

**TCVN 8113-1 : 2009
ISO 5167-1 : 2003**

Xuất bản lần 1

**ĐO DÒNG LƯU CHẤT BẰNG
THIẾT BỊ CHÊNH ÁP GẮN VÀO ỐNG DẪN
CÓ MẶT CẮT NGANG TRÒN CHẢY ĐẦY –
PHẦN 1: NGUYÊN LÝ VÀ YÊU CẦU CHUNG**

*Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices
inserted in circular cross-section conduits running full –
Part 1: General principles and requirements*

Mục lục

1 Phạm vi áp dụng	7
2 Tài liệu viện dẫn	7
3 Thuật ngữ và định nghĩa	8
4 Ký hiệu và chỉ số dưới	13
4.1 Ký hiệu	13
4.2 Chỉ số dưới	14
5 Nguyên lý của phương pháp đo và phương pháp tính	14
5.1 Nguyên lý của phương pháp đo	14
5.2 Phương pháp xác định tỷ số đường kính của thiết bị sơ cấp tiêu chuẩn đã lựa chọn....	15
5.3 Tính toán lưu lượng	15
5.4 Xác định khối lượng riêng, áp suất và nhiệt độ.....	16
6 Yêu cầu chung về phép đo	17
6.1 Thiết bị sơ cấp	17
6.2 Bản chất của lưu chất	18
6.3 Điều kiện dòng chảy	18
7 Yêu cầu lắp đặt	19
7.1 Quy định chung	19
7.2 Chiều dài tối thiểu của đoạn ống thẳng phía dòng vào và phía dòng ra của thiết bị sơ cấp	20
7.3 Yêu cầu chung cho các điều kiện dòng chảy tại thiết bị sơ cấp	21
7.4 Thiết bị ổn định dòng	22
8 Độ không đảm bảo đo của phép đo lưu lượng	25
8.1 Định nghĩa độ không đảm bảo đo	25
8.2 Tính toán cụ thể độ không đảm bảo đo	26
Phụ lục A (Tham khảo): Phương pháp tính lặp	28
Phụ lục B (Tham khảo): Ví dụ về giá trị độ nhám đồng nhất tương đương của thành ống, k	30
Phụ lục C (Tham khảo): Thiết bị ổn định dòng và thiết bị nắn dòng	31
Thư mục tài liệu tham khảo	42

Lời nói đầu

TCVN 8113-1 : 2009 hoàn toàn tương đương với ISO 5167-1 : 2003;

TCVN 8113-1 : 2009 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 30 *Đo lưu lượng lưu chất trong ống dẫn kín* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ tiêu chuẩn TCVN 8113 (ISO 5167) *Đo dòng lưu chất bằng thiết bị chênh áp gắn vào ống dẫn có mặt cắt ngang tròn chảy đầy* gồm các tiêu chuẩn sau:

- TCVN 8113-1 : 2009 (ISO 5167-1 : 2003), *Phần 1: Nguyên lý và yêu cầu chung*;
- TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), *Phần 2: Tắm tiết lưu*.

Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 còn các tiêu chuẩn sau:

- ISO 5167-3, *Part 3: Nozzles and Venturi nozzles*;
- ISO 5167-4, *Part 4: Venturi tubes*.

Lời giới thiệu

Bộ tiêu chuẩn ISO 5167, bao gồm bốn phần (đã chuyển dịch phần 1 và phần 2 thành TCVN 8113-1 : 2009 và TCVN 8113-2 : 2009), đề cập đến các dạng hình học và phương pháp sử dụng (các điều kiện lắp đặt và vận hành) của các tấm tiết lưu, các vòi và ống Venturi khi lắp đặt vào đường ống chảy đầy để xác định lưu lượng lưu chất đang chảy trong ống dẫn đó. Bộ tiêu chuẩn này cũng cung cấp các thông tin cần thiết để tính toán lưu lượng và độ không đảm bảo đo liên quan.

Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 chỉ áp dụng với các thiết bị chênh áp mà theo đó lưu lượng là nhỏ hơn tốc độ âm thanh khi chảy qua phân đoạn đo lường và khi lưu chất là đơn pha, không áp dụng để đo dòng rung động. Hơn nữa từng thiết bị này chỉ có thể được sử dụng trong các giới hạn quy định của cỡ ống và số Reynolds.

Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 đề cập đến các thiết bị được hiệu chuẩn trực tiếp, đầy đủ về số lượng, độ mở và chất lượng cho phép áp dụng các hệ thống kết hợp dựa trên cơ sở các kết quả và hệ số của nó được cho với các giới hạn độ không đảm bảo đo cụ thể có thể dự đoán được.

Các thiết bị đưa vào đường ống được gọi là “thiết bị sơ cấp”. Khái niệm thiết bị sơ cấp cũng bao gồm các lỗ lấy áp. Tất cả các phương tiện hoặc thiết bị khác cần cho phép đo được gọi là “thiết bị thứ cấp”. Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 đề cập đến các thiết bị sơ cấp; các thiết bị thứ cấp¹⁾ ít khi được đề cập.

Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 bao gồm bốn phần sau:

- a) TCVN 8113-1 : 2009 (ISO 5167-1) nêu các thuật ngữ và định nghĩa chung, các ký hiệu, nguyên lý và các yêu cầu cũng như các phương pháp đo và độ không đảm bảo đo được sử dụng liên quan đến TCVN 8113-2 : 2009 và ISO 5167-3 và ISO 5167-4.
- b) TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2) quy định các tấm tiết lưu có thể được sử dụng với các lỗ lấy áp kiểu góc, các lỗ lấy áp kiểu D và $D/2$ ²⁾ và các lỗ lấy áp kiểu mặt bích.
- c) ISO 5167-3 quy định các vòi phun ISA 1932³⁾, các vòi phun bán kính dài và các vòi phun Venturi, khác nhau về hình dạng và vị trí lỗ lấy áp.
- d) ISO 5167-4 quy định các ống Venturi cổ điển⁴⁾.

Vấn đề an toàn không được đề cập đến trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167. Đây là trách nhiệm của người sử dụng phải đảm bảo hệ thống đáp ứng các qui định an toàn thích hợp.

¹⁾ Xem ISO 2186 :1973, Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements (*Dòng lưu chất trong các ống dẫn kín – Đầu nối cho việc truyền tín hiệu áp suất giữa các thiết bị sơ cấp và thứ cấp*).

²⁾ Các tấm tiết lưu có lỗ lấy áp kiểu „vena contracta“ không được đề cập trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

³⁾ ISA là viết tắt của International Federation of the National Standardizing Associations (Liên hiệp quốc tế của các hiệp hội tiêu chuẩn hóa quốc gia), mà kế tục là ISO vào năm 1946.

⁴⁾ Tại nước Mỹ, ống Venturi cổ điển đôi khi được gọi là ống Herschel.

Đo dòng lưu chất bằng thiết bị chênh áp gắn vào ống dẫn có mặt cắt ngang tròn chảy đầy –

Phần 1: Nguyên lý và yêu cầu chung

Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 1: General principles and requirements

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này xác định các thuật ngữ, ký hiệu và thiết lập các nguyên lý chung cho các phương pháp đo và tính toán lưu lượng lưu chất chảy trong ống dẫn bằng các thiết bị đo chênh áp (tám tiết lưu, vòi phun và ống Venturi) khi chúng được lắp vào ống dẫn có mặt cắt ngang chảy đầy. Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu chung cho các phương pháp đo, lắp đặt và xác định độ không đảm bảo đo đo lưu lượng. Tiêu chuẩn này cũng xác định các giới hạn quy định chung của cỡ ống và số Reynolds theo đó các thiết bị đo chênh áp được sử dụng.

Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần) chỉ được áp dụng cho dòng chảy nhỏ hơn tốc độ âm thanh khi chảy qua phân đoạn đo lường và khi lưu chất là đơn pha. Bộ tiêu chuẩn này không áp dụng cho phép đo dòng rung động.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau rất cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 8112 : 2009 (ISO 4006:1991), *Đo dòng lưu chất trong ống dẫn kín – Từ vựng và ký hiệu*

TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), *Đo dòng lưu chất bằng thiết bị chênh áp gắn vào ống dẫn có mặt cắt ngang tròn chảy đầy – Phần 2: Tám tiết lưu.*

ISO 5167-3 : 2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduit running full – Part 3: Nozzles and Venturi nozzles (Đo dòng lưu chất bằng thiết bị chênh áp gắn vào ống dẫn có mặt cắt ngang tròn chảy đầy – Phần 3: Vòi phun và vòi phun Venturi)*.

ISO 5167-4 : 2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduit running full – Part 4: Venturi tubes (Đo dòng lưu chất bằng thiết bị chênh áp gắn vào ống dẫn có mặt cắt ngang tròn chảy đầy – Phần 4: Ống Venturi)*.

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa nêu trong TCVN 8112 : 2009 (ISO 4006) và các thuật ngữ, định nghĩa sau.

CHÚ THÍCH : Các định nghĩa dưới đây chỉ dùng cho các thuật ngữ được sử dụng theo nghĩa đặc biệt hoặc cho các thuật ngữ phù hợp với việc nhấn mạnh thêm ý nghĩa.

3.1 Đo áp suất (Pressure measurement)

3.1.1

Lỗ lấy áp thành ống (Wall pressure tapping)

Lỗ hình tròn hoặc khe hình khuyên được khoan trên thành ống dẫn sao cho gờ lỗ ngang bằng với bề mặt bên trong của đường ống.

CHÚ THÍCH: Lỗ lấy áp thường là lỗ tròn nhưng trong một số trường hợp đặc biệt có thể là khe hình khuyên.

3.1.2

Áp suất tĩnh của lưu chất chảy qua đường ống (Static pressure of fluid flowing through a pipeline)

p

Áp suất có thể đo được bằng cách nối một thiết bị đo áp với lỗ lấy áp tại thành ống.

CHÚ THÍCH: Trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần) chỉ sử dụng giá trị áp suất tĩnh tuyệt đối.

3.1.3

Chênh áp (Differential pressure)

Δp

Sự khác nhau giữa áp suất tĩnh đo được tại các lỗ lấy áp tại thành ống, một ở phía dòng vào và các lỗ lấy áp khác ở phía dòng ra của thiết bị sơ cấp (hoặc tại cổ của vòi phun Venturi hoặc ống Venturi), được lắp đặt trên đường ống thẳng khi có lưu chất chảy qua, có tính đến sự khác biệt chiều cao giữa các lỗ lấy áp phía dòng vào và phía dòng ra của thiết bị sơ cấp.

CHÚ THÍCH: Trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần), thuật ngữ “chênh áp” chỉ được sử dụng nếu lỗ lấy áp ở vị trí quy định đối với từng thiết bị sơ cấp tiêu chuẩn.

3.1.4**Tỷ số áp suất (Pressure ratio)** τ

Tỷ số giữa áp suất (tính) tuyệt đối tại lỗ lấy áp phía dòng vào và phía dòng ra thiết bị sơ cấp.

3.2 Thiết bị sơ cấp (Primary devices)**3.2.1****Cổ của tấm tiết lưu (Orifice throat)**

Lỗ có diện tích mặt cắt ngang nhỏ nhất được khoét trên thiết bị sơ cấp.

CHÚ THÍCH: Các lỗ tiết lưu của thiết bị sơ cấp tiêu chuẩn có dạng tròn và đồng trục với đường ống.

3.2.2**Tấm tiết lưu (Orifice plate)**

Tấm mỏng trên đó có tạo một lỗ gia công tròn.

CHÚ THÍCH: Các tấm tiết lưu tiêu chuẩn có dạng là một “tấm mỏng” và “có cạnh sắc vuông”, vì độ dày của tấm nhỏ so với đường kính của đoạn đo và vì cạnh trước của tấm là sắc và vuông góc.

3.2.3**Vòi (Nozzle)**

Thiết bị bao gồm một phía dòng vào nhỏ dần nối với một phần hình trụ được gọi là “cổ”.

3.2.4**Vòi phun Venturi (Venturi nozzle)**

Thiết bị bao gồm một phía dòng vào nhỏ dần là một vòi ISA 1932 tiêu chuẩn hóa nối với một phần hình trụ gọi là “cổ” và một phần lớn dần hình côn được gọi là “phân kỳ”.

3.2.5**Ống Venturi (Venturi tube)**

Thiết bị bao gồm một phía dòng vào hội tụ hình côn được nối với một phần hình trụ được gọi là “cổ” và một phần lớn dần hình côn được gọi là “phân kỳ”.

3.2.6**Tỷ số đường kính (Diameter ratio)** β

(của thiết bị sơ cấp dùng trong đường ống) Tỷ số giữa đường kính lỗ tiết lưu hoặc cổ của thiết bị sơ cấp với đường kính trong của đường ống đo phía dòng vào của thiết bị sơ cấp.

CHÚ THÍCH: Tuy nhiên, khi thiết bị sơ cấp có một phần hình trụ ở phía dòng vào, có cùng đường kính với đường ống (như trong trường hợp ống Venturi cổ điển), tỷ số đường kính là tỷ số của đường kính cổ và đường kính của phần hình trụ tại mặt phẳng của các lỗ lấy áp phía dòng vào.

3.3 Dòng chảy (Flow)

3.3.1

Lưu lượng (Flow rate)

q

Khối lượng hoặc thể tích lưu chất chảy qua lỗ tiết lưu (hoặc cổ) trên một đơn vị thời gian.

3.3.1.1

Lưu lượng khối lượng (Mass flowrate/Rate of mass flow)

q_m

Khối lượng lưu chất chảy qua lỗ tiết lưu (hoặc cổ) trên một đơn vị thời gian.

3.3.1.2

Lưu lượng thể tích (Volume flowrate/Rate of volume flow)

q_v

Thể tích lưu chất chảy qua lỗ tiết lưu (hoặc cổ) trên một đơn vị thời gian

CHÚ THÍCH: Trong trường hợp lưu lượng thể tích, cần phải công bố áp suất và nhiệt độ tại điểm đo lưu lượng.

3.3.2

Số Reynolds (Reynolds number)

Re

Đại lượng không thứ nguyên biểu thị tỷ số giữa lực quán tính và lực ma sát nhớt.

3.3.2.1

Số Reynolds của đường ống (Pipe Reynolds number)

Re_D

Đại lượng không thứ nguyên biểu thị tỷ số giữa lực quán tính và lực ma sát nhớt trong đường ống phía dòng vào thiết bị sơ cấp.

$$Re_D = \frac{V_1 D}{\nu_1} = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 D}$$

3.3.2.2

Số Reynolds của lỗ tiết lưu hoặc cổ (Orifice or throat Reynolds number)

Re_d

Đại lượng không thứ nguyên biểu thị tỷ số giữa lực quán tính và lực ma sát nhớt trong lỗ tiết lưu hoặc cổ của thiết bị sơ cấp.

$$Re_d = \frac{Re_D}{\beta}$$

3.3.3

Số mũ đẳng entropi (Isentropic exponent)

κ

Tỷ số giữa sự biến đổi tương đối về áp suất so với sự biến đổi tương đối tương ứng về khối lượng riêng dưới các điều kiện biến đổi đoạn nhiệt thuận nghịch cơ bản.

