

## Chương 2

# THỦY LỰC CỬA VAN

*Biên soạn: GS. TS. Trương Đình Dự*

### 2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Cửa van là bộ phận chịu lực tác động của dòng chảy nên có tính chất thủy lực quan trọng:

- Năng lực xả nước tốt, nghĩa là ở độ mở khác nhau - hệ số lưu lượng tương đối lớn hoặc có hệ số cản tương đối nhỏ.
- Lực tác dụng thủy động ổn định rõ ràng, làm cho lực đóng mở tương đối nhỏ và ổn định, tính năng đóng mở tương đối tốt, thao tác linh hoạt thuận tiện.
- Phân bố áp lực nước đều đặn và trạng thái dòng chảy ổn định, tại cửa van và tại công trình thủy công lân cận, không có hiện tượng khí thực.
- Áp lực mạch động và cường độ chảy rối của dòng chảy tương đối nhỏ, không gây chấn động có tính nguy hại.

### 2.2. NĂNG LỰC XẢ NƯỚC

Cửa van mặt nổi chung thường áp dụng cho các tràn xả lũ của hồ chứa và cống đồng bằng. Trạng thái dòng chảy khi chảy qua đập tràn và cống thường có hai loại: chảy tràn và chảy lỗ.

Xác định điểm phân giới của chảy tràn và chảy lỗ là vô cùng quan trọng, nó có quan hệ với các nhân tố: Hình thức đỉnh tràn, hình thức cửa van, điều kiện mực nước thượng hạ lưu và độ mở tương đối của cửa van v.v...

Đối với loại tràn và loại cửa van thường gặp, điều kiện phán đoán chảy lỗ nêu trong bảng 2-1.

**Bảng 2-1. Công thức phán đoán dòng chảy qua lỗ**

Loại ngưỡng tràn	Loại cửa	Công thức phán đoán
Tràn đỉnh rộng	Cửa van phẳng hoặc cửa van cung	$e/H \leq 0,65$
	Cửa van phẳng	$e/H \leq 0,75$
Tràn thực dụng	Cửa van cung	Khi $q^2/gH < 5$ $e/H \leq 0,75$ Khi $q^2/gH > 5$ $e/H \leq 0,8$

Trong đó: e- cao độ mở cửa van (m);  
 H- độ sâu nước thượng lưu từ đỉnh ngưỡng trở lên (m);  
 q- lưu lượng đơn vị qua ngưỡng (m<sup>2</sup>/s);  
 g- gia tốc trọng lực (m/s<sup>2</sup>).

Khi chảy lỗ, lưu lượng dòng xả qua miệng lỗ được tính theo công thức:

$$Q = \mu_1 b e \sqrt{2gH}; \quad (2-1)$$

Trong đó: b- bề rộng của lỗ cống (m);  
 e- độ mở của cửa van (m);  
 $\mu_1$ - hệ số lưu lượng chảy lỗ. Trị số của nó có quan hệ tới loại hình ngưỡng tràn, loại hình cửa van và độ mở tương đối của cửa van, xem bảng 2-2.

**Bảng 2-2. Hệ số lưu lượng chảy lỗ  $\mu_1$**

Loại ngưỡng tràn	Loại cửa	Công thức tính toán trị số $\mu_1$
Tràn đỉnh rộng	Cửa van phẳng	$\mu_1 = 0,6 - 0,18 n_1$
	Cửa van cung	$\mu_1 = (0,97 - 0,26\theta)n_1$ Phạm vi thường dùng: $0,44 < \theta < \pi/2$ $n_1 < 0,56$
Tràn thực dụng	Cửa van phẳng	$\mu_1 = 0,745 - 0,274n_1$
	Cửa van cung	$\mu_1 = 0,685 - 0,19n_1$

Trong đó:  $n_1$ - độ mở tương đối của cửa van,  $n_1 = e/H$ ;

$\theta$  - góc kẹp giữa tiếp tuyến với đường nằm ngang của viền đáy của cung khi độ mở là  $n_1$ , tính bằng radian.

Đối với cống đồng bằng, nếu dưới cống là dòng chảy ngập, hệ số lưu lượng  $\mu_1$  tra từ bảng 2-2 nhân thêm với hệ số chảy ngập  $\sigma$ .

Hệ số  $\sigma$  tính theo công thức:

$$\sigma = 0,95 \sqrt{\frac{\ln(1 - \Delta Z/H)}{\ln(h''_c/H)}}; \quad (2-2)$$

Trong đó:

$\Delta Z$ - độ chênh mực nước thượng hạ lưu (m);

$h''_c$ - độ sâu nước tại mặt cắt thu hẹp nhất của dòng chảy dưới cửa van (m).

### Dòng chảy d ới cửa sâu

Cửa van sâu là loại cửa van được lắp đặt ở các lỗ tháo nước dưới sâu.

Năng lực tháo nước của cửa van đặt dưới sâu có quan hệ với tổng các tổn thất ma sát theo dòng chảy và tổn thất cục bộ. Năng lực tháo nước của bản thân cửa van bằng cột nước tại vị trí trước cửa van, thường bằng chiều cao ống (chữ nhật) hoặc bằng đường kính ống tròn trừ đi độ sâu co hẹp sau cửa van để làm cột nước công tác hữu hiệu H. Tính toán theo công thức:

$$Q = \mu_2 A \sqrt{2gH}; \tag{2-3}$$

Trong đó:

A- diện tích miệng lỗ khi cửa van mở hết (m<sup>2</sup>).

$\mu_2$ - hệ số lưu lượng theo định nghĩa diện tích A. Tức là khác với  $\mu_1$  của công thức (2-1). Trị số của nó tính theo công thức:

$$\mu_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_2}}; \tag{2-4}$$

$\xi_2$ - hệ số tổn thất của cửa van. Trị số  $\xi_2$  của các loại cửa van có thể tra trong bảng 2-3.

**Bảng 2-3. Hệ số tổn thất của cửa cống  $\xi_2$**

Loại cửa	Trạng thái dòng chảy ở hạ lưu	Hệ số tổn thất $\xi_2$	
Cửa phẳng	Dòng chảy có áp	(a)	$\xi_2 = 1,8 \left( \frac{1}{n_2} - 0,81n_2 \right)^2$
		(b)	$\xi_2 = \eta \cdot \left( \frac{1}{n_2} - n_2 \right)^2$ (chú thích 2)
	Chảy tự do	(c)	$\xi_2 = 0,78 \cdot \left( \frac{1}{n_2} - 0,65 \cdot n_2 \right)^{2,23}$
		(d)	$\xi_2 = 0,5 \cdot \left( \frac{1}{n_2} - 0,65n_2 \right)^{1,67}$
Cửa cung	Chảy có áp	$\xi_2 = 0,3 + 1,3 \cdot \left( \frac{1}{n_3} - n_3 \right)^2$	
	Chảy tự do	$\xi_2$ tra theo hình 2-2	
Van đĩa		$\xi_2 = 1000 \exp(-5,57\beta)$	

Trong đó:

$n_2$  - độ mở tương đối của van, tính toán theo chiều cao lỗ  $h$ ,  $n_2 = e/h$ ;

