

NGHIÊN CỨU SỰ PHÂN BỐ LƯU TỐC THEO PHƯƠNG ĐỨNG TRONG ĐOẠN SÔNG GÀNH HÀO (BẠC LIÊU) STUDY ON THE VERTICAL VELOCITY DISTRIBUTION IN THE GANH HAO RIVER (BAC LIEU PROVINCE)

Huỳnh Thanh Sơn - Vũ Chí Sơn

Khoa Kỹ thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh

BẢN TÓM TẮT

Nội dung chủ yếu của bài báo là tính sự phân bố lưu tốc (u, v) theo chiều sâu z (với giả thiết lưu tốc phân bố theo qui luật logarith) sau khi đã tính trường lưu tốc trung bình (U, V) nhờ áp dụng một mô hình toán số 2DH cho dòng chảy trong đoạn sông Gành Hào (tỉnh Bạc Liêu). Kết quả tính (u, v) này được so sánh với kết quả đo đạc thực tế.

ABSTRACT

The main content of the paper is to determine the vertical distribution of two velocity components (u, v) (using the logarithmic velocity distribution assumption) after having applied a depth-averaged numerical model (2DH) to compute the depth-averaged flow velocity field (U, V) for the Ganh Hao river (Bac Lieu province). These results of (u, v) calculation are then compared with the field data.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, việc áp dụng các mô hình toán số tính trường lưu tốc trung bình theo chiều sâu (gọi tắt là mô hình 2DH) đã trở nên phổ biến khi nghiên cứu các bài toán dòng chảy trong sông và vùng ven biển. Tuy nhiên, kết quả nhận được từ các mô hình này bị hạn chế ở chỗ chỉ xác định được trường lưu tốc trung bình theo chiều sâu và trường ứng suất tiếp trung bình do ma sát, chưa đáp ứng được yêu cầu nghiên cứu sâu hơn về sự khởi động và chuyển tải bùn cát trên đáy lòng dẫn.

Bài báo này trình bày sơ lược trước hết một mô hình toán số 2DH để tính trường lưu tốc trung bình của dòng chảy. Sau đó, và cũng là nội dung chính của bài báo, dựa vào giả thiết phân bố lưu tốc trên phương thẳng đứng theo qui luật logarith để suy diễn ra trường lưu tốc theo chiều sâu. Tiếp theo, bài báo trình bày một số kết quả so sánh giữa lưu tốc tính toán và lưu tốc đo đạc thực tế trong đoạn sông Gành Hào (tỉnh Bạc Liêu) với một số nhận xét và kết luận.

2. HỆ PHƯƠNG TRÌNH MÔ TẢ DÒNG CHẢY 2DH

Hệ phương trình (PT) mô tả dòng chảy là hệ PT Saint-Venant 2DH, bao gồm PT liên tục và hai PT động lượng theo hai phương nằm ngang x và y , với ba ẩn số là chiều sâu nước h , lưu tốc trung bình theo chiều sâu U (theo phương x) và V (theo phương y), không kể đến lực Coriolis và tác dụng của gió:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hU)}{\partial x} + \frac{\partial(hV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + g \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gn^2}{h^{4/3}} U \sqrt{U^2 + V^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) + g \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gn^2}{h^{4/3}} V \sqrt{U^2 + V^2} = 0 \quad (3)$$

Trong đó:

ρ : khối lượng riêng của nước, g : gia tốc trọng trường,

n : hệ số nhám Manning, a : cao độ đáy lòng dẫn

E : hệ số nhớt rối, với

E_{xx} theo hướng pháp tuyến với mặt phẳng trục x ,

E_{yy} theo hướng pháp tuyến với mặt phẳng trục y ,

E_{xy} và E_{yx} theo hướng tiếp tuyến với mặt phẳng trục x và y .

Khi dòng chảy được xem là đẳng hướng thì $E_{xx} = E_{yy} = E_{xy} = E_{yx} = E$.

Hệ PT (1), (2) và (3) được giải với các điều kiện biên sau:

- Trên biên bờ sông, điều kiện biên là thành phần vận tốc pháp tuyến $U_n = 0$.

- Trên biên thượng và hạ lưu của đoạn sông nghiên cứu, điều kiện biên là các đường quá trình lưu lượng $Q(t)$ và mực nước $h(t)$ tương ứng.

Hệ PT (1), (2) và (3) được giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn theo dạng thẳng dư gia trọng của Galerkin mà chi tiết có thể được tìm thấy trong [1].