CHÚ THÍCH 1: Số mũ đoạn nhiệt xuất hiện trong công thức khác nhau với hệ số giãn nở ε và biến đổi theo bản chất, áp suất và nhiệt độ của khí.

CHÚ THÍCH 2: Một số khí và hơi chưa được xác định hệ số đoạn nhiệt đặc biệt là trong một khoảng rộng của áp suất và nhiệt độ. Trong trường hợp này, trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần), tỷ số của nhiệt dung riêng ở áp suất không đổi với nhiệt dung riêng ở thể tích không đổi của khí lý tưởng có thể được dùng thay thế cho số mũ đoạn nhiệt.

3.3.4

Hệ số Joule Thomson (Joule Thomson coefficient)

Hệ số nhiệt độ áp suất đẳng enthalpy

 μ_{JT}

Tỷ lệ thay đổi của nhiệt độ theo áp suất ở điều kiện enthalpy không đổi

$$\mu_{JT} = \left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_H$$

Hoặc

$$\mu_{JT} = \frac{R_u T^2}{p C_{m,p}} \left. \frac{\partial Z}{\partial T} \right|_p$$

trong đó:

- T là nhiệt độ tuyệt đối;
- p là áp suất tĩnh của một lưu chất chảy qua một đường ống;
- H là enthalpy;
- R_u là hằng số khí phổ quát/phổ dụng;
- $C_{m,p}$ là nhiệt dung phân tử ở áp suất không đổi;
- Z là hệ số nén.

CHÚ THÍCH: Hệ số Joule Thomson thay đổi theo tính chất của khí, theo nhiệt độ và áp suất của nó và có thể tính toán được.

3.3.5

Hệ số xả (Discharge coefficient)

 C

Hệ số, xác định cho dòng lưu chất không nén được, liên hệ lưu lượng thực tế với lưu lượng lý thuyết qua một thiết bị, và được biểu thị bằng công thức đối với các lưu chất không nén được:

$$C = \frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}}$$

CHÚ THÍCH 1: Việc hiệu chuẩn các thiết bị sơ cấp tiêu chuẩn bằng các lưu chất (lỏng) không nén được cho thấy hệ số xả phụ thuộc với số Reynolds đối với một thiết bị sơ cấp khi lắp đặt.

Đối với tất cả các cách lắp đặt thiết bị sơ cấp tương tự nhau về phương diện hình học và các dòng chảy được đặc trưng bởi những số Reynolds đồng nhất thì trị số của C là như nhau.

Công thức xác định các trị số của C đưa ra trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần) được xây dựng dựa trên số liệu thực nghiệm.

Độ không đảm bảo đo của giá trị của C có thể giảm xuống bằng việc hiệu chuẩn dòng trong một phòng thí nghiệm phù hợp.

CHÚ THÍCH 2: Đại lượng $1/\sqrt{1-\beta^4}$ gọi là “tốc độ của hệ số tiệm cận”, và tích $C \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$ gọi là “hệ số dòng”.

3.3.6

Hệ số giãn nở [Expansibility (expansion) factor]

ε

Hệ số được dùng để đưa vào tính toán tính chất nén được của dòng lưu chất.

$$\varepsilon = \frac{q_m \sqrt{1-\beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 C \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$$

CHÚ THÍCH: Việc hiệu chuẩn một thiết bị sơ cấp bằng lưu chất nén được (khí) cho thấy tỷ số $\frac{q_m \sqrt{1-\beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$ là phụ thuộc đối

với giá trị của số Reynolds cũng như với giá trị của tỷ số áp suất và số mũ đoạn nhiệt của khí.

Phương pháp được chấp nhận để trình bày các thay đổi này đã tính tới việc nhân hệ số xả C của thiết bị sơ cấp với hệ số giãn nở ε , khi xác định bằng việc hiệu chuẩn trực tiếp được thực hiện với các chất lỏng có cùng trị số Reynolds.

Hệ số giãn nở ε bằng 1 khi lưu chất được xem là không nén được (chất lỏng) và nhỏ hơn 1 khi lưu chất nén được (ở dạng khí).

Phương pháp này khả thi bởi thực nghiệm cho thấy ε thực tế là phụ thuộc với số Reynolds và, đối với tỷ số đường kính đã cho của một thiết bị sơ cấp, ε chỉ phụ thuộc vào tỷ số áp suất và số mũ đoạn nhiệt.

Các trị số của ε cho các tấm tiết lưu nêu trong TCVN 8113-2 (ISO 5167-2) là dựa trên các dữ liệu thực nghiệm. Đối với vòi (xem ISO 5167-3) và các ống Venturi (xem ISO 5167-4), dựa trên phương trình nhiệt động học áp dụng cho giãn nở đoạn nhiệt.

3.3.7

Độ lệch trung bình số học của độ nhám biên dạng (Arithmetical mean deviation of the roughness profile)

R_a

Độ lệch trung bình số học từ đường trung bình của biên dạng được đo.

CHÚ THÍCH 1: Đường trung bình là đường thẳng sao cho tổng bình phương của các khoảng cách giữa bề mặt hiệu dụng và đường trung bình là nhỏ nhất. Trong thực tế R_a có thể được đo bằng thiết bị chuẩn dùng cho các bề mặt được gia công cơ nhưng chỉ có thể ước lượng được cho bề mặt nhám của ống. Xem thêm ISO 4288.

CHÚ THÍCH 2: Có thể sử dụng độ nhám tương đương, k , cho các đường ống. Giá trị này có thể được xác định bằng thực nghiệm (xem 7.1.5) hoặc lấy từ bảng (xem Phụ lục B).

4 Ký hiệu và chỉ số dưới

4.1 Ký hiệu

Bảng 1 – Ký hiệu

Ký hiệu	Đại lượng	Thứ nguyên ^a	Đơn vị SI
C	Hệ số xả	Không thứ nguyên	-
$C_{m,p}$	Nhiệt dung phân tử ở áp suất không đổi	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}mol^{-1}$	J/(mol.K)
d	Đường kính lỗ tiết lưu (hoặc cổ) của thiết bị sơ cấp tại điều kiện làm việc	L	m
D	Đường kính trong của đường ống phía dòng vào (hoặc đường kính phía dòng vào của ống Venturi cổ điển) tại điều kiện làm việc	L	m
H	Enthalpy	$ML^2T^{-2}mol^{-1}$	J/mol
k	Độ nhám đồng dạng tương đương	L	m
K	Hệ số tổn thất áp suất (tỷ số giữa áp suất bị tổn thất và áp suất động lực học, $\rho V^2/2$)	Không thứ nguyên	-
l	Khoảng cách đặt lỗ lấy áp	L	m
L	Khoảng đặt lỗ lấy áp tương đối $L = l/D$	Không thứ nguyên	-
P	Áp suất tĩnh tuyệt đối của lưu chất	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
q_m	Lưu lượng khối lượng	MT^{-1}	kg/s
q_v	Lưu lượng thể tích	L^3T^{-1}	m ³ /s
R	Bán kính	L	m
R_a	Độ lệch trung bình số học của biên dạng (độ nhám)	L	m
R_u	Hằng số khí phổ quát	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}mol^{-1}$	J/(mol.K)
Re	Số Reynolds	Không thứ nguyên	-
Re_D	Số Reynolds liên quan đến D	Không thứ nguyên	-
Re_d	Số Reynolds liên quan đến d	Không thứ nguyên	-
t	Nhiệt độ của lưu chất	Θ	°C
T	Nhiệt độ tuyệt đối (nhiệt động lực học) của lưu chất	Θ	K
U'	Độ không đảm bảo đo tương đối	Không thứ nguyên	-
V	Vận tốc dọc trục trung bình của lưu chất trong đường ống	LT^{-1}	m/s
Z	Hệ số nén	Không thứ nguyên	-
β	Tỷ số đường kính: $\beta = d/D$	Không thứ nguyên	-

Ký hiệu	Đại lượng	Thứ nguyên ^a	Đơn vị SI
γ	Tỉ số nhiệt dung riêng ^b	Không thứ nguyên	–
δ	Độ không đảm bảo đo tuyệt đối	^c	^c
Δp	Độ chênh áp	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Δp_c	Tổn thất áp qua thiết bị ổn định dòng	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Δw	Tổn thất áp qua thiết bị sơ cấp	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ε	Hệ số giãn nở	Không thứ nguyên	–
κ	Số mũ đẳng entropi ^b	Không thứ nguyên	–
λ	Hệ số ma sát	Không thứ nguyên	–
μ	Độ nhớt động lực học của lưu chất	$ML^{-1}T^{-1}$	Pa.s
μ_T	Hệ số Joule Thomson	$M^{-1}LT^2\Theta$	K/Pa
ν	Độ nhớt động học của lưu chất $\nu = \mu/\rho$	L^2T^{-1}	m^2/s
ξ	Tổn thất áp tương đối (tỷ số của tổn thất áp suất với chênh áp)	Không thứ nguyên	–
ρ	Khối lượng riêng của lưu chất	ML^{-3}	kg/m^3
τ	Tỉ số áp suất $\tau = p_2/p_1$	Không thứ nguyên	–
φ	Góc tổng của phân đoạn phân kỳ	Không thứ nguyên	rad

^a M = khối lượng; L = độ dài; T = thời gian; Θ = nhiệt độ

^b γ là tỉ số của nhiệt dung riêng tại áp suất không đổi với nhiệt dung riêng tại thể tích không đổi. Đối với khí lý tưởng, tỉ số của nhiệt dung riêng và số mũ đẳng entropi có giá trị giống nhau (xem 3.3.3). Những giá trị này phụ thuộc vào bản chất của khí.

^c Thứ nguyên và đơn vị theo những đại lượng tương ứng.

4.2 Chỉ số dưới

Chỉ số dưới	Ý nghĩa
1	Tại mặt phẳng lấy áp phía dòng vào
2	Tại mặt phẳng lấy áp phía dòng ra

5 Nguyên lý của phương pháp đo và phương pháp tính

5.1 Nguyên lý của phương pháp đo

Nguyên lý của phương pháp đo dựa trên việc lắp đặt một thiết bị sơ cấp (như tấm tiết lưu, vòi phun hoặc ống Venturi) vào trong đường ống có lưu chất chảy đầy. Việc lắp thiết bị sơ cấp tạo nên chênh lệch áp suất tĩnh giữa phía dòng vào và cổ hoặc phía dòng sau của thiết bị. Lưu lượng có thể được xác định từ giá trị chênh áp đo được và từ đặc tính của dòng lưu chất cũng như các điều kiện sử dụng thiết bị. Giả định thiết bị có dạng hình học giống với hình dạng của

thiết bị đã được hiệu chuẩn và các điều kiện sử dụng cũng giống nhau [xem TCVN 8113-2 (ISO 5167-2), ISO 5167-3 hoặc ISO 5167-4].

Lưu lượng khối lượng có thể được xác định từ mối quan hệ với độ chênh áp trong giới hạn độ không đảm bảo đo được công bố trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 sử dụng Công thức (1):

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (1)$$

Tương tự, giá trị lưu lượng thể tích có thể được tính bằng Công thức (2):

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \quad (2)$$

trong đó ρ là khối lượng riêng của lưu chất ở nhiệt độ và áp suất mà thể tích được công bố.

5.2 Phương pháp xác định tỷ số đường kính của thiết bị sơ cấp tiêu chuẩn đã lựa chọn

Trong thực tế, khi xác định tỷ số đường kính của một thiết bị sơ cấp được lắp đặt trên đường ống cho trước, C và ε được sử dụng trong Công thức (1) thường là ẩn số. Vì vậy, các yêu cầu sau cần phải chọn trước:

- Loại thiết bị sơ cấp cần sử dụng; và
- Lưu lượng và giá trị chênh áp tương ứng.

Thay các giá trị của q_m và Δp vào Công thức (1), viết lại được công thức sau:

$$\frac{C\varepsilon\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = \frac{4q_m}{\pi D^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$$

trong đó tỷ số đường kính của thiết bị sơ cấp đã lựa chọn có thể xác định bằng cách tính lặp (xem Phụ lục A).

5.3 Tính toán lưu lượng

Tính toán lưu lượng là quá trình toán học thuần túy trong đó các số hạng trong vế phải của Công thức (1) được thay thế bằng các trị số của chúng.

Ngoại trừ trường hợp ống Venturi, C có thể phụ thuộc vào Re , bản thân Re lại phụ thuộc vào q_m . Trong các trường hợp như vậy, giá trị cuối cùng của C và sau đó là q_m , phải đạt được bằng cách tính lặp. Xem Phụ lục A về việc lựa chọn qui trình tính toán lặp và các ước lượng ban đầu.

Đường kính D và d nêu trong công thức là những giá trị đường kính tại điều kiện làm việc. Các phép đo tại những điều kiện khác cần được hiệu chỉnh về sự giãn nở hoặc co lại của thiết bị sơ cấp và đường ống do nhiệt độ và áp suất của lưu chất trong suốt quá trình đo.

Cần biết khối lượng riêng và độ nhớt của lưu chất tại điều kiện làm việc. Trong trường hợp lưu chất có thể nén được, thì cần biết thêm số mũ đẳng entropi của lưu chất ở điều kiện làm việc.

5.4 Xác định khối lượng riêng, áp suất và nhiệt độ

5.4.1 Quy định chung

Mọi phương pháp xác định giá trị tin cậy của khối lượng riêng, áp suất tĩnh và nhiệt độ của lưu chất đều có thể chấp nhận nếu nó không can thiệp vào việc phân bố dòng chảy theo cách bất kỳ nào tại mặt cắt ngang thực hiện phép đo.

5.4.2 Khối lượng riêng

Cần phải biết khối lượng riêng của lưu chất tại lỗ lấy áp phía dòng vào; có thể hoặc được đo trực tiếp hoặc được tính toán theo phương trình trạng thái tương ứng từ các giá trị đã biết của áp suất tĩnh tuyệt đối, nhiệt độ tuyệt đối và thành phần của lưu chất tại vị trí đó.

