

# TIÊU HAO NĂNG LƯỢNG CỦA DÒNG CHẢY QUA BẬC NƯỚC TRÊN MÁI HẠ LƯU ĐẬP DÂNG NƯỚC

Nguyễn Công Thành<sup>1</sup>, Hà Đình Phương<sup>2</sup>

**Tóm tắt:** Dòng chảy tràn qua mái hạ lưu đập dâng bằng vật liệu địa phương (VLDP) có thể gây ra xói lở và làm mất an toàn cho công trình. Có nhiều phương pháp bảo vệ mái đập VLDP trong trường hợp này đã được nghiên cứu và phát triển như xây dựng bậc nước bằng bê tông trên mái đập, gia cố bằng rọ đá, đá đổ hay bằng các tấm bê tông đúc sẵn.v.v... Mỗi phương pháp đều có những ưu điểm và nhược điểm riêng. Một trong những vấn đề cần được quan tâm đó là hiệu quả tiêu hao năng lượng của công trình bảo vệ mái dốc trong trường hợp nước tràn qua đỉnh đập. Trong phạm vi bài báo này, ứng dụng của bậc nước trong việc bảo vệ mái đập đất và một số biện pháp nâng cao hiệu quả tiêu năng của công trình này sẽ được đề cập. Thêm vào đó, phương pháp số sẽ được ứng dụng trong việc mô phỏng dòng chảy hai pha qua bậc nước để đánh giá ảnh hưởng của hệ số mái dốc và sơ đồ bố trí bậc nước tới khả năng tiêu hao năng lượng của dòng chảy trong trường hợp này.

**Từ khóa:** Bậc nước, đập đất, tiêu năng dòng chảy, bảo vệ mái dốc đập, mô phỏng số, dòng chảy 2 pha.

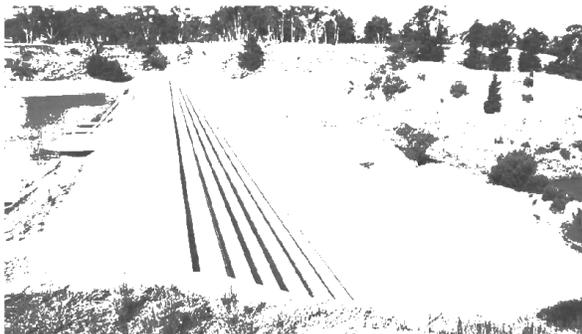
## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

### 1.1. Tổng quan chung về bậc nước

Bậc nước đã được xây dựng và sử dụng cách đây hơn 3000 năm (Old Stepped Spillway in Akarnania, Greece) và đã có nhiều công trình được xây dựng từ cuối thế kỷ 19 cho đến những năm đầu thế kỷ 20. Cùng với sự phát triển của công nghệ xây dựng như Bê tông đầm lăn (RCC), rọ đá sử dụng sợi polyme.v.v..., cũng như các thành tựu trong nghiên cứu về vấn đề hàm khí và xâm thực của dòng chảy trên bậc nước, sự tiêu hao năng lượng, điều này dẫn đến việc ứng dụng bậc nước trong công trình thủy lợi ngày càng rộng rãi. Ngoài việc ứng dụng kết hợp đập dâng và đập tràn trong kết cấu

đập RCC, bậc nước còn được xây dựng trên bề mặt mái dốc của các đập đất, đập đá đổ nhằm cho phép nước có thể tràn qua đập mà không gây mất an toàn cho công trình. Việc xây dựng bậc nước trên bề mặt các mái dốc của đường giao thông nhằm bảo vệ cho mái dốc cũng là một ứng dụng của dạng công trình tháo nước này. Việc ứng dụng bậc nước thường được áp dụng với trường hợp có lưu lượng đơn vị  $q \leq 30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  bởi vì nguy cơ xảy ra sự phá hủy bề mặt bậc nước do xâm thực trong những trường hợp lưu lượng lớn<sup>[1]</sup>.

### 1.2. Ứng dụng bậc nước bảo vệ mái đập đất trong trường hợp nước tràn qua đỉnh đập



Melton Dam (Australia, 1994)



Salado Creek Dam Site 15R (USA)

Hình 1. Ứng dụng bậc nước bảo vệ đập đất trong trường hợp nước tràn qua đỉnh đập

<sup>1</sup> Đại học Xây dựng (NCS, Đại học Hồ Hải, Trung Quốc)