3. Quan hệ giữa lưu tốc trung bình (U,V) và sự phân bố lưu tốc theo chiều sâu (u,v)

Trong dòng chảy ổn định một chiều (theo x) và một thứ nguyên (theo z), sự phân bố lưu tốc u theo phương thẳng đứng được chứng minh là tuân theo qui luật logarith [3]:

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (4)$$

Trong đó:

u_* là vận tốc ma sát đáy, $\kappa = 0,4$ là hằng số von Karman, z_0 là giá trị tùy thuộc trạng thái chảy rối là thành nhân thủy lực (khi số Reynolds $Re_* = u_* k_s / \nu \leq 5$, $z_0 = 11,6\nu / u_*$), thành nhân thủy lực (khi $Re_* = u_* k_s / \nu \geq 70$, $z_0 \cong 30/k_s$, k_s là độ nhám tương đương của Nikuradse) hay chuyển tiếp (khi $5 < Re_* < 70$).

Lưu tốc trung bình theo chiều sâu U được tính như sau:

$$U = \frac{1}{h - z_0} \int_{z_0}^h u dz = \frac{1}{h - z_0} \int_{z_0}^h \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} dz = \frac{1}{h - z_0} \cdot \frac{u_*}{\kappa} \left[h \ln \frac{h}{z_0} - (h - z_0) \right] \\ \cong \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \frac{h}{z_0} - 1 \right] \quad (4)$$

Từ (4) ta có $u_* / \kappa = u / \ln(z/z_0)$, thay vào (5) thì được:

$$U = \frac{u}{\ln(z/z_0)} \left(\ln \frac{h}{z_0} - 1 \right) \\ \Rightarrow u(z) = \frac{U}{\ln(h/z_0) - 1} \ln \frac{z}{z_0} \quad (6)$$

Chứng minh tương tự ta được:

$$v(z) = \frac{V}{\ln(h/z_0) - 1} \ln \frac{z}{z_0} \quad (7)$$

4. ÁP DỤNG

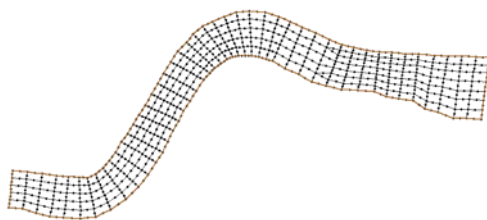
4.1 Tính toán trường lưu tốc (U,V)

Mô hình toán số 2DH trình bày ở trên được áp dụng vào sông Gành Hào, đoạn chảy qua thị trấn Gành Hào (huyện Đông Hải, tỉnh Bạc Liêu). Đoạn sông nghiên cứu có chiều dài khoảng 3450 m. Trên đoạn sông này, một đợt khảo sát đo đạc thủy văn đã được thực hiện trong tháng 4 năm 1998, trong đó có việc đo lưu tốc ở 5 điểm theo phương thẳng đứng và mực nước tại một số mặt cắt. Những kết quả đo đạc nói trên được trình bày chi tiết trong [2].

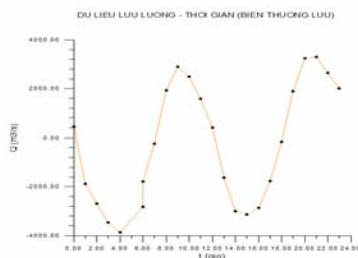
Lưới tính toán được chia thành 247 phần tử hình chữ nhật (mỗi phần tử có 8 nút) và 2 phần tử hình tam giác (mỗi phần tử có 6 nút) (hình 1). Cao độ lòng sông được rời rạc hóa trên bản đồ địa hình thực và được nội suy để tạo ra bản đồ địa hình tính toán. Các điều kiện biên của đoạn sông nghiên cứu: biên thượng lưu là quá trình lưu lượng $Q(t)$ (hình 2), biên hạ lưu là quá trình mực nước $h(t)$ (hình 3). Số liệu đo đạc được lấy từ 1 giờ đến 24 giờ ngày 16/4/1998.

Các thông số như hệ số nhớt rối E_{ij} , hệ số nhám n , độ chính xác trong quá trình tính lặp, số lần tính lặp cho phép, v.v... được chọn sao cho bảo đảm sự hội tụ và ổn định của lời giải số.