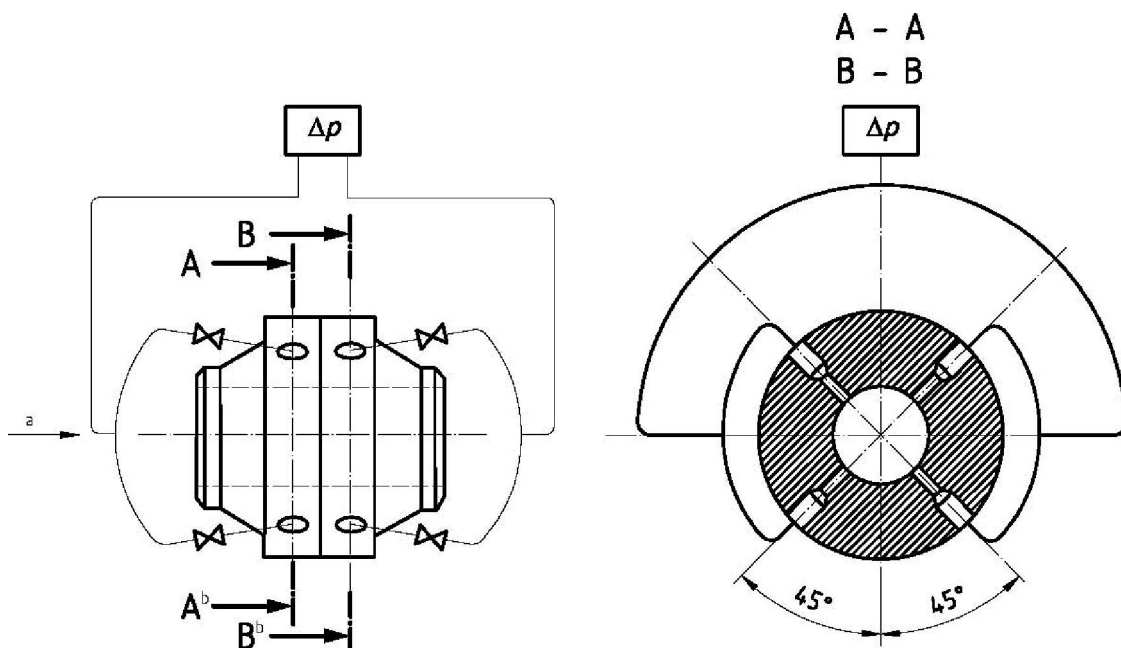
5.4.3 Áp suất tĩnh

Áp suất tĩnh của lưu chất phải được đo tại một lỗ lấy áp thành ống riêng biệt hoặc tại một vài lỗ lấy áp như thế được nối với nhau, hoặc bằng vòng đỡ đo áp nếu vòng đỡ cho phép đo chênh áp trong mặt phẳng đo đối với thiết bị sơ cấp cụ thể. (Xem 5.2 trong TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), 5.1.5, 5.2.5 hoặc 5.3.3 trong ISO 5167-3 : 2003 hoặc 5.4 trong ISO 5167-4 : 2003 khi thích hợp).

Khi bốn lỗ lấy áp đều nối với nhau để cho kết quả áp suất phía dòng vào, phía dòng ra hoặc trong cổ của thiết bị sơ cấp, tốt nhất là chúng được nối với nhau theo kiểu “3 chữ T” như trong Hình 1. Bố trí “3 chữ T” thường được sử dụng cho phép đo bằng các ống Venturi.

Lỗ lấy áp tĩnh tốt nhất nên tách biệt với các lỗ đo chênh áp.

Có thể nối đồng thời một lỗ lấy áp với một thiết bị đo chênh áp và một thiết bị đo áp suất tĩnh, miễn là có kiểm tra xác nhận rằng việc đấu nối kép này không dẫn đến bất kỳ sự sai lệch nào của phép đo chênh áp.



^a Dòng chảy

^b Mặt cắt A-A (phía dòng vào) cũng là diễn hình cho mặt cắt B-B (phía dòng ra)

Hình 1 – Bố trí kiểu “3 chữ T”

5.4.4 Nhiệt độ

5.4.4.1 Nhiệt độ của lưu chất tốt nhất là được đo phía dòng ra thiết bị sơ cấp. Chú ý các yêu cầu cụ thể của phép đo nhiệt độ. Nhiệt kế hoặc hộp nhiệt kế càng chiếm ít không gian càng tốt. Khoảng cách giữa nó và thiết bị sơ cấp ít nhất là bằng $5D$ (và nhiều nhất là $15D$ khi lưu chất là khí) nếu hộp nhiệt kế đặt phía dòng ra (trong trường hợp ống Venturi, khoảng cách này được đo từ mặt phẳng đo áp suất của cổ và hộp nhiệt kế lắp cảm biến đo nhiệt độ ít nhất phải là $2D$ phía dòng ra kể từ đầu phía dòng ra của phần khuếch tán), tuân theo các giá trị nêu trong TCVN 8113-2 (ISO 5167-2), ISO 5167-3 hoặc ISO 5167-4 tùy theo thiết bị sơ cấp, nếu hộp nhiệt kế được đặt ở phía dòng vào.

Trong phạm vi giới hạn của tiêu chuẩn này, có thể giả định chung rằng nhiệt độ phía dòng vào và nhiệt độ phía dòng ra của lưu chất là không đổi tại các điểm đo chênh áp. Tuy nhiên, nếu lưu chất là khí không lý tưởng và độ chính xác cao nhất được yêu cầu có độ tổn thất áp suất lớn giữa lỗ lấy áp phía dòng vào và vị trí đo nhiệt độ phía dòng ra của thiết bị sơ cấp thì cần tính toán nhiệt độ phía dòng vào từ nhiệt độ phía dòng ra (được đo ở khoảng cách từ $5D$ đến $15D$ tính từ thiết bị sơ cấp), giả định rằng có sự giãn nở đẳng entropi giữa hai điểm này. Để thực hiện việc tính tổn thất áp suất cần tính toán $\Delta\omega$ từ 5.4 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003). 5.1.8, 5.2.8 hoặc 5.3.6 của ISO 5167-3 : 2003 hoặc 5.9 của ISO 5167-4 : 2003, tùy theo thiết bị sơ cấp. Sau đó việc giảm nhiệt độ tương ứng từ lỗ lấy áp phía dòng vào đến vị trí đo nhiệt độ phía dòng ra, ΔT , có thể được đánh giá bằng hệ số Joule Thomson, μ_{JT} , mô tả trong 3.3.4:

$$\Delta T = \mu_{JT} \Delta \omega$$

CHÚ THÍCH 1: Thực nghiệm^[1] cho thấy đây là một phương pháp phù hợp cho các tấm tiết lưu. Có thể phải thực hiện thêm các thực nghiệm để kiểm tra sự hiệu chỉnh đối với các thiết bị sơ cấp khác.

CHÚ THÍCH 2: Mặc dù sự giãn nở đẳng giữa lỗ lấy áp phía dòng vào và lỗ đo nhiệt độ phía dòng ra được giả định, nhưng điều này không là không đồng nghĩa với việc có sự giãn nở đẳng entropi giữa lỗ lấy áp phía dòng vào và lỗ lấy áp kiểu "venna contrata" hoặc cổ.

CHÚ THÍCH 3: Việc đo nhiệt độ với tốc độ khí trong đường ống lớn hơn 50 m/s có thể dẫn đến phát sinh thêm độ không đảm bảo đo liên quan đến hệ số thu hồi nhiệt độ.

5.4.4.2 Nhiệt độ của thiết bị sơ cấp và của lưu chất ở phía dòng vào của thiết bị sơ cấp được giả định là như nhau (xem 7.1.7).

6 Yêu cầu chung về phép đo

6.1 Thiết bị sơ cấp

6.1.1 Thiết bị sơ cấp phải được sản xuất, lắp đặt và sử dụng phù hợp với phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

Khi các đặc điểm sản xuất hoặc tình trạng sử dụng của các thiết bị sơ cấp nằm ngoài các giới hạn nêu trong phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167, thì cần phải hiệu chuẩn thiết bị sơ cấp riêng biệt trong các điều kiện sử dụng thực tế.

6.1.2 Tình trạng của thiết bị sơ cấp phải được kiểm tra sau mỗi lần đo, hoặc sau một số lần đo hoặc ở chu kỳ đủ gần để đảm bảo duy trì sự phù hợp với phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

Cần chú ý rằng ngay cả khi các lưu chất có biểu hiện trung tính cũng có thể hình thành cặn lắng hoặc kết thành lớp vỏ bao trên thiết bị sơ cấp. Kết quả là làm cho hệ số xả thay đổi và sau một thời gian có thể dẫn đến độ không đảm bảo đo vượt ra ngoài giá trị cho phép nêu trong phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

6.1.3 Thiết bị sơ cấp phải được sản xuất từ các vật liệu có hệ số giãn nở nhiệt đã biết.

6.2 Bản chất của lưu chất

6.2.1 Lưu chất có thể là loại nén được hoặc được xem là không nén được.

6.2.2 Lưu chất phải được xem là đồng nhất về tính chất vật lý, nhiệt và đơn pha. Các dung dịch keo có độ phân tán cao (như sữa), và chỉ các dung dịch đó, mới được xem là lưu chất đơn pha.

6.3 Điều kiện dòng chảy

6.3.1 Bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần) không áp dụng cho các phép đo dòng chảy dao động là đối tượng của ISO/TR 3313. Lưu lượng phải không đổi, hoặc trong thực tế, chỉ biến đổi nhỏ và chậm theo thời gian.

Dòng chảy chỉ được xem là không dao động^[2] khi

$$\frac{\Delta p'_{rms}}{\overline{\Delta p}} \leq 0,10$$

trong đó:

$\overline{\Delta p}$ là giá trị trung bình theo thời gian của chênh áp;

$\Delta p'$ là thành phần sai lệch của chênh áp;

$\Delta p'_{rms}$ là giá trị căn bậc hai (quân phương) của $\Delta p'$.

Chỉ có thể đo chính xác $\Delta p'_{rms}$ khi sử dụng bộ cảm biến chênh áp phản hồi nhanh, ngoài ra, toàn bộ hệ thống thứ cấp cần phù hợp các khuyến nghị thiết kế quy định trong ISO/TR 3313. Tuy nhiên, thường không cần phải kiểm tra sự đáp ứng điều kiện này.

6.3.2 Độ không đảm bảo đo quy định trong phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167 chỉ có hiệu lực khi không có sự thay đổi pha qua thiết bị sơ cấp. Việc tăng lỗ hoặc cổ của thiết bị sơ cấp sẽ làm giảm chênh áp, điều này sẽ ngăn chặn sự đổi pha. Đối với chất lỏng, áp suất tại cổ không được nhỏ hơn áp suất hóa hơi của chất lỏng đó (nếu không sẽ tạo ra sự xâm thực). Đối với khí

chỉ cần tính toán nhiệt độ tại cổ nếu khí đó gần với điểm ngưng tụ của nó; nhiệt độ tại cổ có thể được tính với giả định có sự giãn nở đẳng entropi từ các điều kiện ở phía dòng vào (nhiệt độ phía dòng vào có thể cần được tính theo công thức trong 5.4.4.1); nhiệt độ và áp suất tại cổ phải sao cho lưu chất ở trong vùng đơn pha.

6.3.3 Với lưu chất là khí, tỉ số áp suất được nêu trong 3.1.4 phải lớn hơn hoặc bằng 0,75.

7 Yêu cầu lắp đặt

7.1 Quy định chung

7.1.1 Phương pháp đo này chỉ áp dụng cho dòng lưu chất chảy qua đường ống có mặt cắt ngang tròn.

7.1.2 Đường ống phải chảy đầy lưu chất tại phân đoạn đo lường.

7.1.3 Thiết bị sơ cấp phải được lắp giữa hai đoạn ống thẳng hình trụ có đường kính không đổi và chiều dài nhỏ nhất quy định trong đó không có các vật cản hoặc rẽ nhánh ngoại trừ các qui định nêu trong Điều 6 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), ISO 5167-3 : 2003 hoặc ISO 5167-4 : 2003 tương ứng cho các thiết bị sơ cấp cụ thể.

Đường ống được coi là thẳng khi độ lệch so với đường thẳng không vượt quá 0,4 % trên toàn chiều dài của nó. Thông thường, kiểm tra ngoại quan là đủ. Cho phép lắp các mặt bích trên đoạn thẳng của ống phía dòng vào và ống phía dòng ra thiết bị sơ cấp. Các mặt bích phải được đặt thẳng hàng sao cho chúng không gây ra độ lệch quá 0,4 % so với đường thẳng. Chiều dài thẳng nhỏ nhất của ống phù hợp với các yêu cầu trên là cần thiết cho từng lắp đặt cụ thể, thay đổi tùy theo loại và quy định kỹ thuật của thiết bị sơ cấp và tính chất của phụ kiện ống được yêu cầu.

7.1.4 Bên trong ống phải có dạng tròn suốt chiều dài tối thiểu của đoạn ống thẳng được yêu cầu. Mặt cắt ngang có thể phải có hình tròn, theo quan sát bằng mắt thường. Hình dáng phía bên ngoài của đường ống cũng phải có dạng tròn, trừ tại những vùng lân cận ($2D$) sát thiết bị sơ cấp, những yêu cầu đặc biệt sẽ áp dụng theo loại thiết bị sơ cấp được sử dụng.

Có thể sử dụng đoạn ống ghép với điều kiện đường hàn nối phía trong song song với trục đường ống theo suốt chiều dài đường ống để đáp ứng với những yêu cầu lắp đặt cho thiết bị sơ cấp được sử dụng. Bất cứ mối hàn nào cũng không được phép có chiều cao lớn hơn một bậc cho phép đối với đường kính. Nếu không sử dụng khe hình khuyên thì mối nối không được nằm trong đoạn $\pm 30^\circ$ cách tâm tại bất cứ lỗ lấy áp riêng biệt được sử dụng cùng với thiết bị sơ cấp. Nếu khe hình khuyên được sử dụng thì vị trí của mối nối không quan trọng. Nếu sử dụng ống được cuốn theo hình xoắn, phần trong của ống phải được tiện nhẵn.

7.1.5 Bề mặt bên trong của đoạn ống phải luôn sạch. Chất bẩn dễ tách khỏi đường ống phải được loại bỏ. Mọi khuyết tật của đường ống kim loại như lớp tróc kim loại cũng phải được loại bỏ.

Giá trị chấp nhận của độ nhám đường ống phụ thuộc vào thiết bị sơ cấp. Trong mỗi trường hợp đều có các giới hạn về giá trị của độ lệch trung bình số học của biên dạng độ nhám, Ra (xem 5.3.1 của TCVN 8112-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), 5.1.2.9, 5.1.6.1, 5.2.2.6, 5.2.6.1, 5.3.1.9 và 5.3.4.1 của ISO 5167-3 : 2003 hoặc 5.2.7 đến 5.2.10 và 6.4.2 của ISO 5167-4 : 2003). Độ nhám mặt trong của đường ống phải được đo gần như tại cùng các vị trí trục đã được dùng để xác định và kiểm tra xác nhận đường kính trong của ống. Ít nhất phải thực hiện bốn phép đo để xác định độ nhám bề mặt trong của ống. Khi đo Ra , cần sử dụng một thiết bị đo độ nhám bề mặt loại trung bình điện tử có giá trị ngưỡng không nhỏ hơn 0,75 mm và phạm vi đo đủ để đo các giá trị Ra được tìm thấy trong đường ống. Độ nhám có thể thay đổi theo thời gian như đã nêu tại 6.1.2 và điều này phải được tính đến khi thiết lập tần suất vệ sinh ống hay kiểm tra giá trị Ra .