<sup>2</sup> Th.S, Đại học Xây dựng

Hiện nay, do ảnh hưởng của các điều kiện thời tiết cực đoan nên lưu lượng dòng chảy vào

mùa lũ có xu hướng tăng lên. Kết quả là lưu lượng thực tế cao hơn lưu lượng thiết kế. Nếu công trình tháo lũ không đủ khả năng tháo sẽ gây ra sự mất an toàn cho toàn bộ hệ thống công trình đầu mối. Do vậy, một số biện pháp nhằm bảo vệ đập đất và đập đá trước khả năng nước tràn qua đỉnh đập đã được nghiên cứu và phát triển. Những giải pháp này bao gồm một số biện pháp chính như xây dựng bậc nước bằng bê tông trên mái đập, gia cố mái đập bằng rọ đá, tấm bê tông đúc sẵn, thiết kế mái đập thành đường tràn nước theo nguyên lý tổn thất năng lượng tối thiểu.v.v... Một trong những giải pháp vừa thuận lợi trong thi công, cũng như hiệu quả trong việc tiêu hao năng lượng của dòng chảy đó là sử dụng bậc nước được xây dựng ngay trên mái đập. Với đặc điểm đập đất có hệ số mái dốc tương đối thoải thì giải pháp này thực sự đem lại hiệu quả và đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều trên thế giới [2-3].

Ưu điểm của việc ứng dụng bậc nước so với các phương pháp khác đó là không những hiệu quả trong việc tiêu hao năng lượng của dòng chảy cao hơn mà còn hạn chế được vấn đề xâm thực bề mặt công trình so với dốc nước truyền thống. Ngoài ra do trọng lượng bản thân của bậc nước (thường được làm bằng bê tông) nên khả năng chống được áp lực đẩy ngược của dòng thấm là cao. Tuy nhiên vấn đề nổi tiếp, thoát nước giữa bề mặt đập dâng và bậc nước cũng là nhược điểm của giải pháp này.

#### Vấn đề nghiên cứu

Trong phạm vi bài báo này, một số đặc điểm của dòng chảy trên bậc nước nước có độ dốc trung bình (phù hợp với mái dốc của đập đất) cũng như đặc điểm tiêu hao năng lượng của dòng chảy sẽ được trình bày. Bên cạnh đó, một số giải pháp tăng cường khả năng tiêu hao năng lượng của dòng chảy trên bậc nước sẽ được giới thiệu. Cuối cùng, phương pháp số sẽ được ứng dụng để mô phỏng dòng chảy trên bậc nước căn cứ vào hệ phương trình Reynold-Average

Navier Stocks kết hợp mô hình dòng chảy rối k- $\epsilon$  và mô hình dòng chảy 2 pha. Mô phỏng sẽ được thực hiện trên một số sơ đồ bậc nước để đánh giá hiệu quả tiêu năng của từng sơ đồ. Kết quả tính toán sẽ được so sánh với một số công thức thực nghiệm để kiểm chứng lại mức độ chính xác của những mô hình này.

## 2. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM VỀ DÒNG CHẢY TRÊN BẬC NƯỚC

### 2.1. Phân loại dòng chảy trên bậc nước

Dòng chảy trên bậc nước có thể được phân thành ba dạng chính như sau: ‘*Nappe flow*’, ‘*transtion flow*’ và ‘*skimming flow*’<sup>[1-3]</sup>. Tùy thuộc vào lưu lượng cũng như kích thước của bậc ( $h_s$ : chiều cao bậc,  $l_s$ : chiều dài bậc) mà hình thành chế độ chảy trên bậc nước. Tiêu hao năng lượng chủ yếu do ma sát của của dòng phun từ bậc trên với không khí cũng như ma sát với lớp đệm nước ở bậc dưới và một phần trong nước nhảy ở bậc nước với chế độ ‘*Nappe flow*’ và ‘*transtion flow*’. Khi lưu lượng tăng lên, dòng chảy sẽ chuyển sang chế độ ‘*skimming flow*’. Đây là chế độ phổ biến nhất của dòng chảy trên bậc nước. Tiêu hao năng lượng của dòng chảy trong trường hợp này chủ yếu để duy trì ổn định các xoáy nước giữa nằm giữa các cạnh của bậc nước và đáy giả định (hình 2). Những xoáy nước này được duy trì bởi ứng suất rối giữa dòng chính và dòng chảy tuần hoàn ngập bên dưới<sup>[4]</sup>. Trong phạm vi bài báo này, vấn đề tiêu hao năng lượng của dòng chảy sẽ chỉ được xem xét với chế độ dòng chảy ‘*skimming flow*’.