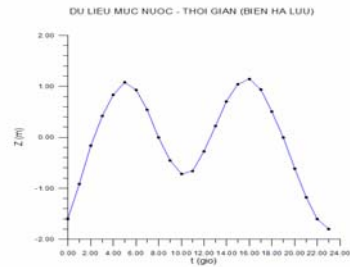
Kết quả tính toán chi tiết được trình bày trong [1]. Các hình 4 và 5 dưới đây trình bày kết quả tính trường lưu tốc trung bình (U , V) theo chiều sâu tại thời điểm $t = 5$ giờ (lúc triều max, nước chảy từ biển vào) và $t = 21$ giờ (lúc lưu lượng sông max và triều kém, nước chảy từ sông ra). Vận tốc dòng chảy max tìm thấy là 1,84 m/s tại vị trí cách bờ trái khoảng 65 m và cách biên hạ lưu khoảng 700 m.



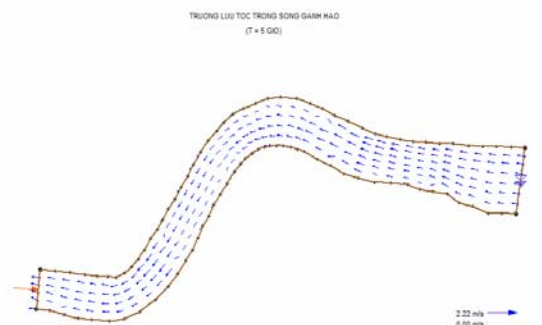
Hình 1 Lưới phân tử hữu hạn cho đoạn sông Gành Hào nghiên cứu



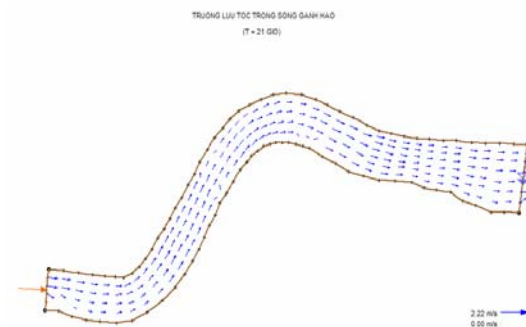
Hình 2 Dữ liệu $Q(t)$ ở biên thượng lưu



Hình 3 Dữ liệu $H(t)$ ở biên hạ lưu



Hình 4



Hình 5

4.2 Tính toán sự phân bố lưu tốc theo phương thẳng đứng

Nhờ các biểu thức (6) và (7), có thể suy ra giá trị vận tốc (u , v) tại từng cao độ trong dòng chảy. Ở đây, chúng tôi lấy 5 cao độ kể từ đáy sông ứng với $z = 0,1$ m; $0,2$ h; $0,6$ h; $0,8$ h và h , phù hợp với các độ sâu đo đạc thực tế.

Có một số tác giả đã đề nghị những phương pháp liên quan đến việc xác định hai thông số z_0 và u_* trong (6) và (7) như Einstein (1950), Swannee & Jain (1976), Brownlie (1981),

v.v... Điểm giống nhau của các phương pháp này là phải tính thử dần trong quá trình tính toán vì không thể xác định trực tiếp trạng thái chảy rối. Còn điểm khác nhau là có phương pháp chỉ cho phép tính hệ số ma sát f rồi suy ra $u_* = U(f/8)^{1/2}$ theo Darcy-Weisbach, có phương pháp cho phép tính z_0 rồi suy ra $u_* = U/[\ln(h/z_0) - 1]$.

Căn cứ vào yêu cầu tính toán, trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng phương pháp của Einstein mà nội dung được trình bày tóm tắt sau đây:

Einstein đề nghị lấy $z_0 = k_s/30X = d_{65}/30X$, trong đó X là hệ số hiệu chỉnh kể đến trạng thái chảy rối. Giá trị của X phụ thuộc tỉ số k_s/δ , với $\delta = 11,6 \nu/u_*$ là chiều dày lớp biên chảy tầng. Sự thay đổi của X theo k_s/δ được Einstein trình bày dưới dạng đồ thị [3].

Để thuận tiện cho việc tính toán bằng máy tính, đường cong $X(k_s/\delta)$ được xấp xỉ dưới dạng các hàm số bậc nhất như sau:

- Trạng thái chảy rối thành trơn thủy lực (Rối TTTL):

$$\begin{aligned} k_s/\delta \leq 0,48 & \quad X = 2,424(k_s/\delta) + 0,238 \\ 0,48 \leq k_s/\delta \leq 0,61 & \quad X = 0,770(k_s/\delta) + 1,030 \\ 0,61 \leq k_s/\delta \leq 1,00 & \quad X = 0,256(k_s/\delta) + 1,344 \end{aligned}$$