Giá trị Ra gần đúng có thể có được bằng cách giả định là Ra bằng k/π , trong đó k là độ nhám tương đương đồng dạng được cho bởi biểu đồ Moody (xem tài liệu [3] trong Thư mục tài liệu tham khảo). Giá trị k được cho trực tiếp bằng phép thử tổn thất áp của cùng chiều dài mẫu ống, sử dụng công thức Colebrook-White (xem 7.4.1.5) để tính k từ giá trị đo được của hệ số ma sát. Giá trị gần đúng của k đối với các vật liệu khác nhau cũng có thể nhận được từ các bảng trong tài liệu tham khảo, và Bảng B.1 nêu các giá trị của k theo sự đa dạng của các loại vật liệu.

7.1.6 Đường ống phải có các lỗ xả và/hoặc các lỗ thoát khí để cho phép loại bỏ các chất rắn lắng đọng và các lưu chất lọt vào. Tuy vậy, không được có dòng chảy nào hoặc qua lỗ xả hoặc lỗ thoát trong quá trình thực hiện phép đo dòng chảy.

Các lỗ xả và lỗ thoát không được bố trí ở gần thiết bị sơ cấp. Khi không thể đáp ứng được điều này, đường kính của các lỗ phải nhỏ hơn 0,08 D và chúng phải được bố trí sao cho khoảng cách nhỏ nhất được đo trên đường thẳng từ các lỗ này đến lỗ lấy áp của thiết bị sơ cấp trên cùng phía với các lỗ đó lớn hơn 0,5 D . Đường tâm của lỗ lấy áp và đường tâm của lỗ xả hoặc lỗ thoát phải được dịch cách nhau một khoảng ít nhất là 30° so với trục của đường ống.

7.1.7 Việc cách nhiệt của đồng hồ có thể được yêu cầu trong trường hợp có chênh lệch khá lớn về nhiệt độ giữa môi trường và nhiệt độ của lưu chất chảy qua là đáng kể đối với độ không đảm bảo đo yêu cầu. Điều này đặc biệt đúng trong trường hợp lưu chất được đo gần với điểm tới hạn khi một thay đổi nhiệt độ nhỏ sẽ dẫn đến thay đổi khối lượng riêng lớn. Điều này rất quan trọng với lưu lượng nhỏ, khi các tác động truyền nhiệt có thể gây méo biên dạng nhiệt độ, ví dụ, sự phân tầng của các lớp nhiệt độ từ trên xuống dưới. Cũng có thể có sự thay đổi giá trị nhiệt độ trung bình từ phía dòng vào đến phía dòng ra của đồng hồ khi vận hành.

7.2 Chiều dài tối thiểu của đoạn ống thẳng phía dòng vào và phía dòng ra của thiết bị sơ cấp

7.2.1 Thiết bị sơ cấp phải được lắp đặt trong đường ống tại vị trí sao cho các điều kiện dòng chảy ngay phía dòng vào thiết bị sơ cấp gần với các điều kiện không có dòng xoáy và chảy đầy ống. Các điều kiện đáp ứng yêu cầu này được quy định trong 7.3.

7.2.2 Chiều dài yêu cầu tối thiểu của đoạn ống thẳng ở phía dòng vào và phía dòng ra lắp đặt giữa các khớp nối khác nhau và thiết bị sơ cấp là tùy thuộc vào thiết bị sơ cấp. Đối với một vài loại khớp nối thông dụng như nêu trong Điều 6 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), ISO 5167-3 : 2003, hoặc ISO 5167-4 : 2003 các chiều dài tối thiểu của đoạn ống thẳng đã nêu có thể được sử dụng. Tuy nhiên, một thiết bị ổn định dòng như mô tả trong 7.4 sẽ cho phép sử dụng các đoạn ống thẳng phía dòng vào có chiều dài ngắn hơn. Như vậy một thiết bị ổn định dòng cần được lắp đặt ở phía dòng vào của thiết bị sơ cấp không thể có độ dài thẳng đầy đủ, để đạt được độ không đảm bảo đo mong muốn.

7.3 Yêu cầu chung cho các điều kiện dòng chảy tại thiết bị sơ cấp

7.3.1 Yêu cầu

Nếu không thể đáp ứng các điều kiện quy định trong Điều 6 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), ISO 5167-3 : 2003, hoặc ISO 5167-4 : 2003 thì phần tương ứng của ISO 5167 vẫn có hiệu lực nếu các điều kiện dòng chảy tại thiết bị sơ cấp có thể được chứng minh là dòng chảy đầy và không xoáy (như định nghĩa trong 7.3.2 và 7.3.3) trên toàn dải số Reynolds của quá trình đo lưu lượng.

7.3.2 Điều kiện không xoáy

Các điều kiện không xoáy có thể được cho là tồn tại khi góc xoáy tại tất cả các điểm trên mặt cắt ngang nhỏ hơn 2° .

7.3.3 Điều kiện dòng có thể chấp nhận

Các điều kiện biên dạng vận tốc có thể chấp nhận được cho là tồn tại khi, tại mỗi điểm qua mặt cắt ngang, tỷ số của vận tốc dọc trục cục bộ đối với vận tốc dọc trục cực đại tại mặt cắt ngang nằm trong khoảng 5 % so với tỷ số có thể đạt được trong dòng chảy không xoáy tại cùng vị trí bán kính ở mặt cắt ngang tại cuối một đoạn thẳng rất dài (lớn hơn $100D$) của một ống tương tự (dòng chảy đầy).

7.4 Thiết bị ổn định dòng (Xem thêm Phụ lục C)

7.4.1 Thử sự phù hợp

7.4.1.1 Với điều kiện là một thiết bị ổn định dòng đã qua các phép thử sự phù hợp theo 7.4.1.2 đến 7.4.1.6 đối với một thiết bị sơ cấp cụ thể, thì thiết bị ổn định dòng có thể được sử dụng với thiết bị sơ cấp cùng loại có bất kỳ giá trị nào của tỷ số đường kính đến 0,67 phía dòng ra của bất kỳ khớp nối phía dòng vào nào. Với điều kiện là khoảng cách giữa thiết bị ổn định dòng và thiết bị sơ cấp, giữa khớp nối phía dòng vào và thiết bị ổn định dòng là tuân theo 7.4.1.6 và chiều dài đoạn ống thẳng phía dòng ra là tuân theo các yêu cầu cho thiết bị sơ cấp cụ thể (cột 14 của Bảng 3 trong TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), cột 12 của Bảng 3 trong ISO 5167-3 : 2003, hoặc trong Bảng 1 của ISO 5167-4 : 2003), thì không cần thiết phải tăng độ không đảm bảo đo của hệ số xả tính đến khi lắp đặt.

7.4.1.2 Việc sử dụng thiết bị sơ cấp có tỷ số đường kính 0,67, độ lệch của hệ số xả đạt được trong một ống thẳng dài phải nhỏ hơn 0,23 % khi thiết bị ổn định dòng được lắp đặt trong mỗi trường hợp sau:

- a) Các điều kiện dòng chảy tốt;
- b) Phía dòng ra của van cổng đóng 50 % (hoặc tám tiết lưu dạng chữ D);
- c) Phía dòng ra của một thiết bị tạo xoáy cao (thiết bị cần tạo ra một góc xoáy tối đa qua đường ống ít nhất là 24° ở khoảng cách $18D$ phía dòng ra của nó hoặc ít nhất là 20° ở khoảng cách $30D$ phía dòng ra của nó). Xoáy có thể được tạo ra bởi một thiết bị tạo xoáy hoặc bằng các thiết bị khác. Ví dụ về thiết bị tạo xoáy là Bộ tạo xoáy Chevron chưa đăng ký bản quyền cho trên Hình 2.

Phía dòng vào của các khớp nối trong trường hợp b) và c) sẽ là một đường ống thẳng và đủ dài sao cho thiết bị sơ cấp không bị ảnh hưởng bởi bất cứ khớp nối nào ở phía dòng ra của phía dòng ra nêu ở b) hoặc c).

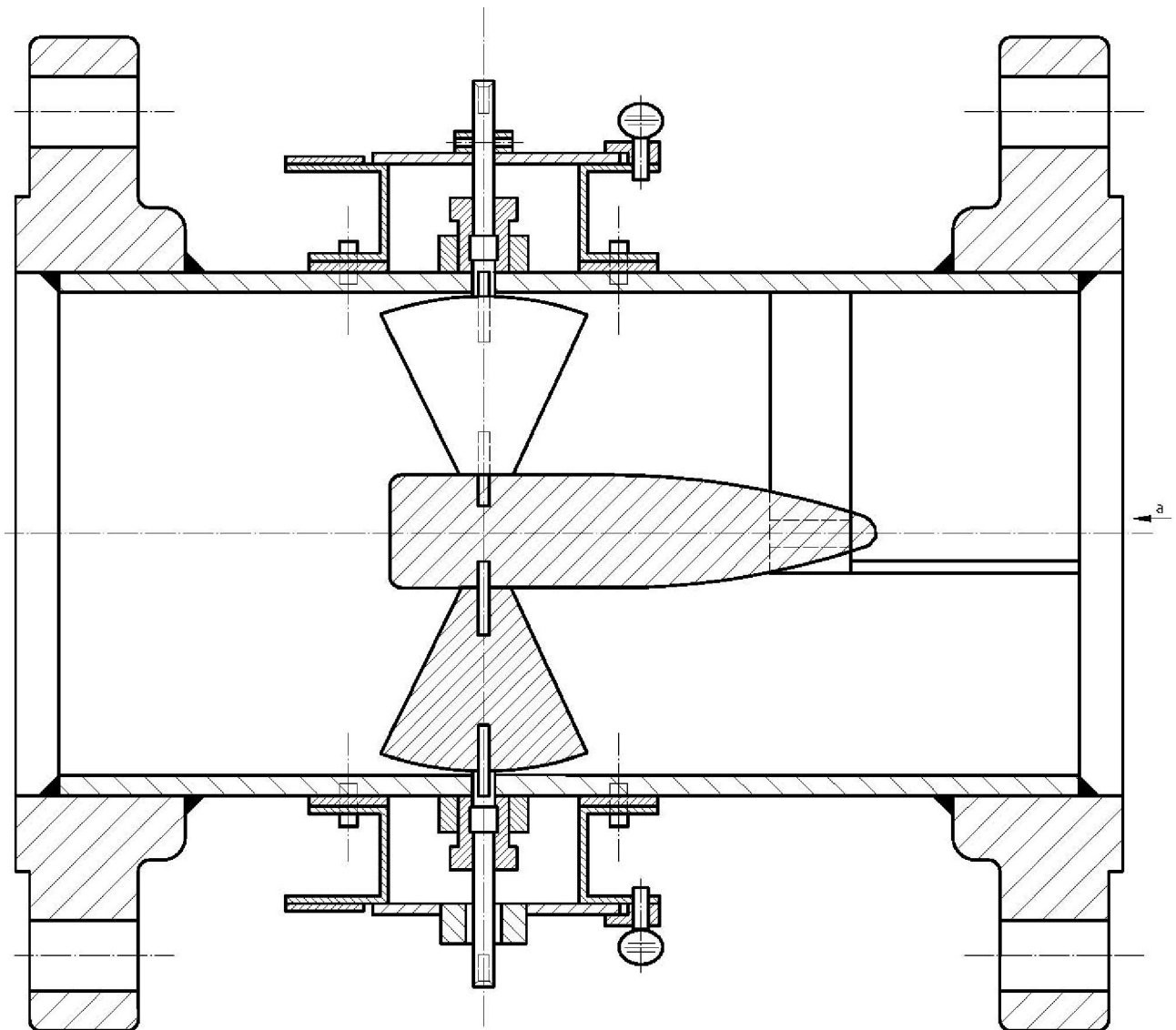
CHÚ THÍCH: Các phép thử này được yêu cầu để thiết lập thiết bị ổn định dòng:

- Không có ảnh hưởng xấu lên các điều kiện dòng chảy tốt;
- Có hiệu quả trong một dòng chảy không đối xứng cao, và
- Có hiệu quả trong một dòng chảy xoáy cao như đã thấy ở phía dòng ra của một đầu ống.

Việc sử dụng phép thử này không có ý rằng phép đo lưu lượng cần được thực hiện ở phía dòng ra của van cổng đóng một nửa; việc kiểm soát dòng cần được thực hiện ở phía dòng ra của thiết bị sơ cấp. Thông tin liên quan đến phép thử này và thiết bị tạo xoáy Chevron có thể xem trong tài liệu [4] và [5] trong Thư mục tài liệu tham khảo.

7.4.1.3 Việc sử dụng thiết bị sơ cấp có tỷ số đường kính là 0,4, độ lệch của hệ số xả đạt được trong một ống thẳng dài phải nhỏ hơn 0,23 % khi thiết bị ổn định dòng được lắp đặt ở phía dòng ra của cùng một khớp nối như trong 7.4.1.2 c).

CHÚ THÍCH: Phép thử này bao gồm cả trường hợp vẫn còn xoáy ở phía dòng ra của bộ ổn định dòng. Xoáy này có thể có ảnh hưởng lên hệ số xả với $\beta = 0,4$ nhiều hơn là $\beta = 0,67$.



^a Dòng

Hình 2 – Bộ tạo xoáy Chevron

7.4.1.4 Để thiết lập phép thử có thể chấp nhận được cho cả hai thiết bị sơ cấp và thiết bị thứ, các hệ số xả cơ sở cho mỗi thiết bị sơ cấp, như đã được đo trong một đường ống thẳng dài bởi thiết bị thử, phải nằm trong các giới hạn độ không đảm bảo đo của công thức hệ số xả đối với một thiết bị sơ cấp chưa hiệu chuẩn như đã đưa ra trong:

- 5.3.2.1 và 5.3.3.1 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003) cho tấm tiết lưu;
- 5.1.6.2 và 5.1.7.1 của ISO 5167-3 : 2003 cho vòi theo chuẩn ISA 1932;
- 5.2.6.2 và 5.2.7.1 của ISO 5167-3 : 2003 cho vòi bán kính dài;
- 5.3.4.2 và 5.3.5.1 của ISO 5167-3 : 2003 cho vòi Venturi;
- 5.5.2 và 5.7.1 của ISO 5167-4 : 2003 cho ống Venturi với phần hội tụ “as cast”; hoặc

- 5.5.3 và 5.7.2 của ISO 5167-4 : 2003 cho ống Venturi với phần hội tụ được gia công máy; hoặc
- 5.5.4 và 5.7.3 của ISO 5167-4 : 2003 cho ống Venturi với phần hội tụ bằng thép tấm được hàn xung quanh.

Đối với các phép thử này, thiết bị thử trước tiên cần phải khử hết các xoáy và sau đó là có đủ chiều dài ở phía dòng vào của thiết bị sơ cấp. Đối với tấm tiết lưu, chiều dài $70D$ có thể là đủ.