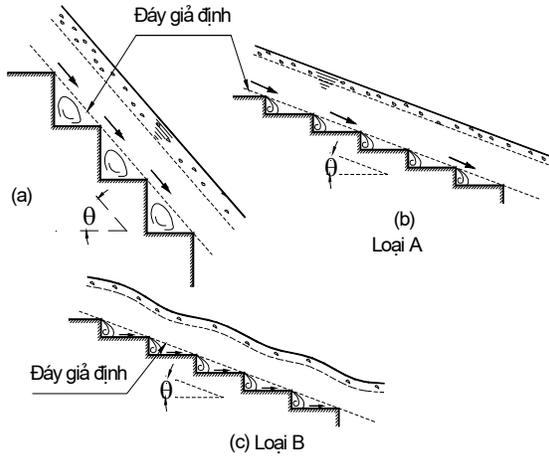
Đập đất thường được thiết kế với hệ số mái dốc  $m = 2.5-4$  ( $14.04^\circ \leq \theta \leq 21.8^\circ$ ). Trong trường hợp này chế độ ‘*skimming flow*’ có thể phân thành 2 trường hợp là loại A và loại B<sup>[4]</sup>. Tiêu chuẩn cho sự phân loại này phụ thuộc vào góc nghiêng của mái dốc  $\theta$ , chiều cao bậc  $h_s$  và độ sâu phân giới  $h_c$  ( $h_c = \sqrt[3]{q_w^2 / g}$ ) và được thể hiện qua công thức (1) dưới đây:

$$\left(\frac{h_s}{h_c}\right)_A \leq \frac{7}{6}(\tan \theta)^{1/6} \quad (5.7^\circ \leq \theta \leq 55^\circ)$$

$$\frac{7}{6}(\tan \theta)^{1/6} \geq \left(\frac{h_s}{h_c}\right)_B \geq 13(\tan \theta)^2 - 2.73(\tan \theta) + 0.373, \quad (5.7^\circ \leq \theta \leq 19^\circ)$$
(1)

## 2.2. Tiêu hao năng lượng của dòng chảy trên bậc nước trường hợp mái dốc có độ dốc trung bình

Để đánh giá khả năng tiêu hao năng lượng của dòng chảy, hệ số ma sát  $f_s$  thường được sử dụng. Trong chế độ ‘skimming flow’, hệ số ma sát được biểu diễn thông qua quan hệ:



Hình 2. Các dạng dòng chảy của chế độ ‘skimming flow’ ứng với mái dốc khác nhau

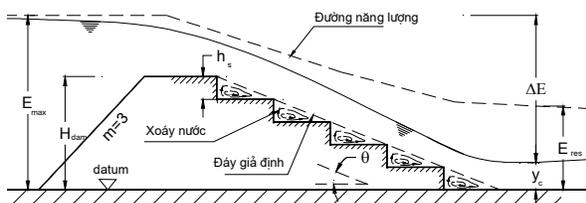
(a)  $55^\circ \geq \theta \geq 19^\circ$ , (b) Loại A, (c) Loại B  
( $19^\circ \geq \theta \geq 5.7^\circ$ )

$$f_s = \Omega \left( \theta, \frac{1}{F_s^2} \right) \quad (2)$$

Trong đó  $F_s$  là số Froude của bậc nước và được xác định theo công thức

$$F_s = \frac{v_c}{\sqrt{gh_s}} \text{ với } v_c = q_w / h_c \quad (3)$$

Các kết quả nghiên cứu như tài liệu [5-6] đã chỉ ra rằng so với trường hợp dốc nước phẳng làm bằng bê tông, giá trị hệ số ma sát của dòng chảy trên bậc nước thường lớn hơn 5.5 ÷ 13 lần. Đây chính là nguyên nhân dẫn đến hiệu quả tiêu hao năng lượng của dòng chảy trên bậc nước là lớn hơn đáng kể so với dốc nước (hệ số ma sát trên dốc nước bằng bê tông thường trong khoảng  $f = 0.014 \div 0.02$  [7]).



Hình 3. Các thông số cơ bản của bậc nước

Để đánh giá hiệu quả tiêu năng của dòng chảy trên bậc nước, tỷ số  $\Delta E / E_{max}$  thường được sử dụng.

Trong đó  $E_{max}$  là năng lượng dòng chảy phía thượng lưu,  $\Delta E = E_{max} - E_{res}$ , với  $E_{res}$  là phần năng lượng còn lại của dòng chảy tại mặt cắt co hẹp tại chân bậc nước và  $E_{res} = \varphi(\theta, f_s)$ . Các ký hiệu khác có thể xem thêm trên hình 3. Tỷ số  $\Delta E / E_{max}$  có thể được tính toán bằng công thức tổng quát sau:

$$\frac{\Delta E}{E_{max}} = 1 - \frac{E_{res}}{h_c} \left( \frac{H_{dam}}{h_c} + 1.5 \right)^{-1} \quad (4)$$