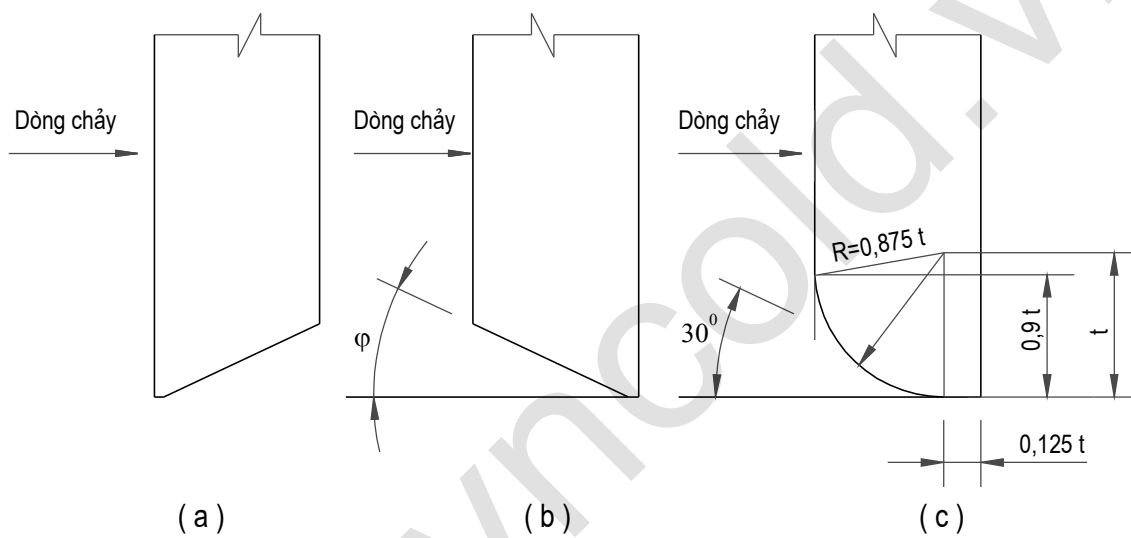
$n_3$  - độ mở tương đối của cửa van hình cung, tính toán theo góc trung tâm  $\varphi$ ,

$$n_3 = \varphi/\varphi_0 \text{ hoặc } n_3 \approx n_2 - 0,05;$$

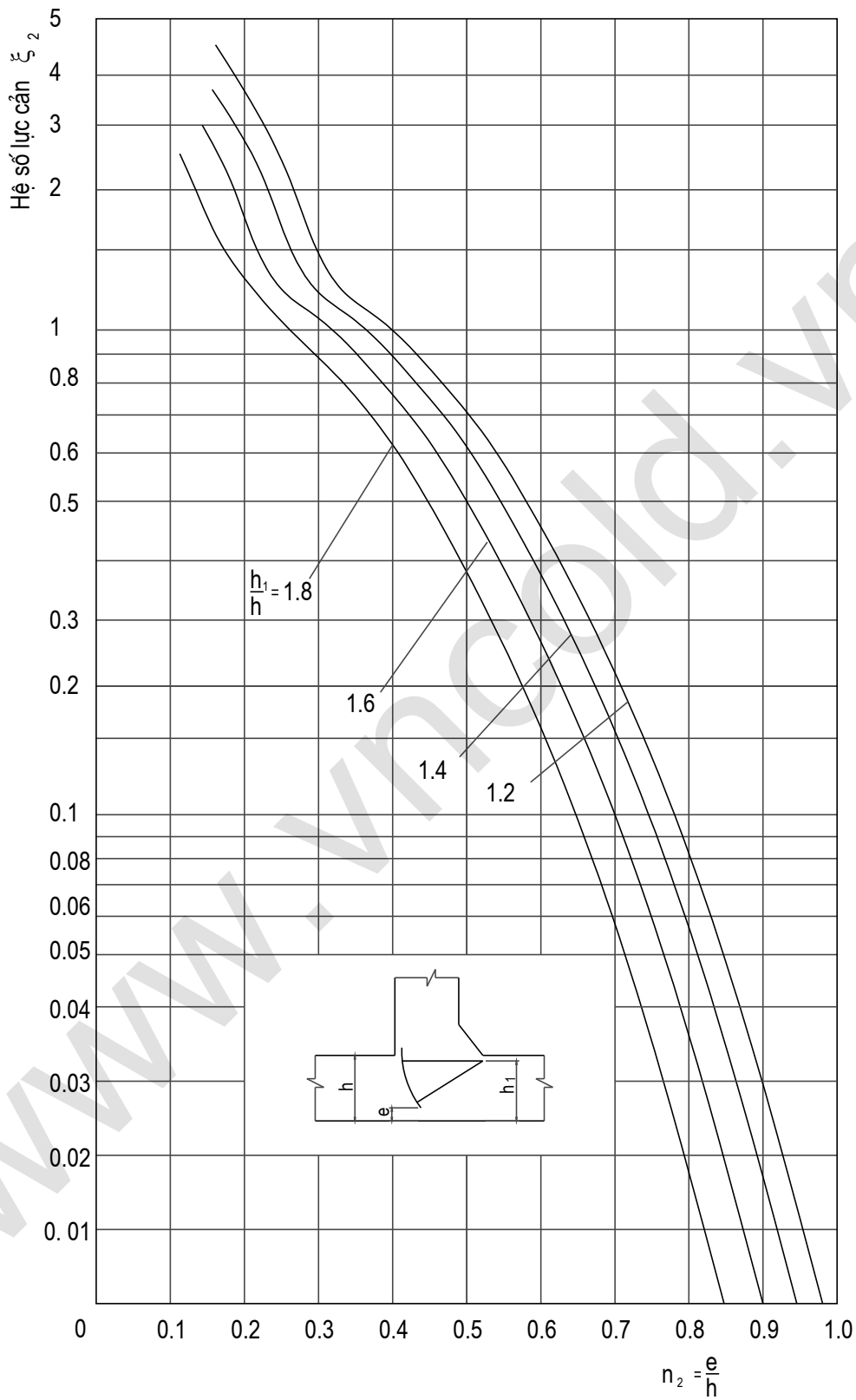
$\beta$  - góc quay khi mở cửa van bướm, tính bằng Radian, khi mở hết  $\beta = \pi/2$ ;

$\eta = 1 + 0,43\varphi + 0,41\varphi^2$ ,  $\varphi$  xem hình 2-1, tính bằng Radian.

Hình dạng đáy cửa van phẳng, xem hình 2-1.