7.4.1.5 Nếu thiết bị ổn định dòng được chấp nhận ở một số Reynolds nào đó thì cần phải chứng minh rằng, nó không chỉ đáp ứng 7.4.1.2 và 7.4.1.3 ở một số Reynolds, mà còn đáp ứng điểm a) hoặc b) hoặc c) từ 7.4.1.2 ở một số Reynolds thứ hai. Nếu hai số Reynolds của đường ống là Re_{low} và Re_{high} thì chúng phải đáp ứng các tiêu chí sau:

$$10^4 \leq Re_{low} \leq 10^6 \text{ và } Re_{high} \geq 10^6$$

và

$$\lambda(Re_{low}) - \lambda(Re_{high}) \geq 0,0036$$

Trong đó λ là hệ số ma sát của đường ống (xem tài liệu [3] trong Thư mục tài liệu tham khảo), có thể nhận được bằng đồ thị từ sơ đồ Moody hoặc từ công thức Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \log_{10} \left(\frac{2k}{D} + \frac{18,7}{Re_D \sqrt{\lambda}} \right)$$

với k được đánh giá như là πRa .

Nếu chỉ muốn sử dụng bộ ổn định dòng cho $Re_D > 3 \times 10^6$, thì chỉ cần tiến hành thử như trong 7.4.1.2 tại một giá trị đơn của Re_D lớn hơn 3×10^6 .

Nếu bộ ổn định dòng là có thể chấp nhận được đối với bất kỳ cỡ ống nào, thì sẽ cần phải chứng minh rằng nó không chỉ đáp ứng 7.4.1.2 và 7.4.1.3 ở một cỡ ống, mà còn đáp ứng điểm a) hoặc b) hoặc c) từ 7.4.1.2 ở một cỡ ống thứ hai. Nếu hai cỡ ống là D_{small} và D_{large} thì chúng phải đáp ứng các tiêu chí sau:

$$D_{small} \leq 110 \text{ mm (danh nghĩa 4 in.) và } D_{large} \geq 190 \text{ mm (danh nghĩa 8 in.)}$$

CHÚ THÍCH 1: Các yêu cầu về hệ số ma sát được xác định đối với một tấm tiết lưu, biên dạng tốc độ có thể thay đổi đủ để các thay đổi hệ số xả ít nhất là hai lần độ lệch tối đa cho phép cho hệ số xả trong khi lắp đặt. Trong tài liệu [6] và [7] của Thư mục tài liệu tham khảo, ảnh hưởng của các thay đổi hệ số ma sát được đưa ra bằng:

$$\Delta C = 3,134 \beta^{3,5} \Delta \lambda$$

Lấy C bằng 0,6 và thay đổi yêu cầu tối thiểu của C là $1,26\beta - 0,384\%$ đối với $\beta \geq 0,67$ cho kết quả

$$\Delta \lambda \geq \frac{0,00241\beta - 0,000735}{\beta^{3,5}}$$

CHÚ THÍCH 2: Mặc dù đối với một vòi ảnh hưởng của $\Delta \lambda$ lên C sẽ khác với ảnh hưởng của nó lên tấm tiết lưu, các giá trị được yêu cầu của số Reynolds đối với phép thử sự phù hợp vẫn sẽ tương thích.

Chỉ một khoảng nhỏ của số Reynolds được cho phép trong TCVN 8113-2 (ISO 5167-2) hoặc ISO 5167-3 tương ứng đối với vòi Venturi hoặc ống Venturi, bộ ổn định dòng sẽ được chấp nhận trên toàn khoảng này với điều kiện là nó vượt qua phép thử sự phù hợp tại một số Reynolds đơn.

7.4.1.6 Dải các khoảng cách giữa bộ ổn định dòng và thiết bị sơ cấp và giữa khớp nối phía dòng vào và bộ ổn định dòng được sử dụng trong các phép thử sẽ xác định các khoảng có thể chấp nhận của các khoảng cách khi lưu lượng kế được sử dụng. Các khoảng cách phải được biểu thị dưới dạng số của đường kính ống.

7.4.1.7 Nếu chỉ mong muốn thực hiện phép thử sự phù hợp cho thiết bị ổn định dòng để sử dụng đến giá trị β lớn hơn 0,67 thì trước hết phải chứng minh việc đáp ứng với 7.4.1.2 đến 7.4.1.5. Sau đó phép thử đã mô tả trong 7.4.1.2, 7.4.1.4 và 7.4.1.5 phải được thực hiện tại giá trị tối đa mà tại đó bộ ổn định dòng được sử dụng β_{\max} . Độ lệch cho phép của hệ số xả được tăng lên đến $(0,63\beta_{\max} - 0,192) \%$. Trong trường hợp của 7.4.1.5.

$$\lambda(\text{Re}_{\text{low}}) - \lambda(\text{Re}_{\text{high}}) \geq \frac{0,00241\beta_{\max} - 0,000735}{\beta_{\max}^{3,5}}$$

Sau đó, với điều kiện là bộ ổn định dòng đáp ứng phép thử sự phù hợp trong tất cả các phép thử nêu trên, nó sẽ vượt qua phép thử sự phù hợp với $\beta \leq \beta_{\max}$. Dải có thể chấp nhận của các khoảng cách giữa bộ ổn định dòng và thiết bị sơ cấp và giữa khớp nối phía dòng vào và bộ ổn định dòng được xác định như trong 7.4.1.6.

7.4.2 Phép thử cụ thể

Nếu phép thử sự phù hợp không được thực hiện để cho phép sử dụng thiết bị ổn định dòng phía dòng ra của một khớp nối phía dòng vào, có thể cần phải thực hiện một phép thử dòng chảy cụ thể. Phép thử này được cho là thỏa mãn nếu phép thử lắp đặt đó cho thấy độ lệch hệ số xả của nó đạt được trong một ống thẳng dài là nhỏ hơn 0,23 %. Độ lệch cho phép trong hệ số xả có thể được tăng lên đến $(0,63\beta - 0,192) \%$ khi $0,67 < \beta \leq 0,75$ (hoặc $0,67 < \beta \leq 0,8$ trong trường hợp là vòi hoặc $0,67 < \beta \leq 0,775$ trong trường hợp là vòi Venturi). Trong trường hợp này, không cần phải tăng độ không đảm bảo đo của hệ số xả khi tính toán trong việc lắp đặt.

8 Độ không đảm bảo đo của phép đo lưu lượng

CHÚ THÍCH: Các thông tin đầy đủ về việc tính toán độ không đảm bảo đo của phép đo lưu lượng, kèm theo ví dụ, được nêu trong ISO/TR 5168.

8.1 Định nghĩa độ không đảm bảo đo

8.1.1 Trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần) độ không đảm bảo đo được định nghĩa là một khoảng quanh kết quả đo mà có thể hy vọng bao gồm khoảng 95 % phân bố của các giá trị có thể quy cho đại lượng đo một cách hợp lý.

8.1.2 Độ không đảm bảo đo đo lưu lượng phải được tính toán và đưa ra mỗi khi một phép đo được công bố phù hợp với phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

8.1.3 Độ không đảm bảo đo có thể biểu thị dưới dạng tương đối hoặc tuyệt đối và kết quả của phép đo lưu lượng có thể được thể hiện bằng một trong các cách sau:

- lưu lượng = $q \pm \delta q$
- lưu lượng = $q(1 \pm U'_q)$
- lưu lượng = q trong $(100 U'_q) \%$

trong đó độ không đảm bảo đo δq có cùng thứ nguyên với q trong khi $U'_q = \delta q/q$ là không có thứ nguyên.

8.1.4 Để thuận tiện, ở đây đưa ra sự khác biệt giữa độ không đảm bảo đo liên quan đến phép đo thực hiện do người sử dụng và độ không đảm bảo đo liên quan đến các đại lượng được quy định trong phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167. Độ không đảm bảo đo sau liên quan đến hệ số xả và hệ số giãn nở; chúng đưa ra độ không đảm bảo đo tối thiểu mà với độ không đảm bảo đo này phép đo bị làm hỏng không thể tránh được, vì vậy người sử dụng không có sự kiểm soát đối với các giá trị này. Chúng xuất hiện bởi sự cho phép có những thay đổi nhỏ về hình dạng của thiết bị và bởi vì sự khảo sát các giá trị dựa trên chúng không thể thực hiện trong các điều kiện “lý tưởng”, cũng như không có một độ không đảm bảo đo đo nhất định.

8.2 Tính toán cụ thể độ không đảm bảo đo

8.2.1 Độ không đảm bảo đo đo thành phần

Từ Công thức (1), lưu lượng khối lượng q_m được tính bởi:

$$q_m = C \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \frac{\sqrt{2 \Delta p \rho_1}}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

Trong thực tế, các đại lượng khác nhau xuất hiện ở vế phải của công thức này là không phụ thuộc, vì vậy để tính toán trực tiếp độ không đảm bảo đo đo của q_m từ các độ không đảm bảo đo đo của các đại lượng này sẽ là không chính xác.

Ví dụ C là một hàm của d, D, V_1, v_1 và ρ_1 , và ε là một hàm của $d, D, \Delta p, \rho_1$, và κ

8.2.1.1 Tuy nhiên, sẽ là đủ cho hầu hết các mục đích thực tế để giả định rằng độ không đảm bảo đo của $C, \varepsilon, d, \Delta p$ và ρ_1 là phụ thuộc với nhau.

8.2.1.2 Có thể đưa ra công thức làm việc thực tế cho δq_m , có tính đến sự phụ thuộc của C vào d và D được đưa vào trong tính toán như là kết quả sự phụ thuộc của C lên β . Chú ý rằng C cũng có thể phụ thuộc vào số Reynolds Re_D . Tuy nhiên, độ lệch của C gây ra bởi các ảnh hưởng này là thứ cấp và đã bao gồm trong độ không đảm bảo đo của C .

Tương tự, độ lệch của ε gây ra do độ không đảm bảo đo của giá trị β , tỉ số áp suất và đẳng entropi cũng là thứ cấp và được bao gồm trong độ không đảm bảo đo của ε . Sự đóng góp vào độ không đảm bảo đo gây ra do các hiệp biến có thể được xem là không đáng kể.

8.2.1.3 Độ không đảm bảo đo phải được bao hàm trong công thức làm việc thực tế cho δq_m vì vậy là các độ không đảm bảo đo của các đại lượng C , ε , d, D , Δp , và ρ_1 .

8.2.2 Công thức làm việc thực tế

8.2.2.1 Công thức làm việc thực tế cho độ không đảm bảo đo, δq_m , của lưu lượng khối lượng được nêu trong Công thức (3) như sau:

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \sqrt{\left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \Delta p}{\Delta p}\right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\delta \rho_1}{\rho_1}\right)^2} \quad (3)$$

Trong công thức (3) một vài độ không đảm bảo đo, như của hệ số xả và hệ số giãn nở, được đưa ra trong 8.2.2.2 và 8.2.2.3, trong khi các độ không đảm bảo đo khác được xác định bởi người sử dụng (xem 8.2.2.4 và 8.2.2.5).

8.2.2.2 Trong Công thức (3), các giá trị của $\delta C/C$ và $\delta \varepsilon/\varepsilon$ sẽ được lấy từ phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

8.2.2.3 Khi phải xem xét chiều dài đoạn ống thẳng thì bổ sung thêm độ không đảm bảo đo đo là 0,5 %, độ không đảm bảo đo đo này sẽ được cộng số học vào với các độ không đảm bảo đo đo nêu trong 6.2.4 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), ISO 5167-3 : 2003 và ISO 5167-4 : 2003, và không phải bình phương như với các độ không đảm bảo đo đo khác trong công thức trên. Các độ không đảm bảo đo đo bổ sung khác (xem 6.4.4, và 6.5.3 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003) và 6.4.4 của ISO 5167-3 : 2003) phải được cộng số học vào theo cách như vậy.

8.2.2.4 Trong Công thức (3) các giá trị lớn nhất của $\delta D/D$ và $\delta d/d$, được lấy từ các quy định kỹ thuật đưa ra trong 6.4.1 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), 6.4.1 của ISO 5167-3 : 2003 và 5.2.2 của ISO 5167-4 : 2003, và 5.1.8 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003), 5.1.2.5, 5.2.2.3 và 5.3.1.6 của ISO 5167-3 : 2003 và 5.2.4 của ISO 5167-4 : 2003 một cách tương ứng, có thể được chấp nhận hoặc bằng cách khác, giá trị thực tế nhỏ hơn có thể được tính toán bởi người sử dụng. (Giá trị lớn nhất của $\delta D/D$ sẽ không vượt quá 0,4% trong khi giá trị lớn nhất của $\delta d/d$ không vượt quá 0,1 %).

8.2.2.5 Các giá trị $\delta \Delta p/\Delta p$ và $\delta \rho_1/\rho_1$ phải được xác định do người sử dụng vì phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167 không quy định chi tiết phương pháp đo các đại lượng Δp , và ρ_1 . Độ không đảm bảo đo đo của hai đại lượng có thể bao gồm các thành phần được công bố bởi nhà sản xuất theo phần trăm của toàn thang đo. Việc tính toán độ không đảm bảo đo phần trăm dưới toàn thang đo phải phản ánh độ không đảm bảo đo phần trăm tăng lên này.

8.2.2.6 Để đưa ra độ không đảm bảo đo tổng quát của q_m quy định mức tin cậy gần 95 %, độ không đảm bảo đo xác định bởi người sử dụng cũng phải ở mức tin cậy gần 95 %.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Phương pháp tính lặp

Qui trình tính toán lặp được sử dụng khi vấn đề không thể giải quyết được bằng phương pháp tính toán trực tiếp (xem 5.3).

Ví dụ trong trường hợp tấm tiết lưu, các phép tính lặp luôn luôn được yêu cầu để tính toán:

- Lưu lượng khối lượng q_m khi biết các giá trị $\mu_1, \rho_1, D, \Delta p$ và d ;
- Đường kính lỗ tiết lưu d và β khi biết các giá trị $\mu_1, \rho_1, D, \Delta p$ và q_m ;
- Chênh áp Δp khi biết các giá trị μ_1, ρ_1, D, d và q_m và
- Đường kính D và d khi biết các giá trị $\mu_1, \rho_1, \beta, \Delta p$ và q_m .

Nguyên tắc là nhóm tất cả các giá trị đã biết của công thức lưu lượng cơ bản (3) lại thành một thành phần:

$$q_m = C\varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 (1 - \beta^4)^{-0,5} (2\Delta p \rho_1)^{-0,5}$$

và các giá trị chưa biết trong một thành phần khác.

Thành phần đã biết sau đó là “bất biến” (biểu thị là “A_n” trong Bảng A.1) của bài toán.

Sau đó ước lượng bậc nhất X_1 được đưa vào thành phần chưa biết và tạo ra một sai lệch δ_1 giữa hai thành phần. Phép tính lặp cho phép ước lượng bậc hai X_2 được thay thế để tính ra δ_2 .