Có nhiều công thức để tính toán giá trị phần năng lượng dư  $E_{res}$  tại hạ lưu chân đập của dòng chảy. Đại lượng này phụ thuộc vào mức độ hàm khí của dòng chảy, chiều dài của bậc nước theo phương mái dốc, sơ đồ bố trí, kích thước của bậc.v.v... Công thức tổng quát xác định  $E_{res}$  có thể được tính toán như sau:

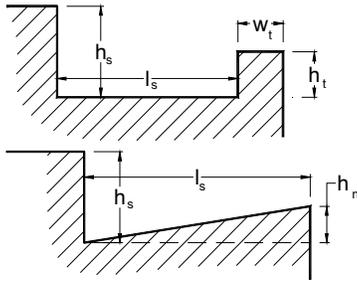
$$\frac{E_{res}}{h_c} = \left( \frac{f_s}{8 \sin \theta} \right)^{1/3} \cos \theta + \frac{1}{2} \left( \frac{f_s}{8 \sin \theta} \right)^{-2/3} \quad (5)$$

Các phương pháp của Ohtsu<sup>[4]</sup> và Gonzalez-Chanson<sup>[6]</sup> đều áp dụng công thức (5) nhưng các xác định giá trị hệ số ma sát  $f_s$  là khác nhau. Chi tiết xác định  $f_s$  có thể tham khảo tại một số tài liệu như Ohtsu<sup>[4]</sup>, Gonzalez<sup>[5]</sup>, Chanson<sup>[8]</sup>, Felder<sup>[9]</sup>.

## 2.3. Một số phương pháp tăng cường khả năng tiêu hao năng lượng của dòng chảy trên bậc nước

Như đã phân tích ở phần trên, để tăng cường khả năng tiêu hao năng lượng của dòng chảy trong chế độ ‘skimming flow’ thì cần phải tăng sự ma sát trong dòng chảy trên bậc nước. Cụ thể ở đây là tăng cường kích thước của các xoáy nước giữa hai cạnh của bậc nước cũng như tăng cường độ va chạm của dòng chảy từ bậc trên xuống bề mặt bậc dưới. Bậc nước kiểu truyền thống thường được thiết kế với hai cạnh thẳng đứng và nằm ngang được đặc trưng bằng 2 kích thước  $h_s$  và  $l_s$ . Để tăng khả năng tiêu hao năng lượng, một số thiết bị phụ thường được gắn kèm cùng kiểu bậc nước truyền thống như làm bậc

ngiên về thượng lưu, làm thêm tường tiêu năng ở cuối bậc (bố trí so le hoặc toàn tuyến), gắn thêm các cánh dẫn hướng trên bề mặt bậc, lắp đặt một số mô trụ trên bậc. .v.v...Chi tiết về các giải pháp trên có thể tham khảo trong một số tài liệu [10-12]. Trong phạm vi bài báo này, 3 sơ đồ bậc nước sẽ được áp dụng để đánh giá khả năng tiêu hao năng lượng của dòng chảy qua bậc nước. Đó là bậc nước kiểu truyền thống, bậc nước có tường tiêu năng và bậc nước có mái dốc nghiêng. Kích thước cơ bản của các sơ đồ này được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Các kích thước cơ bản của bậc nước trong tính toán

### 3. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ TRONG MÔ PHỎNG DÒNG ĐỘNG LỰC HỌC DÒNG CHẢY QUΑ BẬC NƯỚC

#### 3.1. Tổng quan ứng dụng phương pháp số trong mô phỏng động lực học dòng chảy

Cùng với sự phát triển của công nghệ máy tính cũng như những thành công trong nghiên cứu về cơ học chất lỏng, việc giải các bài toán động lực học chất lỏng bằng phương pháp số đã và đang ngày càng phát triển. Phương pháp này thường được sử dụng với thuật ngữ CFD (Computational fluid dynamics). Trong lĩnh vực công trình thủy lợi nói chung và dòng chảy qua bậc nước nói riêng, CFD đã và đang được áp dụng rộng rãi trong việc tính toán dòng chảy qua các công trình tháo lũ, dòng chảy trong kênh hở, dòng chảy trong đường hầm, dòng chảy trên sông.v.v..., và cho những kết quả đáng khích lệ. Việc ứng dụng CFD trong mô phỏng dòng chảy qua bậc nước cũng đã được thực hiện bởi nhiều tác giả như Chaiyuth<sup>[13]</sup>, Rad và Teimouri<sup>[14]</sup>, Tabbara<sup>[15]</sup> .v.v... Kết quả so sánh về tỷ số  $\Delta E / E_{max}$  giữa mô phỏng và thí

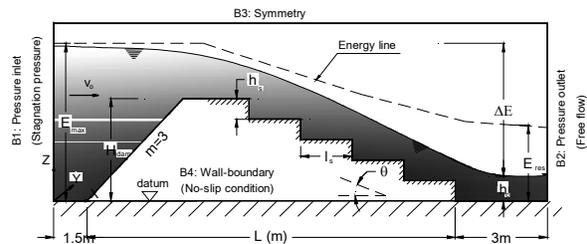
nghiệm mô hình trong khoảng 5-15%. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu này được thực hiện với trường hợp bậc nước có mái dốc lớn ( $26.6^\circ \leq \theta \leq 63.34^\circ$ ), không phù hợp với mái dốc của đập đất.