**Hình 2-1. Hình dạng viền đáy của cửa van phẳng**



Hình 2-2. Trị số hệ số lực cản của cửa van cung  $\xi_2$

## 2.3. ÁP LỰC N ỚC TÁC DỤNG LÊN CỬA VAN

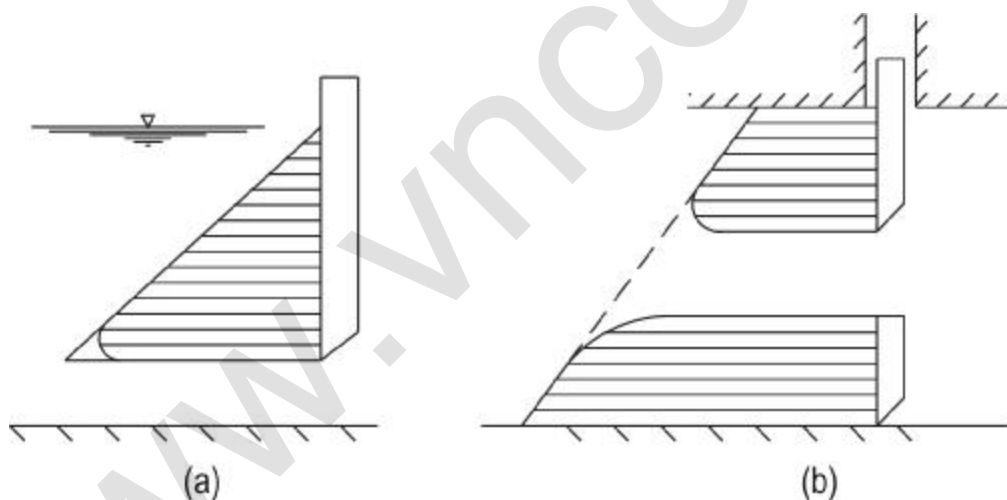
Áp lực của nước tác dụng lên cửa van là tải trọng chủ yếu nhất trong thiết kế cửa van. Áp lực nước tĩnh tương đối rõ ràng đáng tin tưởng. Tính toán áp lực này có thể xem ở các tài liệu thủy lực. Ở đây chỉ tập trung giới thiệu khi xả nước qua miệng lỗ, dòng chảy mạnh của nước dẫn đến áp lực nước động. Áp lực nước động có thể phân ra hai loại: Áp lực bình quân theo thời gian và áp lực mạch động. Vấn đề thảo luận dưới đây là áp lực bình quân thời gian. Dùng phương pháp tính toán tương tự như áp lực nước tĩnh.

### 2.3.1. Cửa van phẳng

Do việc sử dụng cột nước trước cửa van phẳng là lực bên ngoài để tính lực đóng mở cửa van cho nên công việc nghiên cứu áp lực nước động tác dụng lên cửa van cũng được chú ý nhiều. Dưới đây là phân biệt trình bày áp lực nước động tác dụng lên các bộ phận: Mặt bản thượng lưu, dầm ngang đỉnh cửa và viên đáy cửa.

#### a) Áp lực nước động tác dụng lên bản mặt thượng lưu

Phân bố áp lực nước động tác dụng lên bản mặt thượng lưu của cửa van phẳng xem hình 2-3.



**Hình 2-3. Phân bố áp lực thủy động của bản mặt thượng lưu**

Trong hình 2-3a là cửa van phẳng hở, hình 2-3b là chảy ngập ở hai cửa van xả nước gián đoạn.

Theo phân tích lý thuyết và kết quả thí nghiệm, tổng áp lực nước động nhỏ hơn tổng áp lực nước tĩnh nhưng chênh lệch không lớn. Vì vậy, khi phân tích kết cấu, tính toán theo cột nước tĩnh là thích hợp vì thiên an toàn. Nếu cần thiết phải tính theo áp lực nước động, thì có thể dùng công thức (2-5) để tính hệ số lực động  $\xi$  (định nghĩa là tỷ số của tổng áp lực nước động nằm ngang  $P_D$  và tổng áp lực nước tĩnh nằm ngang  $P_T$ ) hoặc gọi là hệ số lực đẩy nằm ngang.

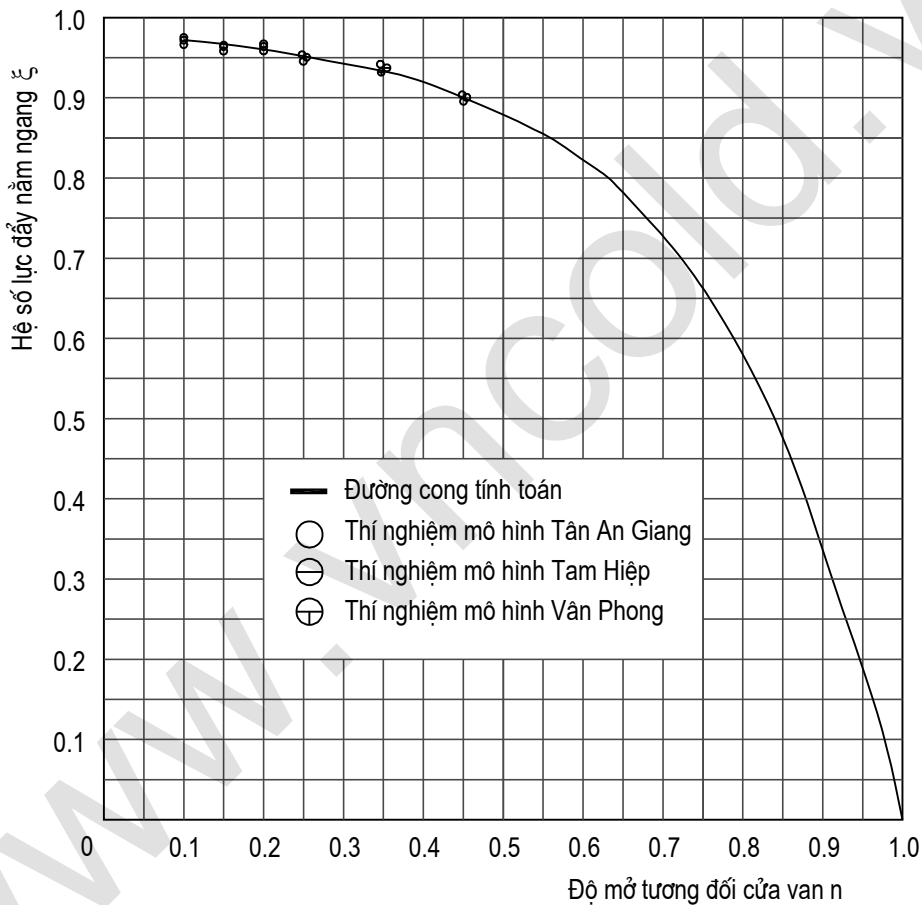
$$\xi = \frac{P_D}{P_T} = \frac{\sqrt{2\varepsilon}}{\left(\frac{1}{n} - 1\right)\pi} \left[ \left( \frac{2K+1}{\sqrt{K}} - \frac{3}{2} \right) \frac{\pi}{2} - \frac{2K+1}{\sqrt{K}} \operatorname{tg}^{-1} \sqrt{\frac{1}{K}} \right]; \quad (2-5)$$

Trong đó: k - hệ số thí nghiệm;

n- độ mở tương đối của cửa van;

ε- hệ số co hẹp thẳng đứng của dòng chảy ra dưới cửa van.

Để tiện cho việc tính toán, đưa công thức (2-5) vẽ thành đường cong ξ-n như hình 2-4.



Hình 2-4. Đường quan hệ ξ và n

**b) Áp lực nước động trên dầm ngang của đỉnh cửa van**

Áp lực nước động tác dụng lên dầm ngang của đỉnh cửa van, có hai trường hợp tùy theo vị trí của cửa van phẳng.

Cửa cống bố trí trên mặt đập, áp lực nước động của đỉnh cửa có quan hệ với hình dạng mặt đập. Nói chung, nếu giữa cửa van và mặt đập có khe hở rất nhỏ thì áp lực

nước động đỉnh cửa trên cơ bản bằng áp lực nước tĩnh. Còn nếu trên mặt đập không có tường lõm, mà giữa cửa van và mặt đập hình thành đường thông nước thì áp lực nước động đỉnh cửa hạ xuống, nhưng ảnh hưởng không lớn, vẫn có thể xem xét theo áp lực nước tĩnh. Sự tồn tại tường lõm trên mặt đập, chủ yếu ảnh hưởng đến sự phân bố áp lực trên mặt hạ lưu cửa van, làm cho lực đóng mở cửa van có thể được hạ thấp.

**c) Cửa van bố trí trong giếng, hình (2-5b) và hình (2-6)**

Áp lực nước động tại đỉnh cửa thay đổi tùy theo kích thước tương đối của cửa van và giếng đặt cửa van.