Sau đó các giá trị $X_1, X_2, \delta_1, \delta_2$ được nhập vào một thuật toán tuyến tính để tính $X_3 \dots X_n$ và $\delta_3 \dots \delta_n$ cho đến khi giá trị tuyệt đối của δ_n nhỏ hơn một giá trị cho trước hoặc cho đến khi hai kết quả liên tiếp của X hoặc δ được xem là bằng nhau với một độ chụm cho trước.

Một ví dụ về thuật toán tuyến tính có độ hội tụ nhanh là:

$$X_n = X_{n-1} - \delta_{n-1} \frac{X_{n-1} - X_{n-2}}{\delta_{n-1} - \delta_{n-2}}$$

Nếu các phép tính được thực hiện bởi một máy tính số lập trình được, việc sử dụng một thuật toán tuyến tính chỉ làm giảm nhẹ một chút các tính toán kết quả bằng việc thay thế lần lượt trong trường hợp việc tính toán cho thấy các ứng dụng liên quan đến tiêu chuẩn này.

Chú ý rằng các giá trị d, D và β được đưa vào các phép tính thường là các giá trị trong các “điều kiện làm việc” (xem 5.3).

Đối với các tấm tiết lưu, nếu tấm tiết lưu và ống đo được chế tạo từ các vật liệu khác nhau, thì sự thay đổi của β do nhiệt độ làm việc có thể là đáng kể.

Ví dụ về sơ đồ đầy đủ cho các phép tính lập được nêu trong Bảng A.1

Bảng A.1 – Sơ đồ tính toán lập

Biên số	$q =$	$d =$	$\Delta p =$	$D =$
Tại các giá trị đã cho của	$\mu_1, \rho_1, D, d, \Delta p$	$\mu_1, \rho_1, D, q_m, \Delta p$	μ_1, ρ_1, D, d, q_m	$\mu_1, \rho_1, \beta, q_m, \Delta p$
Tìm	q_m và q_v	d và β	Δp	d và D
Lượng bất biến "A _n "	$A_1 = \frac{\varepsilon d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}}{\mu_1 D \sqrt{1-\beta^4}}$	$A_2 = \frac{\mu_1 \text{Re}(D)}{D \sqrt{2\Delta p \rho_1}}$	$A_3 = \frac{8(1-\beta^4)}{\rho_1} \left(\frac{q_m}{C \pi d^2} \right)^2$	$A_4 = \frac{4\varepsilon \beta^2 q_m \sqrt{2\Delta p \rho_1}}{\pi \mu_1^2 \sqrt{1-\beta^4}}$
Phương trình lặp lại	$\frac{\text{Re}_D}{C} = A_1$	$\frac{C\varepsilon\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = A_2$	$\frac{\Delta p}{\varepsilon^{-2}} = A_3$	$\frac{\text{Re}_D^2}{C} = A_4$
Biến trong thuật toán tuyến tính	$X_1 = \text{Re}_D = CA_1$	$X_2 = \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} = \frac{A_2}{C_\varepsilon}$	$X_3 = \Delta p = \varepsilon^{-2} A_3$	$X_4 = \text{Re}_D = \sqrt{CA_4}$
Chuẩn mực độ chụm (trong đó n được chọn bởi người sử dụng)	$\left \frac{A_1 - \frac{X_1}{C}}{A_1} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_2 - X_2 C_\varepsilon}{A_2} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_3 - \frac{X_3}{\varepsilon^{-2}}}{A_3} \right < 1 \times 10^{-n}$	$\left \frac{A_4 - \frac{X_4^2}{C}}{A_4} \right < 1 \times 10^{-n}$
Ước lượng bậc nhất	$C = C_\infty$	$C = 0,606$ (tấm tiết lưu) $C = 1$ (thiết bị sơ cấp khác) $\varepsilon = 0,97$ (hoặc 1)	$\varepsilon = 1$	$C = C_\infty$ $D = \infty$ (nếu là lỗ lấy áp kiểu mặt bích)
Kết quả	$q_m = \frac{\pi}{4} \mu_1 D X_1$ $q_v = \frac{q_m}{\rho_1}$	$d = D \left(\frac{X_2^2}{1 + X_2^2} \right)^{0,25}$ $\beta = \frac{d}{D}$	$\Delta p = X_3$ Nếu lưu chất là chất lỏng, Δp đạt được trong vòng đầu tiên	$D = \frac{4q_m}{\pi \mu_1 X_4}$ $d = \beta D$

Phụ lục B
(Tham khảo)

Ví dụ về giá trị độ nhám đồng nhất tương đương của thành ống, k

Bảng B.1 – Các giá trị của k

Các giá trị tính theo milimét

Vật liệu	Điều kiện	k	Ra
Đồng đỏ, đồng thau, nhôm, nhựa, thủy tinh	Mịn, không cặn	< 0,03	< 0,01
Thép	Mới, không rỉ	< 0,03	< 0,01
	Mới, đúc kéo nguội,	< 0,03	< 0,01
	Mới, đúc kéo nóng	\leq 0,10	\leq 0,03
	Mới, đúc cuộn		
	Mới, hàn theo chiều dọc		
	Mới, hàn xoắn	0,10	0,03
	Rỉ nhẹ	0,10 đến 0,20	0,03 đến 0,06
	Rỉ	0,20 đến 0,30	0,06 đến 0,10
	Có lớp bám bề mặt	0,50 đến 2	0,15 đến 0,6
	Có lớp bám bề mặt nặng	> 2	> 0,6
	Quét nhựa đường, mới	0,03 đến 0,05	0,01 đến 0,015
	Quét nhựa đường, thường	0,10 đến 0,20	0,03 đến 0,06
	Mạ kẽm	0,13	0,04
Gang	Mới	0,25	0,08
	Rỉ sét	1,0 đến 1,5	0,3 đến 0,5
	Có lớp bám bề ngoài	> 1,5	> 0,5
	Quét nhựa đường, mới	0,03 đến 0,05	0,01 đến 0,15
Amiăng	Có và không có lớp bám bề ngoài, mới	< 0,03	< 0,01
	Không có lớp bám bề ngoài, thường	0,05	0,015
CHÚ THÍCH: Trong trường hợp này, Ra được tính toán trên cơ sở là $Ra \approx \frac{k}{\pi}$			

Phụ lục C

(Tham khảo)

Thiết bị ổn định dòng và thiết bị nắn dòng

C.1 Quy định chung

Thiết bị ổn định dòng có thể được phân loại hoặc các thiết bị ổn định dòng thực hoặc thiết bị nắn dòng. Trong bộ tiêu chuẩn ISO 5167 (tất cả các phần), khái niệm “thiết bị ổn định dòng” được sử dụng để mô tả cả thiết bị ổn định dòng thực và thiết bị nắn dòng.

Việc gộp cả vào trong phụ lục này không ngụ ý rằng một thiết bị ổn định dòng hoặc thiết bị nắn dòng đã vượt qua phép thử sự phù hợp trong 7.4.1 với bất kỳ thiết bị sơ cấp cụ thể ở vị trí cụ thể bất kỳ. Các thiết bị đã chứng tỏ đạt phép thử sự phù hợp trong 7.4.1 với bất kỳ thiết bị sơ cấp cụ thể nào được nêu ra trong các phần tương ứng của bộ tiêu chuẩn ISO 5167.

Việc mô tả thiết bị ổn định dòng và thiết bị nắn dòng đưa ra ở đây không phải là nhằm giới hạn việc sử dụng các loại khác đã được thử nghiệm và chứng minh đã có độ lệch đủ nhỏ đối với hệ số xả khi so sánh với hệ số xả nhận được trong một đường ống thẳng dài.

Các sản phẩm phù hợp cho thương mại được đưa ra như là ví dụ của các thiết bị ổn định dòng hoặc các thiết bị nắn dòng trong phụ lục này (xem C.2.2 và C.3.2). Thông tin này được nêu để tạo thuận tiện cho người sử dụng tiêu chuẩn này và không hàm ý việc xác nhận của ISO đối với sản phẩm này.

C.2 Thiết bị nắn dòng

C.2.1 Mô tả tổng quát

Thiết bị nắn dòng là một thiết bị loại xoáy hoặc làm giảm đáng kể xoáy nhưng đồng thời cũng tạo ra các điều kiện dòng quy định trong 7.3.3.

Ví dụ về các thiết bị nắn dòng là thiết bị nắn dòng kiểu bó ống, các thiết bị nắn dòng AMCA và thiết bị nắn dòng Etoile.

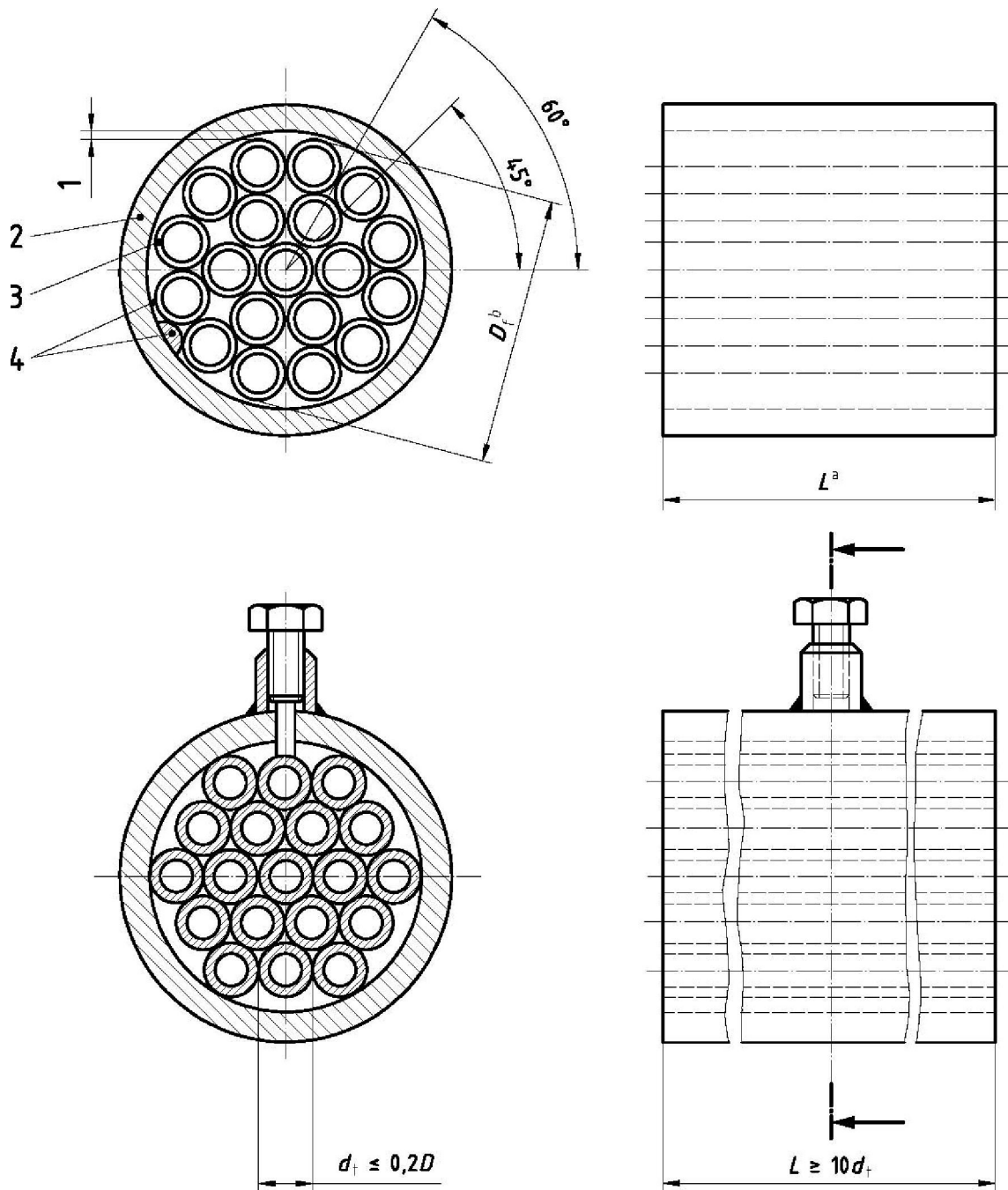
C.2.2 Ví dụ

C.2.2.1 Thiết bị nắn dòng kiểu bó ống

Thiết bị nắn dòng kiểu bó ống bao gồm một bó các ống song song và tiếp tuyến được gắn cố định với nhau và gắn chặt với ống (xem Hình C.1). Điều quan trọng là phải đảm bảo rằng các ống khác nhau song song với nhau và với trục của đường ống, vì nếu yêu cầu này không được đáp ứng, thì thiết bị nắn dòng có thể tự tạo thành xoáy cho dòng chảy.

Cần phải có ít nhất 19 ống. Chiều dài của ống cần phải lớn hơn hoặc bằng $10d_s$, ở đây là đường kính của ống d_s được biểu thị trên Hình C.1. Các ống được gắn với nhau và bó ống được gắn lên đường ống.

Một trường hợp cụ thể [thiết bị nắn dòng kiểu bó ống (1998)] được mô tả chi tiết trong 6.3.2 của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003).



CHÚ DẪN:

- 1 Khe hở tối thiểu
 - 2 Thành đường ống
 - 3 Độ dày thành ống (nhỏ hơn $0,025 D$)
 - 4 Tùy chọn cho miếng đệm định tâm – điển hình là bốn tấm
- ^a chiều dài, L , của các ống phải là giữa $2D$ và $3D$, tốt hơn là càng gần với $2D$ càng tốt.
- ^b D_f = đường kính ngoài của thiết bị nắn dòng, và $0,95D \leq D_f \leq D$.

Hình C.1 – Ví dụ về thiết bị nắn dòng kiểu bó ống

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị nắn dòng kiểu bó ống phụ thuộc vào số các ống và độ dày thành ống của chúng, nhưng đối với thiết bị nắn dòng kiểu bó 19-ống (1998) nó gần bằng 0,75, ở đây K được lấy từ công thức:

$$K = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

trong đó:

Δp_c là tổn thất áp suất qua thiết bị nắn dòng hoặc bộ ổn định dòng;

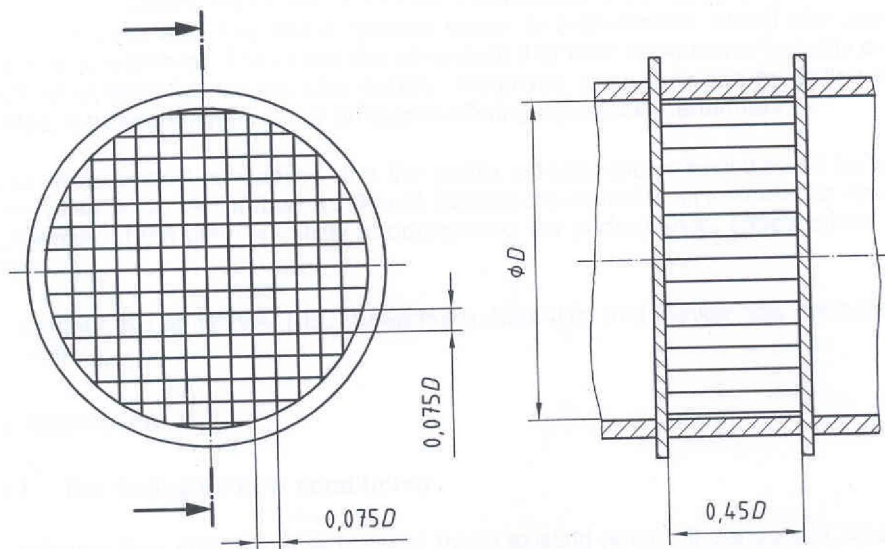
V là vận tốc dọc trục trung bình của lưu chất trong đường ống.