Trong phạm vi bài báo này, phần mềm CFD FLOW-3D sẽ được ứng dụng để mô phỏng dòng chảy qua bậc nước có mái dốc thấp và trung bình  $14.04^\circ \leq \theta \leq 21.8^\circ$  với chế độ dòng chảy ‘skimming flow’. Mô phỏng sẽ được thực hiện với các mái dốc và sơ đồ bậc nước khác nhau (hình 4) để đánh giá hiệu quả tiêu hao năng lượng của dòng chảy. Mô hình dòng chảy rối k-ε cùng với mô hình dòng chảy hai pha sẽ được áp dụng để tính toán các đặc trưng của dòng chảy và đánh giá hiệu quả tiêu năng của từng sơ đồ được lựa chọn trong bài báo này.

#### 3.2. Ứng dụng FLOW-3D trong mô phỏng dòng chảy qua bậc nước

##### 1) Sơ đồ tính toán và điều kiện biên

Với phần mềm FLOW 3D, miền tính toán được chia thành các phần tử hình chữ nhật hoặc hình vuông. Việc sử dụng loại phần tử này có ưu điểm là chia lưới dễ dàng, nhanh chóng, quá trình giải sử dụng ít bộ nhớ hơn so với phần tử tam giác. Bài toán được thực hiện với sơ đồ 2-D (chiều rộng mô hình  $B_m = 1m$ ). Biên thượng lưu sẽ được áp dụng với giá trị tổng cột nước  $E_{max} = H_o = H + v_o^2 / 2g$  (được lựa chọn để đảm bảo chế độ chảy ‘skimming flow’ trong bậc nước). Giá trị lưu lượng  $Q$  và cột nước thực  $H$  sẽ được tính toán kiểm tra lại bằng công thức cơ bản của đập tràn đỉnh rộng để kiểm chứng mức độ chính xác của việc mô phỏng. Chi tiết về sơ đồ, miền tính toán và các điều kiện biên khác có thể xem trong hình 5.



Hình 5. Sơ đồ tính toán và điều kiện biên

## 2) Các trường hợp tính toán

Trong phạm vi của bài báo này, 3 sơ đồ bậc nước (Sơ đồ I-bậc truyền thống ( hình 1), Sơ đồ II-bậc nước có tường tiêu năng và sơ đồ III-bậc có mái dốc nghiêng (hình 4)) được mô phỏng để đánh giá mức độ tiêu hao năng lượng của dòng chảy. Chiều cao của đập sẽ được lấy bằng  $H_{dam} = 2m$  với 3 trường hợp hệ số mái dốc  $m$  khác nhau để đánh giá mức độ ảnh hưởng của thông số này đến kết quả bài toán. Những kết quả này sẽ được so sánh với công thức thực nghiệm đã nêu ở phần trên. Chiều cao của bậc nước  $h_s$  trong nghiên cứu này được lấy bằng  $0.05m$ . Với kích thước đã cho, tổng số bậc trong các sơ đồ  $N$  đều bằng 39. Các kích thước của tường tiêu năng và bậc nghiêng được lấy lần lượt là:  $w_i = 0.025m$ ,  $h_i = 0.025m$ ,  $h_n = 0.02m$  (hình 4). Chi tiết các trường hợp tính toán và sơ đồ bậc nước được trình bày trong bảng 1

**Bảng 1. Các trường hợp tính toán**

TH	Sơ đồ bậc nước	$m$	$l_s$	$E_{max} = H_o$	$\theta$ (Độ)
			(m)	(m)	
1	(I)		0.125	2.5	
2	(II)	2.5	0.1	2.5	21.8
3	(III)		0.125	2.5	
4	(I)		0.15	2.65	
5	(II)	3	0.125	2.65	18.43
6	(III)		0.15	2.65	
7	(I)		0.175	2.7	
8	(II)	3.5	0.15	2.7	15.95
9	(III)		0.175	2.75	

