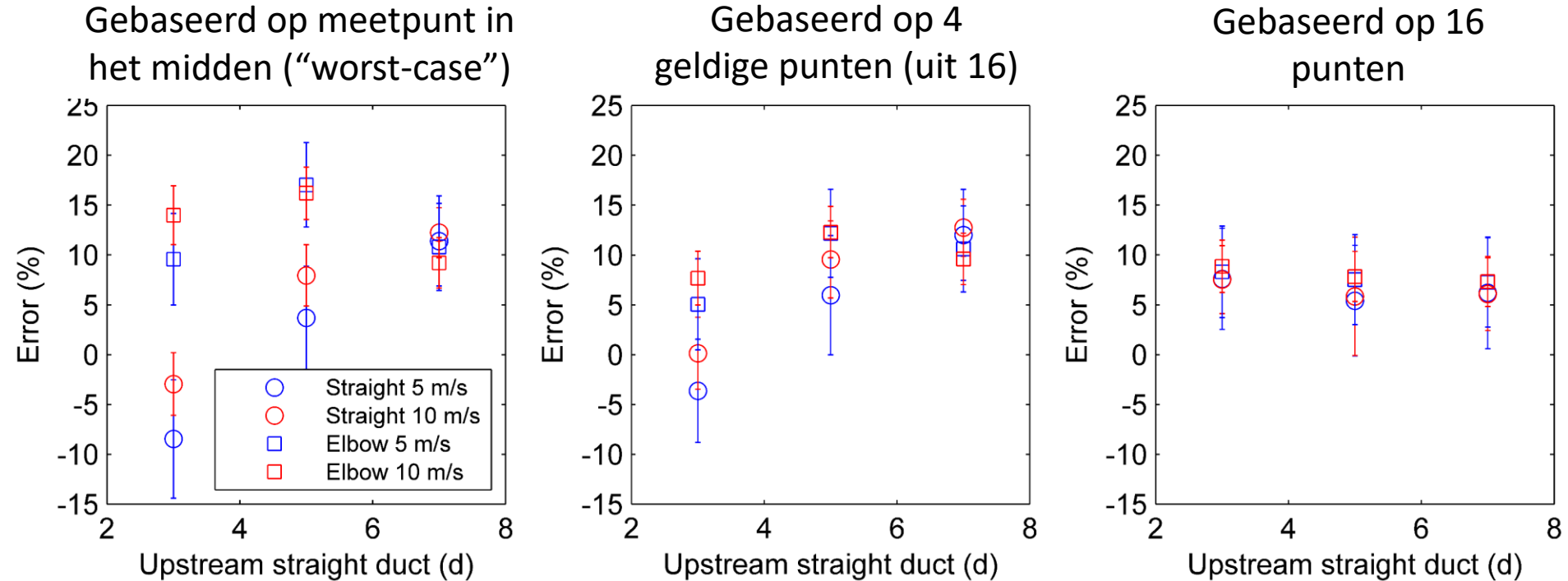


Resultaten bij $v_{bulk}^* \approx 10$ m/s. Vergelijkbaar resultaat bij $v_{bulk}^* \approx 5$ m/s.

Afstand van T-stuk

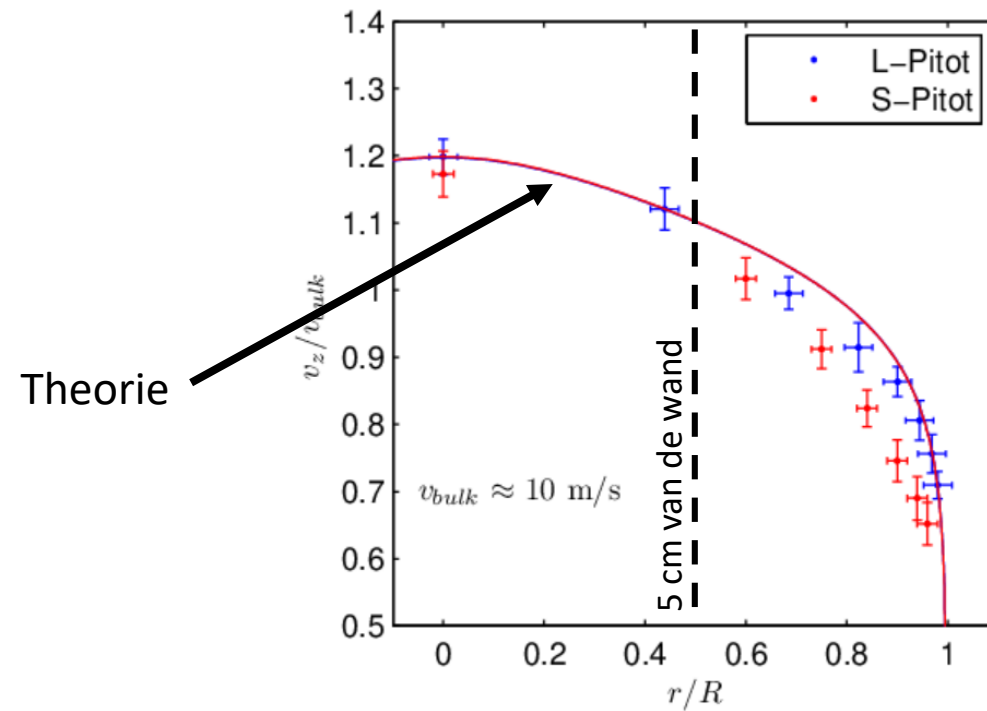


Fouten in het meetresultaat



Fout over het algemeen kleiner naarmate aantal meetpunten toeneemt.
Fout groter voor de situatie met een kolkende stroming (met bocht)