Cho  $h$  là độ sâu nước từ đường mặt nước ở trong giếng cửa tới đáy lỗ,  $H_0$  là cột nước trước giếng sau khi đã xét tới tổn thất cột nước do quá trình đường chảy của đường xả nước.

$$\frac{h}{H_0} = \frac{1}{1 + \mu_2 \frac{b_1}{b_0}}; \quad (2-6)$$



**Hình 2-5. Bố trí cửa van trong cống**

Nếu lấy hệ số lưu lượng,  $\mu_2 = 0,7$  thì công thức (2-6) có thể vẽ thành hình 2-7. Trong hình này có đưa vào một số tài liệu thực đo của một số công trình ở Trung Quốc (Tùng Nguyên, Thạch Khê, Song Bài v.v...).

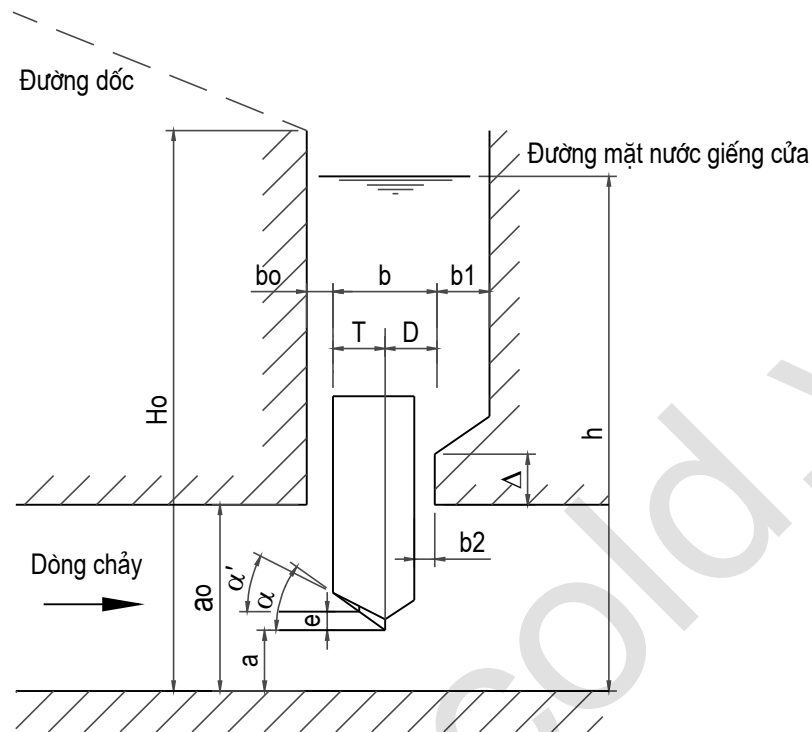
Khi  $b_0 / b_1 > 3$ , trị  $h/H_0$  gần ổn định, có nghĩa là khi có áp lực nước động ở đỉnh cửa tương đối lớn, nên chọn trị số  $b_0 / b_1$  tương đối lớn.

$$b_0 \geq 5b_1.$$

$$b_1 \approx b_2 \text{ hoặc } b_1 = 100 \text{ mm.}$$

$$\Delta = (0,05 \div 0,1)a_0 \text{ mà } \Delta \text{ không nhỏ hơn } 300 \text{ mm.}$$





**Hình 2-6. Kích thước tương đối của cửa van và giếng công**

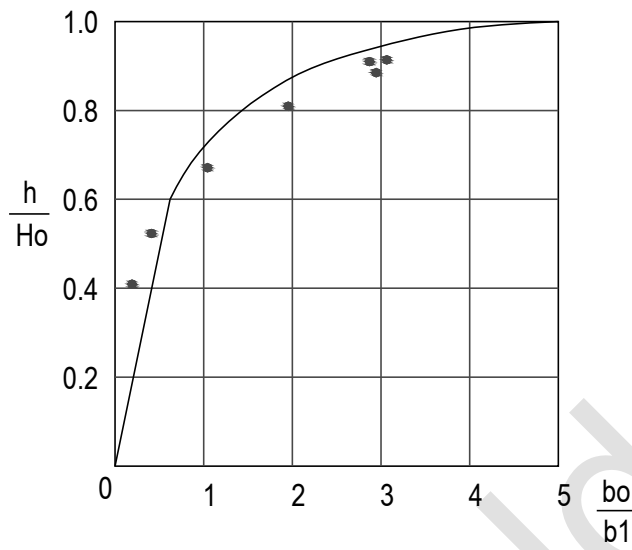
**d) Áp lực nước động trên viền đáy cửa van**

Áp lực nước động tác dụng lên viền đáy cửa van có quan hệ rất lớn tới hình dạng viền đáy và độ mở cửa van. Xét hình thức viền đáy của cửa van như hình 2-6.

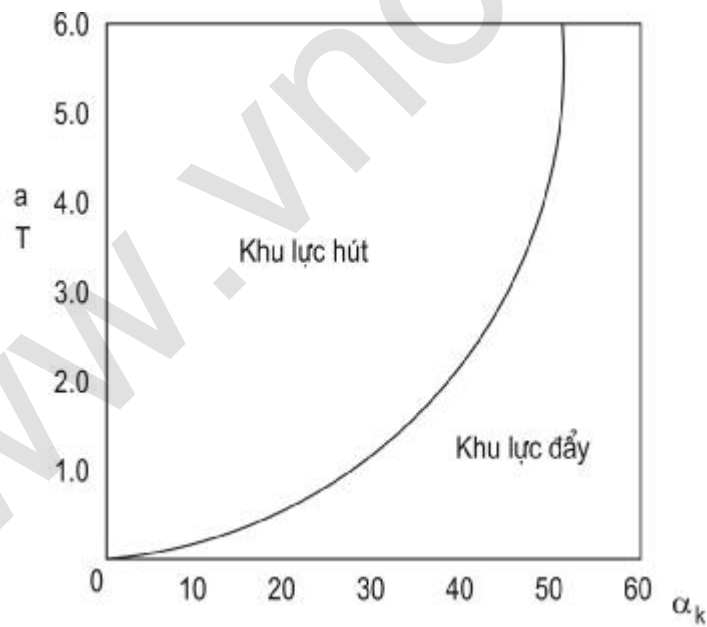
Theo phân tích lý thuyết, khi độ mở cửa van đạt đến một trị số nào đó, góc nghiêng thượng lưu của viền đáy  $\alpha$  tồn tại một trị số cực hạn  $\alpha_k$ .

Nếu  $\alpha < \alpha_k$  thì trên viền đáy xuất hiện lực hút xuống. Còn nếu  $\alpha > \alpha_k$  thì trên viền đáy xuất hiện lực đẩy lên. Quan hệ giữa chúng như hình 2-8.