### 3.3. Kết quả tính toán

#### 1) Lưu lượng qua đỉnh đập

Công thức tính toán lưu lượng qua đập tràn đập tràn đỉnh rộng trong trường hợp không có co hẹp bên, chảy không ngập có thể được xác định theo công thức sau<sup>[16]</sup>:

$$Q = m_o B_m \sqrt{2g} H_o^{1.5} \quad (6)$$

Trong đó :  $m_o$  là hệ số lưu lượng ứng với cột nước thực tế trên tràn. Trong trường hợp điều kiện cửa vào thuận dòng và không có co hẹp bên như những trường hợp tính toán trong bài báo này, hệ số lưu lượng có thể lấy bằng  $m_o = 0.375$ ,  $B_m$  là chiều dài ngưỡng,  $H_o$  là cột nước toàn phần có kể đến lưu tốc tới gần. Kết quả tính toán từ công thức (6) và kết quả phương pháp số trong các trường hợp tính toán được thể hiện trong bảng 2 như sau:

**Bảng 2. So sánh lưu lượng qua tràn theo công thức (5) và phương pháp số**

TH	Sơ đồ bậc nước	Phương trình (6)		Phương pháp số	Sai số
		$m_o$	Q (m <sup>3</sup> /s)		
1	(I)	0.375	0.587	0.615	4.51%
2	(II)		0.587	0.605	2.93%
3	(III)	0.375	0.587	0.610	3.73%
4	(I)	0.375	0.870	0.925	5.90%
5	(II)	0.375	0.870	0.890	2.20%
6	(III)	0.375	0.870	0.910	4.34%
7	(I)	0.375	1.079	1.125	4.10%
8	(II)	0.375	1.079	1.115	3.24%
9	(III)	0.375	1.079	1.120	3.67%

Từ bảng trên thấy rằng chênh lệch giữa tính toán lưu lượng bằng lý thuyết và phương pháp số là không đáng kể. Sai số trong phạm vi cho phép. Như vậy, việc dùng phương pháp số để mô phỏng, tính toán lưu lượng dòng chảy tràn qua đỉnh đập đất đảm bảo đủ độ tin cậy.

#### 2) Đánh giá mức độ tiêu hao năng lượng của dòng chảy qua bậc nước

Trước hết, kết quả tính toán bằng một số công thức thực nghiệm với kết quả mô phỏng số về hiệu quả tiêu hao năng lượng sẽ được kiểm tra với sơ đồ bậc nước truyền thống (sơ đồ I). Kết quả so sánh này được thể hiện trong bảng 3. Sai số giữa các phương pháp được tính toán bằng công thức:

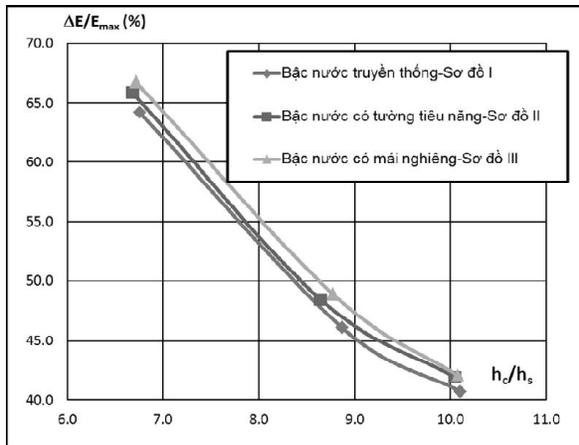
$$\varepsilon_{er}(\%) = \frac{\left| (\Delta E / E_{max})_{lythuyet} - (\Delta E / E_{max})_{phuongphaps0} \right|}{(\Delta E / E_{max})_{lythuyet}} \quad (7)$$

**Bảng 3. So sánh  $\Delta E / E_{max}$  giữa phương pháp số và công thức thực nghiệm**

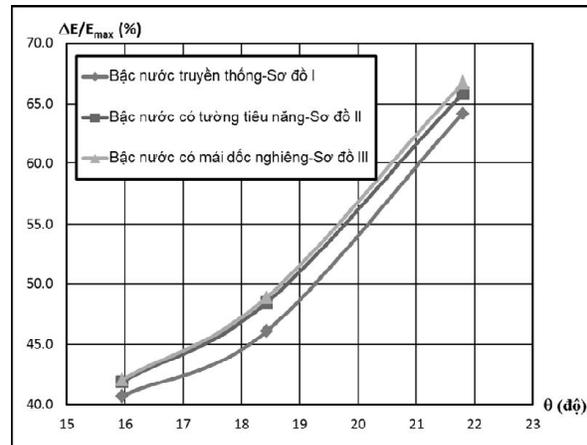
Số độ bậc nước	TH	Q (m <sup>3</sup> /s)	$\Delta E / E_{max}(\%)$				
			Phương pháp số	Ostu <sup>[5]</sup>	$\varepsilon_{er}$	Gonzalez & Chanson <sup>[6]</sup>	$\varepsilon_{er}$
(I)	1	0.615	64.210	54.63	14.92%	61.06	4.9%
	4	0.925	46.084	48.86	6.03%	51.36	11.45%
	7	1.125	40.665	45.77	12.56%	46.99	15.56%