Wand effecten: L-Pitot vs S-Pitot in een schoorsteen zonder verstoringen



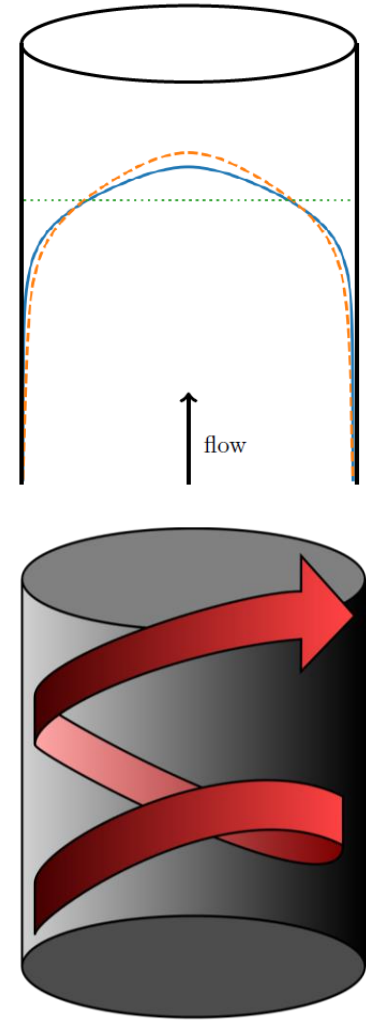
L-Pitot en S-Pitot komen niet overeen: vereiste van 5 cm afstand van de wand lijkt gerechtvaardigd.

Conclusies op basis van theorie

- Met slechts 1 meetpunt is de kans op grove fouten ($\approx 20\%$) groot. In het midden wordt het debiet met ongeveer 20% overschat. Deze effecten zijn veel groter dan waarvoor gecorrigeerd kan worden met de “wall adjustment factors” uit ISO 16911-1 Sec. 10.4.
- Geen meetpunten mogelijk voor schoorstenen met diameter kleiner dan 10 cm (nooit meer dan 5 cm van de wand).
- De vereiste 5 cm afstand van de wand beperkt de mogelijkheden voor gebruik van de “tangential method” voor nauwe schoorstenen, daar de meeste punten hier niet aan voldoen.

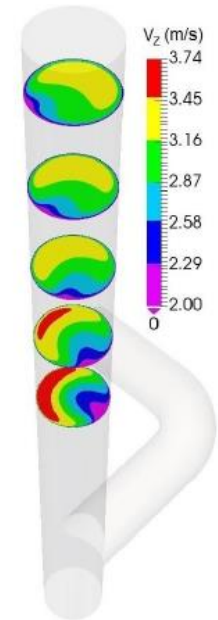
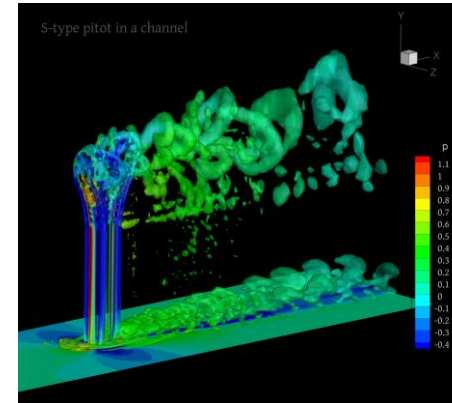
Conclusies op basis van experimenten

- 5 hydraulische diameters is niet voldoende om een volledig ontwikkelde stroming te krijgen (en 7 ook niet)
- De meetonzekerheid kan worden gereduceerd door het meten van meer punten.
- Meetonzekerheid is groter in geval van kolkende stroming
- Er zijn verschillen tussen L- en S-Pitot metingen die de eis van 5 cm afstand met de wand mogelijk rechtvaardigen



Toekomst

- Simulaties door TU Delft om verschillen tussen L- en S-Pitot buizen dichtbij de wand te verduidelijken.
- Simulaties door CMI (Tsjechisch metrologisch instituut) om voorspellingen te kunnen doen over het stromingsprofiel en daarmee een “goede” meetpositie te kunnen kiezen.
- Mogelijk vervolgonderzoek (EMPIR 2020) → input welkom!





Dutch
Metrology
Institute

This research has received funding from the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) under grant 16ENV08 IMPRESS II.

For more information about the project:
empir.npl.co.uk/impress/



Bedankt voor jullie aandacht!