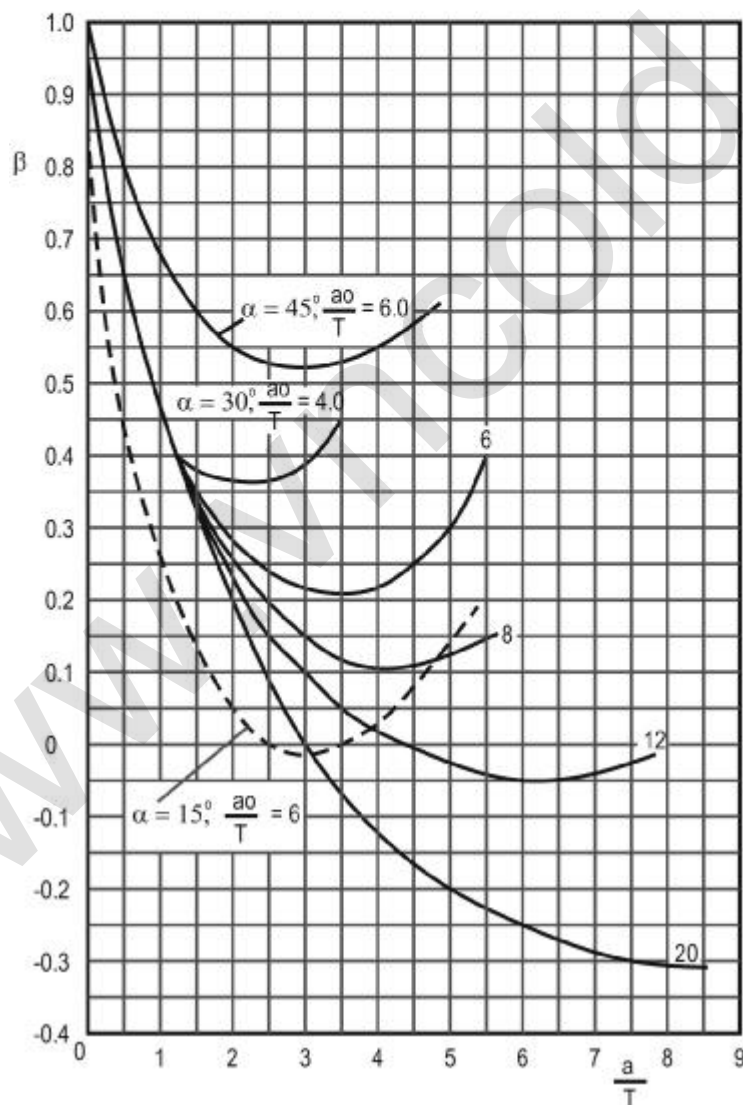
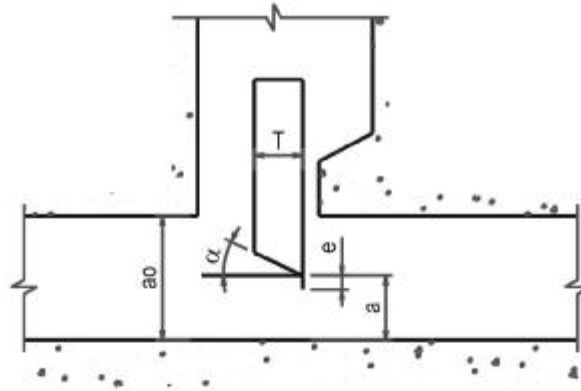
Cho  $\beta$  là hệ số lực đẩy lên, biểu thị tỷ số lực đẩy lên (trị số âm là lực hút xuống) và áp lực thủy tĩnh trên mặt chiếu viền đáy ( $H_0 - a$ ). Đưa trị số  $\beta$  của các góc nghiêng viền đáy khác nhau thu được qua thí nghiệm vẽ thành hình 2-9 ÷ 2-12.



Hình 2-7. Đường cong  $h/H_0 - b_0/b_1$

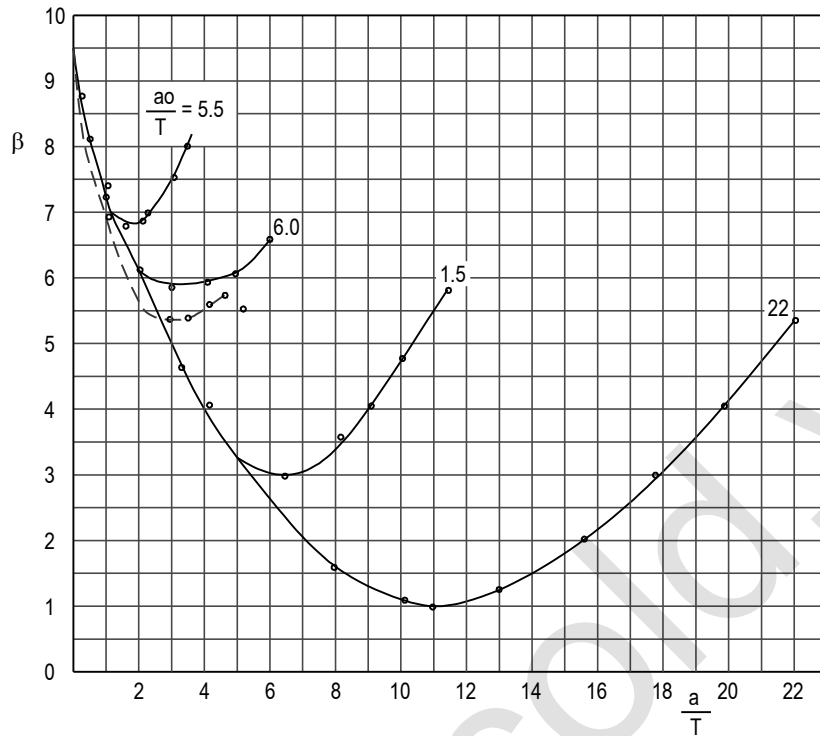


Hình 2-8. Góc nghiêng tạm thời của viên đá của van phẳng



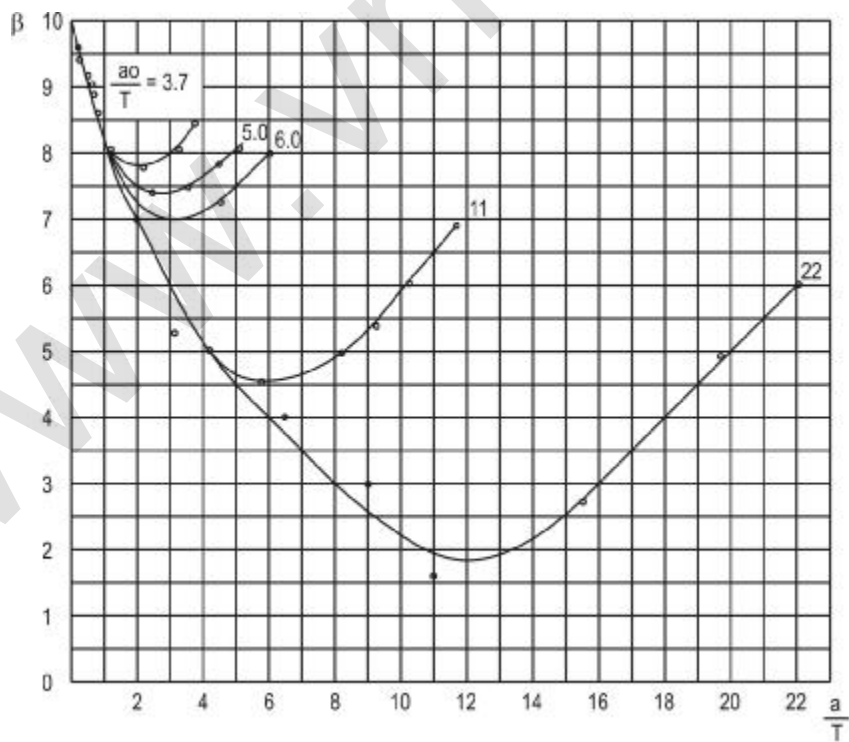
**Hình 2-9. Đường cong trị số  $\beta$**

$\alpha = 5^\circ, 30^\circ, 45^\circ, v/T = 0, e/T = 0$  (trong hình  $\alpha$  nên là  $\alpha'$ )