Kết quả mô phỏng và đánh giá mức độ tiêu hao năng lượng của các trường hợp tính toán được thể hiện trong hình 7 và hình 8. Hình 7 thể hiện sự giảm đi của đại lượng  $\Delta E / E_{max}$  khi lưu lượng tăng lên ứng với cả 3 sơ đồ tính toán. Ngoài ra, sự hiệu quả của việc tiêu hao năng lượng giữa các sơ đồ với nhau trong trường hợp đập có cùng hệ số mái dốc cũng được thể hiện trong hình 8 thông qua góc nghiêng của mái

dốc  $\theta$ . Kết quả chỉ ra rằng sơ đồ (2) và (3) đều cho hiệu quả tiêu hao năng lượng tốt hơn sơ đồ (I) nhưng sự khác nhau giữa sơ đồ (II) và (III) là không nhiều. Kết quả từ hình 7 và 8 chứng minh được tính hiệu quả của việc sử dụng các biện pháp tăng cường tiêu hao năng lượng của dòng chảy (hình 4) so với kiểu bậc nước truyền thống (sơ đồ I) trong bài báo này bằng việc ứng dụng phương pháp số.



Hình 6. Biến đổi của đại lượng  $\Delta E / E_{max}$  với tỷ số  $h_c / h_s$

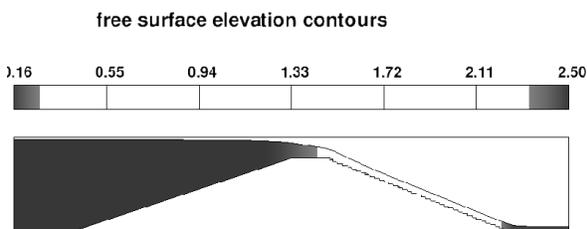


Hình 7. Biến đổi của đại lượng  $\Delta E / E_{max}$  với góc nghiêng của mái dốc

Ưu điểm của phương pháp số đó là có thể cho kết quả tính toán phân bố mực nước, áp suất.v.v... trên toàn miền tính toán mà trong thực tế sẽ gặp khó khăn trong việc đo đạc tại phòng thí nghiệm. Để minh họa kết quả thực

hiện mô phỏng số, hình 8 và 9 thể hiện đường mặt nước và động năng rơi trên bậc nước trong trường hợp tính toán 1 (bảng 1). Sự phát triển động năng rơi thông qua sự phát triển của lớp biên. Chiều dày của lớp biên tăng dần và giao

với đường mặt nước tại một điểm nào đó trên bậc nước. Bắt đầu từ điểm này không khí bắt đầu xâm nhập vào trong dòng chảy, hình thành



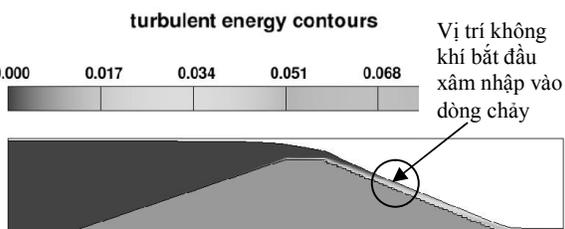
Hình 8. Đường mặt nước (m) trên bậc nước TH tính toán 1

#### 4. KẾT LUẬN

Trong trường hợp dòng chảy tràn qua bậc nước trên mái hạ lưu đập dâng, vấn đề tăng cường hiệu quả tiêu năng cần được xem xét để bảo vệ mái dốc cũng như khu vực chân và hạ lưu đập dâng khỏi xói lở và trượt sạt mái dốc. Nhiều nghiên cứu bằng thí nghiệm mô hình thủy lực và phương pháp số đã được thực hiện và một số kết quả đã được giới thiệu.

Trong phạm vi bài báo, một số sơ đồ bậc nước trên mái hạ lưu đập dâng nhằm tăng cường hiệu quả tiêu hao năng lượng của dòng chảy so với bậc nước kiểu truyền thống được đề cập. Nhằm đánh giá được hiệu quả tiêu hao năng lượng của những sơ đồ này, phương pháp số đã được áp dụng để mô phỏng dòng chảy qua các sơ đồ trên. Kết quả so sánh về lưu lượng, hiệu

quả tiêu năng giữa phương pháp số và các công thức thực nghiệm chỉ ra rằng sai số giữa thực nghiệm và phương pháp số nằm trong phạm vi cho phép. Những kết quả này đảm bảo đủ độ tin cậy để phương pháp số có thể ứng dụng trong các giai đoạn thiết kế ban đầu. Tuy nhiên, do mức độ phức tạp của dòng chảy trên bậc nước là dòng chảy 2 pha và có độ rối cao nên việc ứng dụng phương pháp số vẫn còn có nhiều hạn chế. Các mô hình dòng chảy, đặc biệt là dòng dòng có sự xâm nhập mạnh của không khí vẫn còn thiếu sót và phụ thuộc vào nồng độ không khí trong dòng chảy. Do vậy trong nghiên cứu dòng chảy qua bậc nước nói riêng và dòng chảy đa pha nói chung vẫn cần phải có những nghiên cứu riêng biệt bằng mô hình thủy lực để có kết luận cuối cùng trước khi áp dụng vào thực tế.