- Trạng thái chảy rối chuyển tiếp (Rối CT):

$$\begin{aligned} 1,00 \leq k_s/\delta \leq 1,50 & \quad X = -0,100(k_s/\delta) + 1,700 \\ 1,50 \leq k_s/\delta \leq 2,90 & \quad X = -0,250(k_s/\delta) + 1,925 \\ 2,90 \leq k_s/\delta \leq 6,60 & \quad X = -0,054(k_s/\delta) + 1,350 \end{aligned}$$

- Trạng thái chảy rối thành nhám thủy lực (Rối TNTL):

$$6,60 \leq k_s/\delta \quad X = 1,000$$

Trong tính toán, lấy $d_{65} = 0,02$ mm dựa vào đường cong cấp phối hạt trên đáy sông tại vị trí đo lưu tốc đang xét.

Đối với mỗi thời điểm tính toán, z_0 và u_* được xác định theo trình tự sau:

- Giả sử trạng thái chảy rối thành nhám thủy lực để có $X = 1$.

- Tính $z_0 = k_s/30X = d_{65}/30$ với $k_s = d_{65} = 0,02$ mm.

- Tính $u_* = U/[\ln(h/z_0) - 1]$.

- Tính $\delta = 11,6 \nu/u_*$.

- Tính tỉ số k_s/δ .

- Kiểm tra trạng thái chảy: nếu thỏa thì dùng tính, nếu không thỏa thì tính lại X với giá trị k_s/δ tìm được và kiểm tra trạng thái chảy

mới. Việc tính toán sẽ được dừng khi X không thay đổi sau hai lần tính liên tiếp.

Cách tính này được áp dụng vào 24 giờ mô phỏng với mô hình 2DH nói trên. Trong các bảng kết quả dưới đây, các đại lượng có đơn vị như sau: z_0 (mm), h (m), z (m), U (m/s), u_* (m/s), u_{do} (m/s), $u_{tính}$ (m/s). Sai số SS (%) được định nghĩa như là tỉ số $(u_{tính} - u_{do})/u_{do}$. Hình 6 dưới đây chỉ trình bày kết quả ứng với những giờ lẻ (1, 3, 5, 7 giờ, ...).

5. NHẬN XÉT VÀ KẾT LUẬN

So sánh giữa kết quả tính và kết quả đo, có thể rút ra một số nhận xét sau đây:

- Dòng chảy trong 24 giờ mô phỏng là dòng chảy rối thành trơn thủy lực, không có trường hợp nào là rối thành nhám thủy lực như thường được giả định trong rất nhiều tính toán. Đây có thể là do kích thước hạt bùn cát ở đáy sông rất bé (bùn).

- Mặc dù sai biệt giữa kết quả tính và đo thay đổi tùy theo cao độ từ đáy đến mặt nhưng tại nhiều thời điểm, sai số giữa tính toán và đo đặc là có thể chấp nhận được. Tất nhiên có thể điều chỉnh mô hình toán số 2DH thêm nữa để cho kết quả phù hợp hơn.

- Hình dạng hai profil vận tốc thường khác nhau ở phần gần mặt nước trong những thời điểm dòng chảy đổi chiều (quanh khoảng 6 giờ, 12 giờ, 18 giờ, 24 giờ). Thật vậy, profil vận tốc theo qui luật phân bố logarit luôn tăng theo chiều cao từ đáy sông lên mặt nước; còn profil dòng chảy thực, do quán tính của dòng chảy từ sông ra biển hay ngược lại, vẫn còn ảnh hưởng tới khối nước trong sông nên thường tạo ra sự sai khác vào những thời điểm này.

Để có thể đưa ra một kết luận chắc chắn và thuyết phục hơn về việc giả định sự phân bố vận tốc theo phương đứng tuân theo qui luật logarit trong sông chịu ảnh hưởng triều cũng giống như trong dòng chảy ổn định, cần phải nghiên cứu thêm một số trường hợp thực tế nữa. Điều này cần đến số liệu đo đạc profil vận tốc theo chiều sâu trong những sông chịu ảnh hưởng triều.

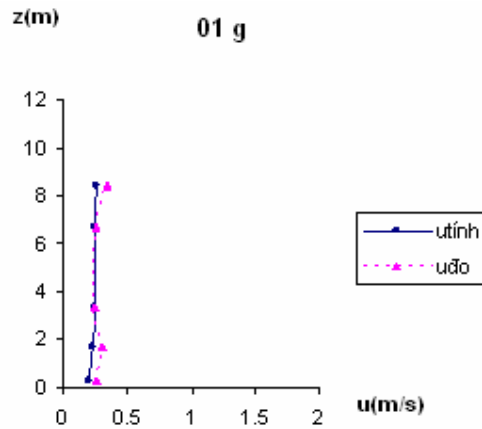
TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Huỳnh Thanh Sơn (2005b). Nghiên cứu dòng chảy trong đoạn sông Gành Hào bằng mô hình toán số 2DH. *Tuyển tập Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam 2004*, TP. HCM, 2004, tr. 290-301.