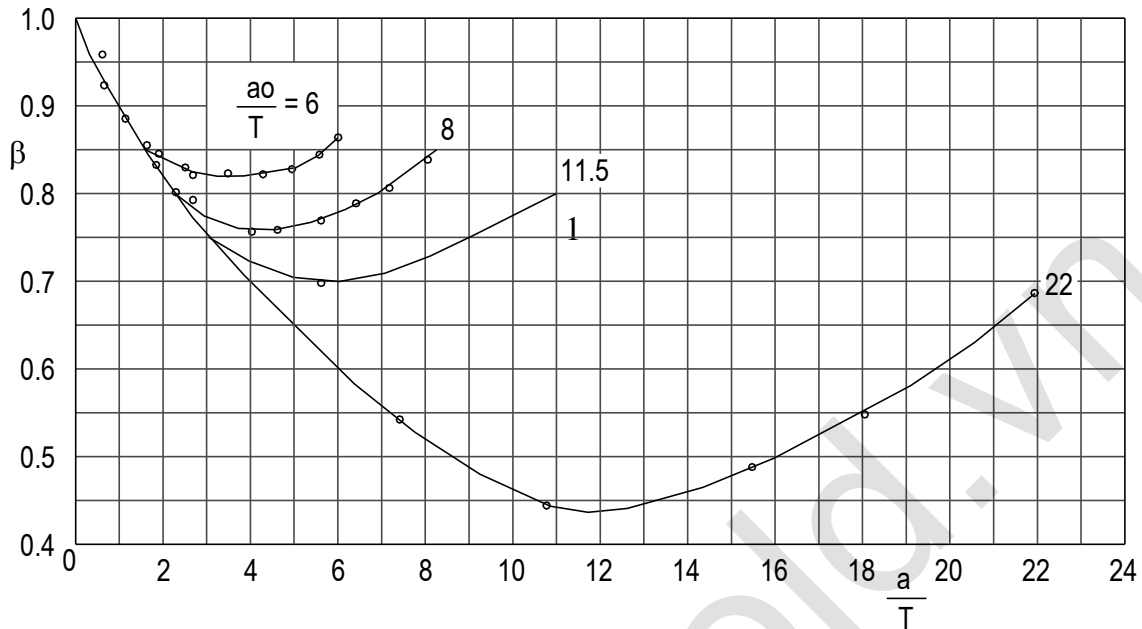


Hình 2-10. Đường cong trị số  $\beta$  ( $\alpha' = 45^\circ$ ,  $\nu = 0$ ,  $e = 0$ )

(Trong hình  $\alpha$  là  $\alpha'$ )



Hình 2-11. Đường cong trị số  $\beta$  ( $\alpha' = 52,5^\circ$ ,  $\nu = 0$ ,  $e = 0$ )



Hình 2-12. Đường cong trị số  $\beta$  ( $\alpha' = 60^\circ, \nu = 0, e = 0$ )

Theo quy định của quy phạm thiết kế cửa van thép, khi tính toán lực đóng cửa, nên xem xét theo trạng thái cửa van gần như đóng hoàn toàn, tức lấy  $\beta = 1,0$ . Còn khi tính toán lực chống đỡ, trị số  $\beta$  được xem xét theo các độ mở cửa van khác nhau. Từ đường cong thí nghiệm trên, có thể lấy trị số  $\beta$  một cách đơn giản như bảng 2-4.

Bảng 2-4. Trị số hệ số lực đẩy lên  $\beta$

$\alpha'$ \ $\beta$	a/T				
	2	4	8	12	16
$60^\circ$	0,8	0,7	0,5	0,4	0,25
$52,5^\circ$	0,7	0,5	0,3	0,15	0,25
$45^\circ$	0,6	0,4	0,1	0,05	0,25

Bởi vì những trị số  $\beta$  liệt kê trong bảng thích dụng với trường hợp chảy tự do ở hạ lưu cửa van, tức yêu cầu:

- Đối với cửa van của đường xả nước  $0 < a < a_0/2$

- Đối với cửa van đóng mở nhanh của trạm thủy điện  $0 < a < a_k$  ( $a_k$  là độ cao mở cửa van tạm thời khi dòng chảy hờ đây ở hạ lưu, có thể dùng thí nghiệm mô hình thủy lực xác định, nếu thiếu tài liệu cũng có thể ước tính theo  $a_0/2$ ).

### 2.3.2. Cửa van cung

Áp lực nước động tác dụng lên bản mặt thượng lưu cửa van cung tính toán theo công thức lý thuyết thế năng dòng chảy:

$$p_{yD} = \gamma \left[ H - y - (H - a) \left( \frac{K_{1c} K_{2c}}{K_1 K_2} \right)^2 \right] \quad (2-7)$$

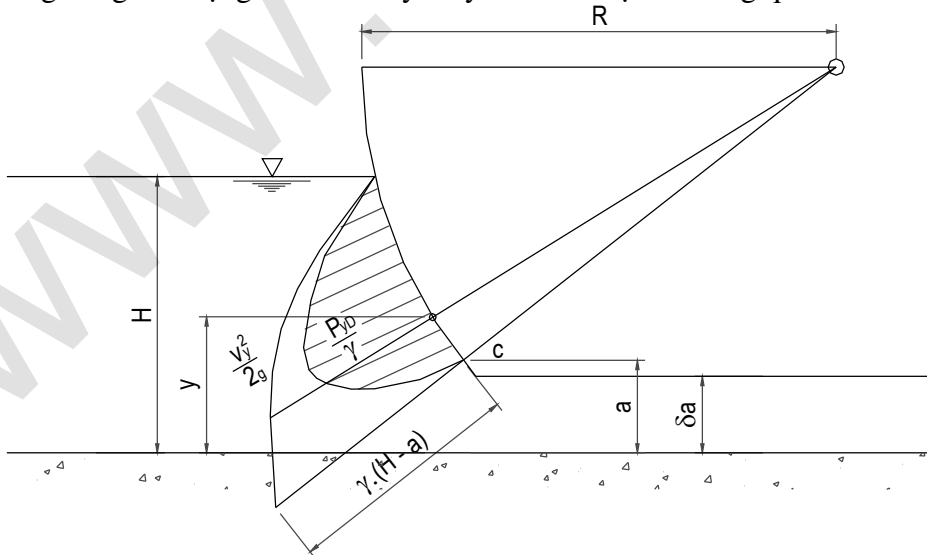
Trong đó:

$$K_1 = \frac{y}{\sin \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{y}{a + \sqrt{a^2 - y^2 + 2y\sqrt{R^2 - a^2}}} \right) \right)};$$