Hình 9. Sự phát triển động năng rối ( $m^2/s^2$ ) trên bậc nước trong TH tính toán 1

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Khatsuria R. M. (2005), *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*, Marcel Dekker, Madison Avenue, New York.
- [2]. Chanson H. (2009), *Dams: Impacts, Stability and Design (Chapter4: Embankment overflow protection systems and Earth dam spillways)*, Nova Science Publishers, Inc, Australia.
- [3]. Chanson H., & C. A. Gonzalez. (2004). *Stepped Spillways for Embankment Dams: Review, Progress and Development in Overflow Hydraulics*. Paper presented at the International Conference on Hydraulics of Dams and River Structures. Tehran, Iran.
- [4]. Ohtsu I., et al. (2004). *Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 130(9), 860-869.
- [5]. Gonzalez C. A. (2005). *An Experimental Study of Free-surface Aeration on Embankment Stepped Chutes* Ph.D Thesis, The University of Queensland Brisbane, Australia

- [6]. Gonzalez C. A, & H. Chanson. (2006). *Flow Resistance and Design Guidelines for Embankment Stepped Chutes*. Paper presented at the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century, ICOLD-SPANCOLD.Barcelona, Spain.
- [7]. Chow VT. (1959). *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill Book Company Inc, New York, US.
- [8]. Chanson Hubert. (1994). *Comparison of energy dissipation between nappe and skimming flow regimes on stepped chutes*. Journal of Hydraulic Research, Vol 32(2), 213-218.
- [9]. Felder S., & H. Chanson. (2013). *Aeration, Flow Instabilities, and Residual Energy on Pooled Stepped Spillways of Embankment Dams*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol 139(10), 880-887.
- [10]. Shukur A.H., et al. (2014). *Flow Characteristics and Energy Dissipation Losses in Different Configurations of Steps of Stepped Spillway*. International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, Vol 3(1), 8823-8832.
- [11]. Gonzalez C. A, & H. Chanson. (2007). *Hydraulic Design of Stepped Spillways and Downstream Energy Dissipators for Embankment Dams*. Dam Engineering, Vol 22(4), 223-244.
- [12]. Chinnarasri Chaiyuth, et al. (2012). *Model of flow over spillways by computational fluid dynamics*. Proceedings of the ICE - Water Management, Vol 167(3), 164-175.
- [13]. Rad I.N., & M. Teimouri. (2010). *An Investigation of Flow Energy Dissipation in Simple Stepped Spillways by Numerical Model*. European Journal of Scientific Research, Vol 47(4), 544-553.
- [14]. Tabbara Mazen, et al. (2005). *Computational simulation of flow over stepped spillways*. Computers & Structures, Vol 83(27), 2215-2224.
- [15]. Kixelep P.G., et al. (1979). *Sổ tay tính toán thủy lực (Bản tiếng Việt)*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, Việt Nam.

**Abstract:**

**ENERGY DISSIPATION OF THE FLOW OVER STEPPED CASCADE ON  
DOWNSTREAM SLOPE IN EMBANKMENT DAMS**

*The flow over downstream slope of embankment dams could cause erosion and unsafety for the dams. A number of overtopping protection systems were researched and developed for embankment dams such as minimum energy loss (MEL) weirs, embankment overflow, stepped spillways, precast concrete block protection systems, etc. Each method has its own advantages and disadvantages. On of the issues in this case is the effect of energy dissipation of overtopping protection systems. In this study, the application of overflow concrete stepped spillway to protect overtopping in embankment and the enhancement energy dissipation scheme will be introduced. Additionally, the numerical method also will used along with two phases mixture model and  $k-\varepsilon$  turbulence model to simulate the free flow over stepped spillway. The influence of some enhancement schemes and embankment slopes on the energy dissipation are also investigated in this work.*

**Keywords:** stepped spillway, embankment dam, energy dissipation, slope protection, numerical modeling, two phases flow.

---

Người phản biện: PGS.TS. Nguyễn Cao Đơn

BBT nhận bài: 07/7/2014

Phản biện xong: 03/9/2014