Một thiết kế khác của thiết bị nắn dòng kiểu bó ống có các ống gắn ở vành ngoài với một mặt bích hơi nhô vào trong đường ống.

C.2.2.2 Thiết bị nắn dòng kiểu AMCA

Thiết bị nắn dòng kiểu AMCA bao gồm một lưới vuông hình tổ ong có các kích thước biểu thị trên Hình C.2. Các cánh cần phải càng mỏng càng tốt nhưng phải đủ chắc chắn.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị nắn dòng kiểu AMCA xấp xỉ bằng 0,25.

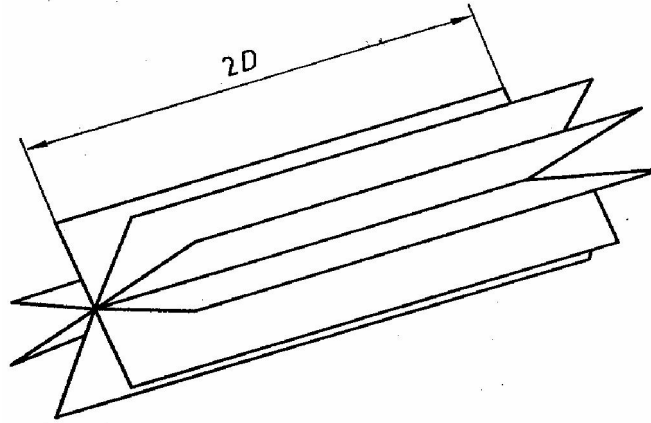


Hình C.2 – Thiết bị nắn dòng kiểu AMCA

C.2.2.3 Thiết bị nắn dòng kiểu Étoile

Thiết bị nắn dòng kiểu Étoile bao gồm tám cánh bán kính hướng tâm ở một góc như nhau có chiều dài tương đương hai lần đường kính của đường ống (xem Hình C.3). Các cánh cần phải càng mỏng càng tốt nhưng phải đủ chắc chắn.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị nắn dòng kiểu Étoile xấp xỉ bằng 0,25.



Hình C.3 – Thiết bị nắn dòng kiểu Étoile

C.3 Thiết bị ổn định dòng

C.3.1 Mô tả tổng quát

Thiết bị ổn định dòng là thiết bị ngoài việc đáp ứng các yêu cầu loại bỏ hoặc làm giảm đáng kể xoáy, được thiết kế để phân phối lại biên dạng tốc độ nhằm tạo ra các điều kiện gần với các điều kiện đưa ra trong 7.3.3.

Nhiều thiết bị ổn định dòng bao gồm một tấm có khoét lỗ. Một vài thiết bị như vậy được mô tả trong các sách kỹ thuật và nói chung dễ sản xuất, lắp đặt và cung cấp hơn so với thiết bị nắn dòng kiểu bó ống. Chúng có ưu điểm là chiều dày điển hình khoảng $D/8$ so với chiều dài tối thiểu $2D$ của bó ống. Hơn nữa, chúng có thể được khoan từ vật liệu đặc dễ hơn so với việc sản xuất, là thiết bị chắc chắn được chế tạo để cho tính năng lặp lại tốt hơn.

Trong thiết bị này, xoáy giảm và biên dạng đồng thời được phân bố lại bằng bố trí lỗ và độ sâu của tấm thích hợp. Nhiều thiết kế khác nhau được nêu trong Phụ lục B của TCVN 8113-2 : 2009 (ISO 5167-2 : 2003). Dạng hình học của tấm là quan trọng trong việc xác định tính năng, hiệu quả và sự tổn thất áp suất qua tấm.

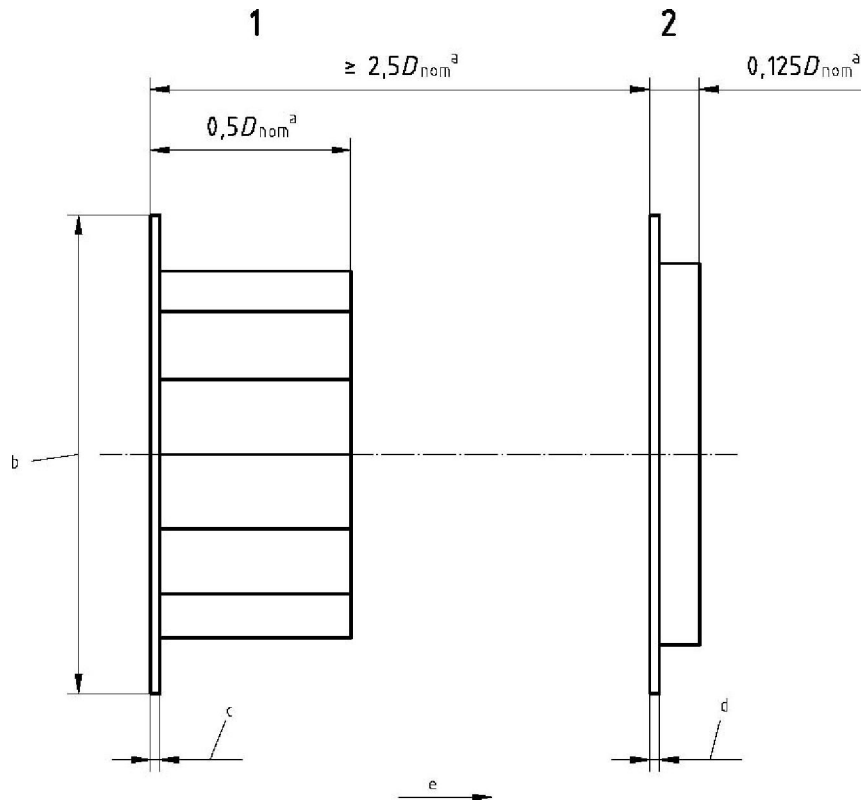
Các ví dụ về các thiết bị ổn định dòng là thiết bị kiểu Gallagher, K-Lab NOVA, NEL (cái xiên), Sprenkle, và Zanker.

C.3.2 Ví dụ

C.3.2.1 Thiết bị ổn định dòng kiểu Gallagher

Thiết bị ổn định dòng kiểu Gallagher hiện tại được đăng ký bản quyền phát minh. Bao gồm một thiết bị chống xoáy, một khoang lắp đặt và một thiết bị tạo biên dạng như thể hiện trên Hình C.4 và C.5.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị nắn dòng kiểu Gallagher phụ thuộc vào quy định kỹ thuật của nhà sản xuất, và xấp xỉ bằng 2.



CHÚ DẪN

1 Thiết bị chống xoáy

2 Thiết bị tạo biên dạng

^a D_{nom} = đường kính danh nghĩa của đường ống.

^b Chiều dài tương đương với đường kính của bề mặt nhô lên

^c 3,2 mm đối với D_{nom} = 50 mm đến 75 mm kiểu ống

6,4 mm đối với D_{nom} = 100 mm đến 450 mm kiểu ống

12,7 mm đối với D_{nom} = 500 mm đến 600 mm kiểu ống

12,7 mm đối với D_{nom} = 50 mm đến 300 mm kiểu cánh

17,1 mm đối với D_{nom} = 350 mm đến 600 mm kiểu cánh

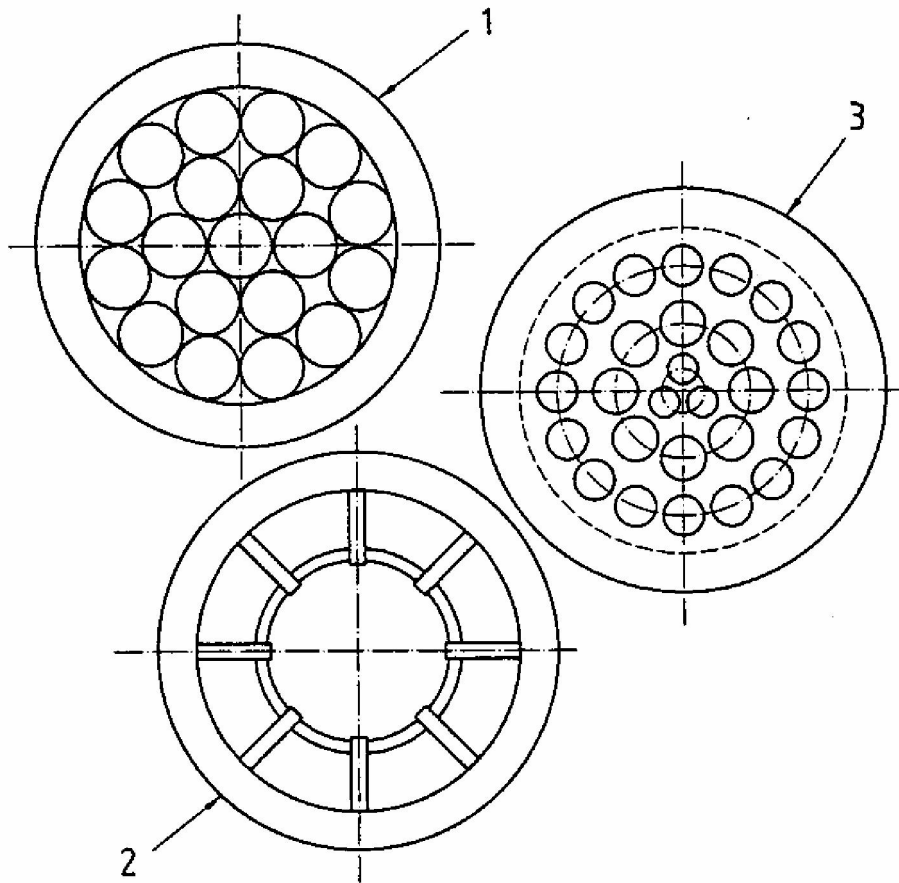
^d 3,2 mm đối với D_{nom} = 50 mm đến 75 mm

6,4 mm đối với D_{nom} = 100 mm đến 450 mm

12,7 mm đối với D_{nom} = 500 mm đến 600 mm

^e Hướng của dòng chảy.

Hình C.4 – Bố trí điển hình của thiết bị ổn định dòng kiểu Gallagher



CHÚ DẪN

- 1 Thiết bị chống xoáy – kiểu ống tùy chọn: bó đồng tâm đồng dạng 19-ống (có thể được gắn bằng chốt).
- 2 Thiết bị chống xoáy – kiểu cánh tùy chọn: tám cánh chiều dài $0,125D$ đến $0,25D$, đồng tâm với đường ống (thiết bị có thể được đặt ở phía dòng vào của đồng hồ đo đếm).
- 3 Thiết bị tạo biên dạng: kiểu 3-8-16 (xem Chú thích)

CHÚ THÍCH: kiểu 3-8-16 cho thiết bị tạo biên dạng là

- 3 lỗ trên đường kính vòng tròn với bước $0,15D$ đến $0,155D$; có đường kính sao cho tổng diện tích của chúng bằng 3 % đến 5 % diện tích đường ống;
- 8 lỗ trên đường kính vòng tròn với bước $0,44D$ đến $0,48D$; có đường kính sao cho tổng diện tích bằng 19 % đến 21 % diện tích đường ống;
- 16 lỗ trên đường kính vòng tròn có bước $0,81D$ đến $0,85D$; có đường kính sao cho tổng diện tích bằng 25 % đến 29 % diện tích đường ống.

Hình C.5 – Thành phần điển hình của thiết bị ổn định dòng kiểu Gallagher

C.3.2.2 Thiết bị ổn định dòng kiểu tấm khoan lỗ K-Lab thiết kế của NOVA

Tấm khoan lỗ K-Lab thiết kế của NOVA được biết đến như là thiết bị ổn định dòng K-Lab NOVA hiện tại được đăng ký bản quyền phát minh. Nó bao gồm một tấm có 25 lỗ sắp xếp theo kiểu hình tròn đối xứng như biểu thị trên Hình C.6. Chiều dày của tấm khoan lỗ, t_c , sao cho $0,125D \leq t_c \leq 0,15D$. Chiều dày mặt bích phụ thuộc vào ứng dụng; đường kính ngoài và bề mặt mặt bích phụ thuộc vào kiểu mặt bích và ứng dụng. Kích thước của các lỗ là hàm số của đường kính trong của đường ống, D , và phụ thuộc vào số Reynolds đường ống.

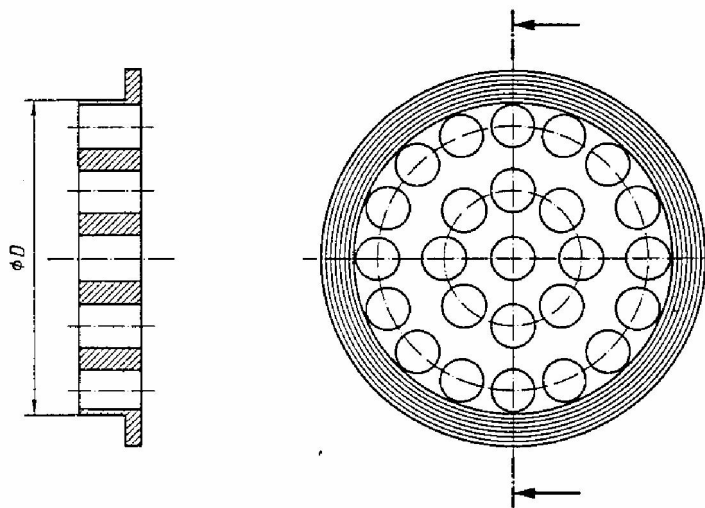
Với điều kiện là $Re_D \geq 8 \times 10^5$ có:

- lỗ ở tâm với đường kính $0,18629 D \pm 0,00077D$
- vòng đai có 8 lỗ có đường kính $0,163D \pm 0,00077D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,5D \pm 0,5\text{mm}$, và
- vòng đai có 16 lỗ có đường kính $0,1203 D \pm 0,00077D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,85D \pm 0,5\text{mm}$.

Với điều kiện là $8 \times 10^5 > Re_D \geq 10^5$ có:

- lỗ ở tâm với đường kính $0,22664D \pm 0,00077D$;
- vòng đai có 8 lỗ có đường kính $0,16309D \pm 0,00077D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,5D \pm 0,5\text{mm}$, và
- vòng đai có 16 lỗ có đường kính $0,12422D \pm 0,00077D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,85D \pm 0,5\text{mm}$.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị ổn định dòng kiểu K-Lab NOVA xấp xỉ bằng 2.