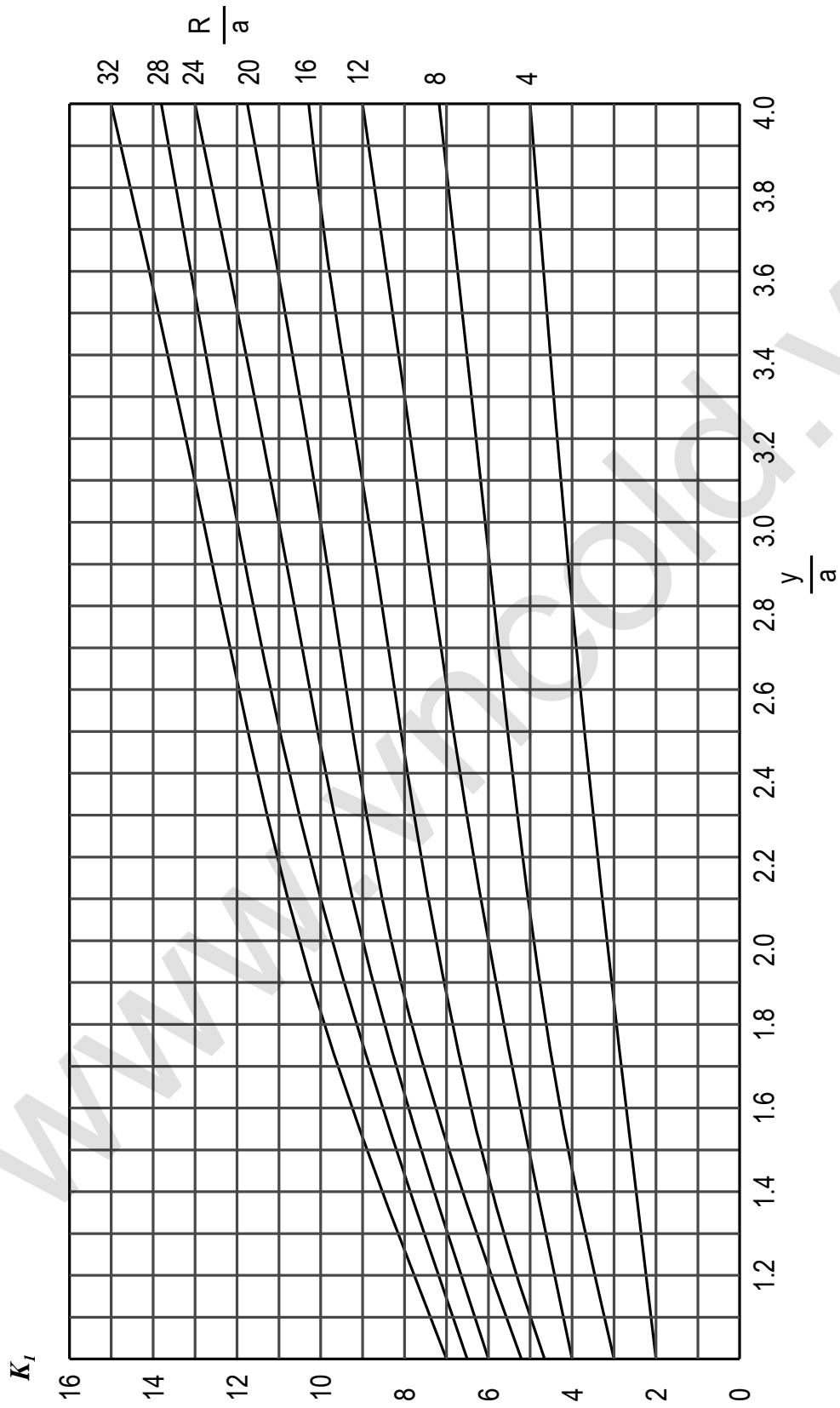
$$K_2 = \frac{y}{\sin \left( \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{y}{-a + \sqrt{a^2 - y^2 + 2y\sqrt{R^2 - a^2}}} \right) \right)}.$$

$K_1, K_2$  tra hình 2-15 tìm được  $K_{1c}, K_{2c}$  là trị  $K_1, K_2$  tại điểm c, cũng có thể dùng  $y=a$  tra hình 2-15 sẽ được. Các ký hiệu khác, xem hình 2-14. Áp lực nước động tính toán theo công thức (2-7) tương đối phù hợp với kết quả thí nghiệm mô hình.

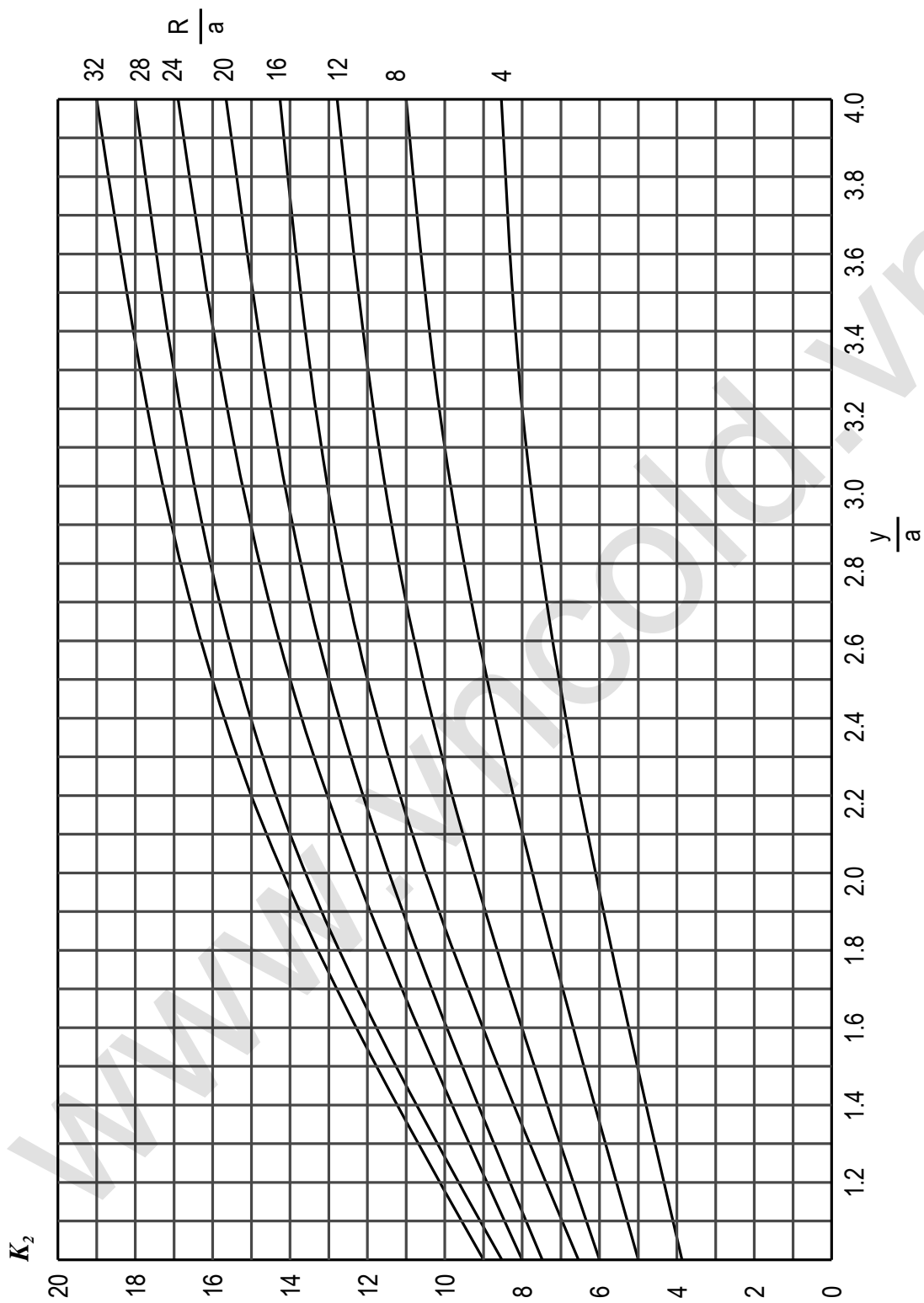
Viên đáy của cửa van cung phần lớn khi ngăn nước có dạng hình đao, độ dày rất nhỏ, diện tích tiếp xúc với nước động không lớn, ảnh hưởng tới tính toán lực đóng mở tương đối nhỏ, nên ít được chú ý đến. Nếu cần thiết phải tính toán, cũng có thể tiến hành theo phương pháp tính toán cánh cửa cống phẳng, nhưng lúc này phải chú ý quan hệ góc nghiêng  $\alpha$  thượng lưu viên đáy thay đổi theo độ mở trong quá trình mở cống.