Hình C.6 – Thiết bị ổn định dòng kiểu K-Lab NOVA

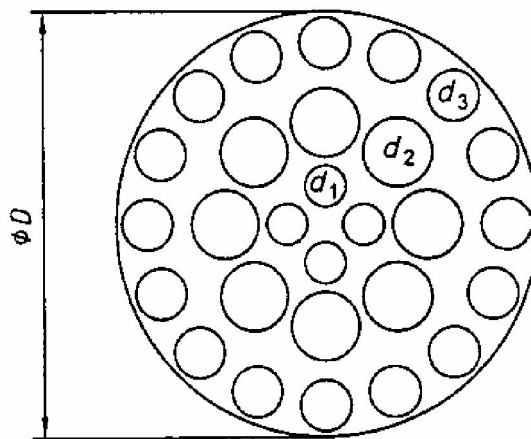
C.3.2.3 Thiết bị ổn định dòng kiểu NEL (spearman)

Thiết bị ổn định dòng kiểu NEL (spearman) được biểu thị trên Hình C.7. Kích thước của các lỗ là hàm của đường kính trong của đường ống, D . Có:

- a) vòng đai có 4 lỗ (d_1) có đường kính $0,10D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,18D$;
- b) vòng đai có 8 lỗ (d_2) có đường kính $0,16D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,48D$, và
- c) vòng đai có 16 lỗ (d_3) có đường kính $0,12D$ trên đường kính vòng tròn với bước $0,86D$.

Chiều dày tấm khoan lỗ là $0,12D$.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị ổn định dòng kiểu NEL xấp xỉ bằng 3,2.



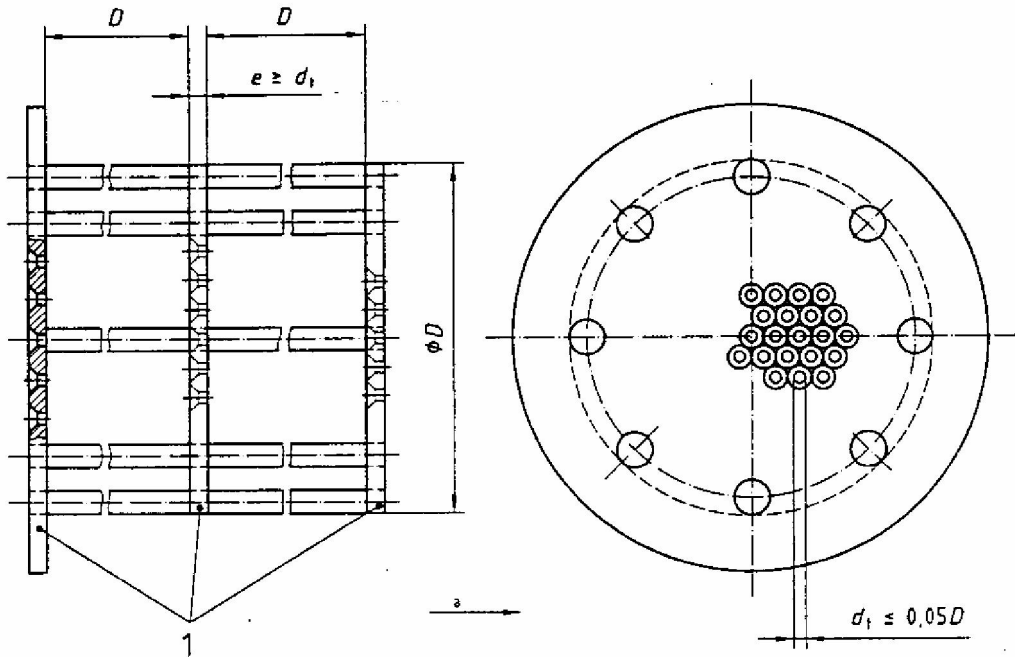
Hình C.7 – Thiết bị ổn định dòng kiểu NEL

C.3.2.4 Thiết bị ổn định dòng kiểu Splendkle

Thiết bị ổn định dòng kiểu Splendkle bao gồm 3 tấm khoan lỗ nối tiếp với chiều dài bằng $D \pm 0,1D$ giữa các tấm liên tiếp. Các lỗ cần được vát góc 45° trên cạnh phía dòng vào để giảm tổn thất áp suất, và tổng diện tích của các lỗ trong mỗi tấm cần lớn hơn 40% diện tích mặt cắt đường ống. Tỷ số chiều dày tấm và đường kính lỗ cần phải tối thiểu là 1 và đường kính của các lỗ cần phải nhỏ hơn hoặc bằng $0,05D$ (xem Hình C.8).

Ba tấm được gắn với nhau bởi các thanh giằng hoặc đinh tán, được đặt xung quanh chu vi của đường ống, và có đường kính càng nhỏ càng tốt nhưng phải đủ chắc chắn.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị ổn định dòng kiểu Splendkle xấp xỉ bằng 11 nếu có góc xiên ở phía dòng vào hoặc 14 nếu không có góc xiên.



CHÚ DẪN

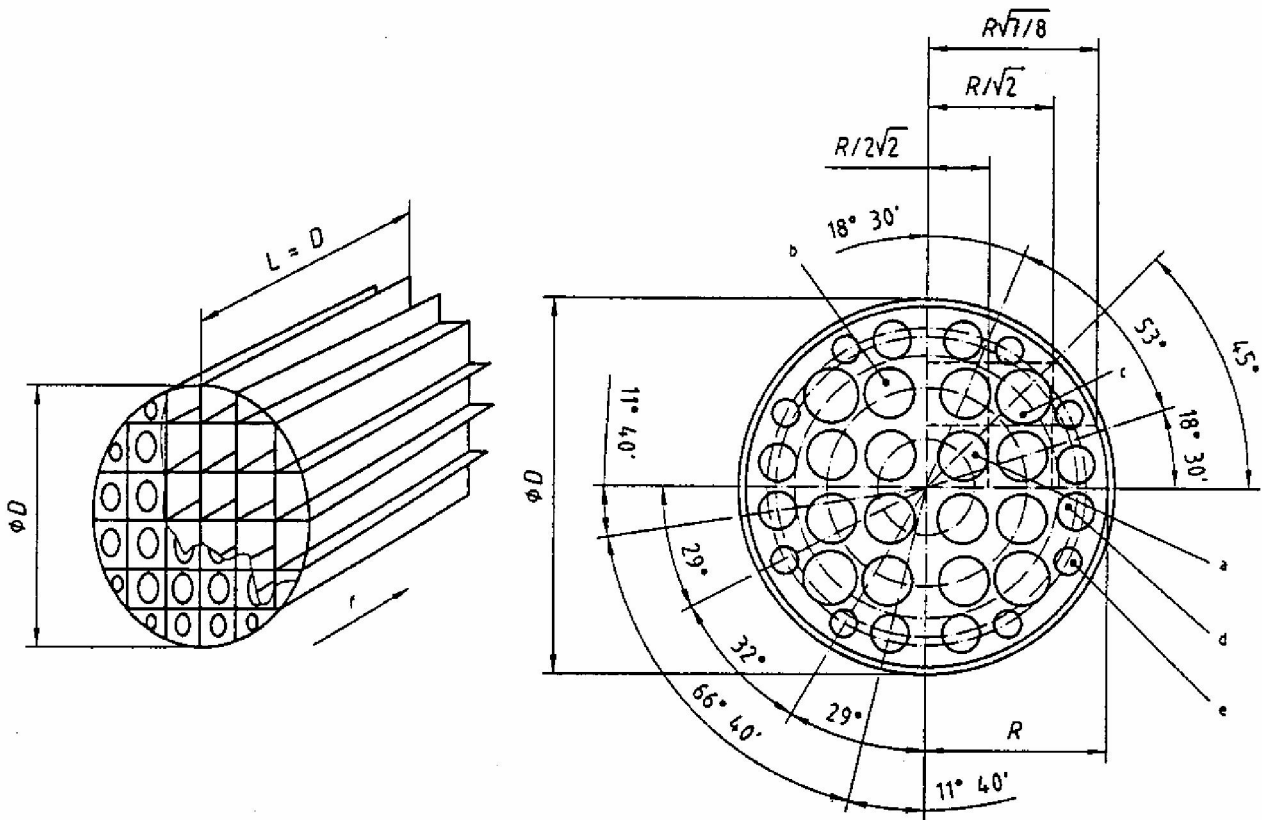
- 1 Các tấm khoan lỗ.
a Hướng dòng chảy

Hình C.8 – Thiết bị ổn định dòng kiểu Splendkle

C.3.2.5 Thiết bị ổn định dòng kiểu Zanker

Thiết bị ổn định dòng kiểu Zanker bao gồm một tấm khoan lỗ với các lỗ có kích thước xác định nối tiếp bởi các kênh (mỗi lỗ 1 kênh) tạo thành bởi sự giao nhau của một số tấm (xem Hình C.9). Các tấm khác nhau cần phải càng nhỏ càng tốt nhưng phải chắc chắn.

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị ổn định dòng kiểu Zanker xấp xỉ bằng 5.



- a 4 lỗ, đường kính $0,141D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,25D$
- b 8 lỗ, đường kính $0,139D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,56D$
- c 4 lỗ, đường kính $0,1365D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,75D$
- d 8 lỗ, đường kính $0,11D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,85D$
- e 4 lỗ, đường kính $0,077D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,90D$
- f hướng dòng chảy

Hình C.9 – Thiết bị ổn định dòng kiểu Zanker

C.3.2.6 Tấm ổn định dòng kiểu Zanker

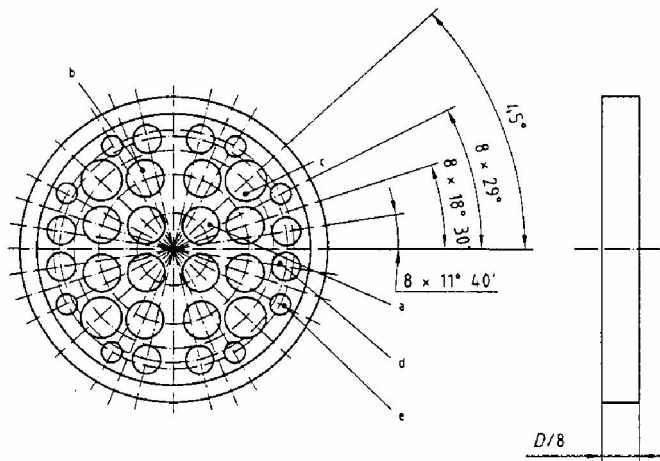
Tấm ổn định dòng kiểu Zanker mô tả ở đây là một cải tiến của thiết bị định dòng kiểu Zanker như mô tả ở C.3.2.5. Tấm ổn định dòng kiểu Zanker có cùng sự phân bố của các lỗ trên tấm tương tự nhưng không có hộp trứng ong gắn vào tấm; thay vào đó chiều dày tấm tăng lên thành $D/8$.

Tấm ổn định dòng kiểu Zanker được minh họa trên Hình C.10 và bao gồm 32 lỗ sắp xếp theo kiểu vòng tròn đối xứng. Kích thước của lỗ là hàm của đường kính trong của đường ống, D . Có:

- vòng đai của 4 lỗ có đường kính $0,141D \pm 0,001D$ trên đường kính vòng tròn (pcd) với bước $0,25D \pm 0,0025D$;
- vòng đai của 8 lỗ có đường kính $0,139D \pm 0,001D$ trên đường kính vòng tròn (pcd) với bước $0,56D \pm 0,0056D$;
- vòng đai của 4 lỗ có đường kính $0,1365D \pm 0,001D$ trên đường kính vòng tròn (pcd) với bước $0,75D \pm 0,0075D$;
- vòng đai của 8 lỗ có đường kính $0,110D \pm 0,001D$ trên đường kính vòng tròn (pcd) với bước $0,85D \pm 0,0085D$;
- vòng đai của 8 lỗ có đường kính $0,077D \pm 0,001D$ trên đường kính vòng tròn (pcd) với bước $0,90D \pm 0,009D$;

Dung sai đường kính của mỗi lỗ là $\pm 0,1$ mm khi $D < 100$ mm.

Chiều dày của tấm khoan lỗ, t_c , sao cho $0,12D \leq t_c \leq 0,15D$. Chiều dày mặt bích phụ thuộc vào ứng dụng; đường kính ngoài và bề mặt mặt bích phụ thuộc vào kiểu mặt bích và ứng dụng.



- 4 lỗ, đường kính $0,141D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,25D$
- 8 lỗ, đường kính $0,139D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,56D$
- 4 lỗ, đường kính $0,1365D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,75D$
- 8 lỗ, đường kính $0,11D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,85D$
- 8 lỗ, đường kính $0,077D$, đường kính vòng tròn (pcd) $0,90D$

Hình C.10 – Tấm ổn định dòng kiểu Zanker

Hệ số tổn thất áp suất, K , đối với thiết bị ổn định dòng kiểu Zanker xấp xỉ bằng 3.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] NIAZI, A. and THALAYASINGGAM, S. Temperature changes across orifice meters. In *Proc. Of 19th North Sea Flow Measurement Workshop*, Norway, Paper 13, October 2001
- [2] STUDZINSKI, W. and BOWEN, J. White Paper on *Dynamic Effects on Orifice Measurement*, Washington D.C., American Petroleum Institute, 1997
- [3] S.CHLICHTING, H. *Boundary layer theory*. New York, McGraw-Hill, 1960
- [4] STUDZINSKI, W., KARNIK, U., LANASA, P., MORROW, T., GOODSON, D., HUSAIN, Z. and GALLAGER, J. White paper on *Orifice meter Installation Configuration with and without Flow Conditioners*, Washington D.C., American petroleum Institute, 1997
- [5] SHEN, J.J.S. *Characterization of Swirling Flow and its Effects on Orifice Metering*, SPE 22865. Richardson, Texas: Society of Petroleum Engineers, 1991
- [6] READER-HARRIS, M.J. Pipe roughness and Reynolds number limits for the orifice plate discharge coefficient equation. In *Proc. of 2nd Int. Symp. on Fluid Flow Measurement*, Calgary, Canada, Arlington, Virginia: American Gas Association, June 1990, pp.29-43
- [7] READER-HARRIS, M.J., SATTARY, J.A. and SPEARMAN, E, P. *The orifice plate discharge coefficient equation*. Progress Report No PR14: EUEC/17 (EEC005). East Kibride, Glasgow: national Engineering Laboratory Executive Agency, May 1992
- [8] ISO/TR 3313 : 1998, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Guidelines on the effects of flow pulsations on flow-measurement instruments*
- [9] ISO 4288 : 1996, *Geometric product Specification (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture*
- [10] ISO/TR 5168 : 1998, *Measurement of fluid Flow-Evaluation of uncertainties*
- [11] ISO/TR 9464 : 1998, *Guidelines for the use of ISO 5167-1:1991*
-