Hình 2-14. Áp lực nước động tác dụng lên bản mặt thượng lưu cửa van cung



Hình 2-15a. Đường cong  $K_1$

Hình 2-15b. Đường cong  $K_2$



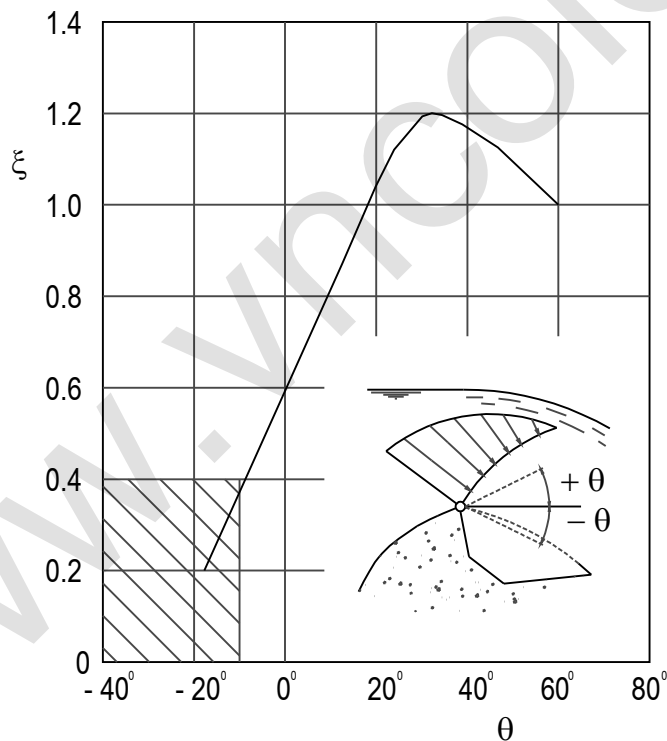
### 2.3.3. Cửa van quạt (hình 2-16)

Từ yêu cầu chảy tràn đỉnh cửa van mà nói, ngoại hình của cửa van quạt nên thiết kế theo đường cong đỉnh tràn của tràn phi chân không. Nhưng xét về góc độ chế tạo đơn giản thường tạo thành một đoạn cung tròn gần với đường cong đó.

Áp lực nước động tác dụng lên bản mặt thượng lưu cánh cổng của cửa cống cánh lưới, biến đổi rất lớn. Nếu đưa tỷ số giữa tổng áp lực nước động trên bản mặt khi độ mở  $\theta$  và tổng áp lực nước tĩnh (trong bố trí chung lấy  $\theta = -60^\circ$ ) khi đóng cửa van, định nghĩa là hệ số lực động  $\xi$ , thì quan hệ giữa nó và góc mở  $\theta$  như hình 2-16.

Đường thực ở trong hình là đường cong lý thuyết, điểm đen là kết quả của thí nghiệm mô hình.

Từ kết quả thí nghiệm có thể thấy, khi  $\theta < -10^\circ$ , áp lực nước động rất không ổn định (khu gạch chéo trong hình), xuất hiện áp lực nước âm, cửa van dễ phát sinh chấn động.



Hình 2-16. Hệ số lực động của cửa van quạt

### 2.3.4. Chế độ thủy lực khi tràn qua cửa sập

Dòng chảy qua cửa van sập được tính như đập tràn, có thể tính như đập tràn đỉnh rộng, và cũng có thể tính như đập tràn thực dụng tùy thuộc vào chiều cao đập và chiều dài cửa van khi mở hết.

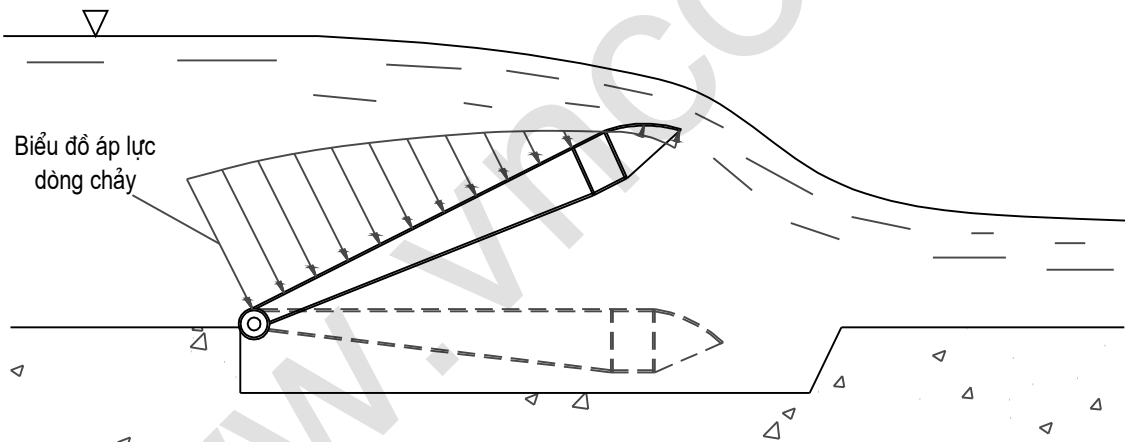
Điều đáng lưu ý là áp lực trên mặt cửa van sập khi dòng chảy tràn qua là áp lực nước động và biến đổi theo góc mở  $\alpha$  của cửa. Khi  $\alpha$  trong khoảng  $60^\circ \div 75^\circ$  thì áp lực trên mặt cửa là áp lực thủy động nhỏ hơn áp lực thủy tĩnh, thường tính gần đúng áp lực thủy tĩnh hình thang. Nhưng thực tế áp lực tại mặt cắt trên mặt cửa là:

$$P = h - \frac{v^2}{2.g} \quad (2-8)$$

Trong đó:  $h$  - độ sâu dòng chảy;

$v$  - lưu tốc tại mặt cắt tính áp lực.

Để có trị số áp lực chính xác thường người ta phải tiến hành đo trong mô hình thí nghiệm. Trong thiết kế tính lực kéo cửa coi áp lực trên mặt cửa là áp lực thủy tĩnh, sẽ thiên an toàn cho khả năng kéo cửa. Còn áp lực mặt dưới cửa khi có dòng chảy qua cửa bị giảm thấp hơn áp lực khí trời, hoặc có thể chân không vì dòng chảy đã cuốn hút không khí ra ngoài. Vì vậy phải tính toán và thí nghiệm xác định tiết diện ống thông khí vào dưới cửa van đủ cho vùng này có áp lực khí trời. Điều đó làm cho việc tính lực kéo cửa được chính xác và cửa làm việc ổn định.



**Hình 2-17. Dòng chảy qua cửa van sập**

**Chương 2 37**

**THỦY LỰC CỬA VAN 37**

**2.1. Khái niệm chung 37**

**2.2. Năng lực xả nước 37**

**2.3. áp lực nước tác dụng lên cửa van 42**

2.3.1. Cửa van phẳng 42

2.3.2. Cửa van cung 50

2.3.3. Cửa van quạt 53

2.3.4. Chế độ thủy lực khi tràn qua cửa sập 53

www.vncold.vn