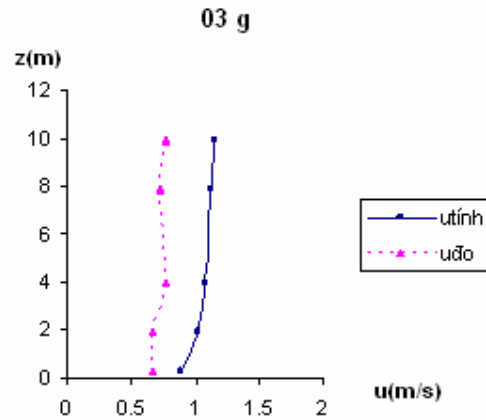
2. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (1998). Báo cáo kết quả khảo sát đo đạc thủy văn, bãi vắn sông Gành Hào và ven biển khu vực thị trấn Giá Rai, huyện Giá Rai, tỉnh Bạc Liêu.

3. Chang H. H.(1988). Fluvial processes in river engineering. Krieger Publishing Company.

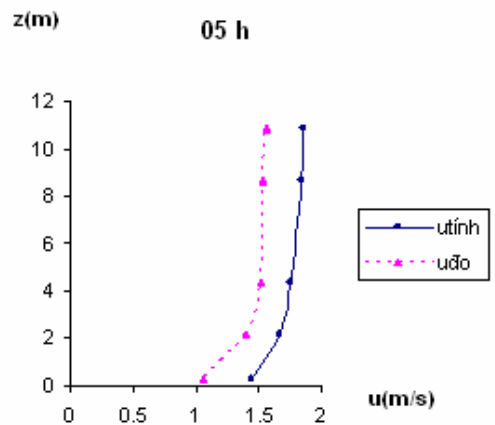
t = 01 g	X = 0.267	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.007$
h = 8.4	U = 0.242	$k_s/\delta = 0.012$	Rôi TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.268	0.202	24.6
1.68	0.304	0.231	24.0
3.36	0.245	0.243	0.8
6.72	0.268	0.255	4.9
8.40	0.346	0.259	25.1



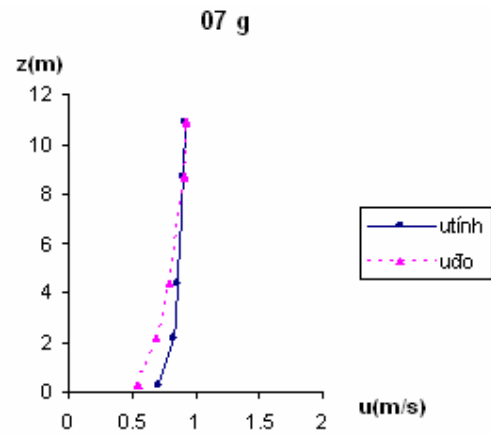
t = 03 g	X = 0.362	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.030$
h = 9.86	U = 1.072	$k_s/\delta = 0.051$	Rôi TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.673	0.888	31.9
1.97	0.673	1.027	52.6
3.94	0.779	1.078	38.4
7.89	0.736	1.130	53.5
9.86	0.772	1.146	48.4



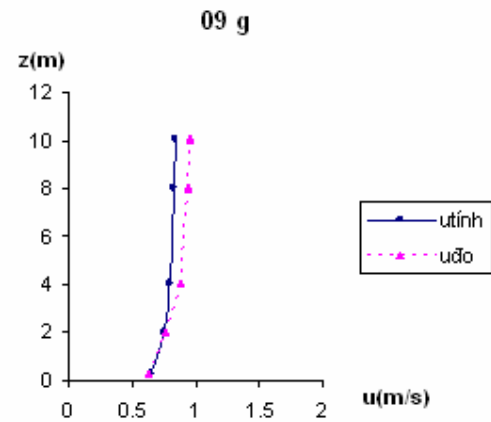
t = 05 g	X = 0.	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.047$
h = 10.82	U = 1.740	$k_s/\delta = 0.081$	Rôi TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	1.056	1.435	35.9
2.16	1.391	1.668	19.9
4.33	1.512	1.750	15.7
8.66	1.536	1.831	19.2
10.82	1.561	1.858	19.0



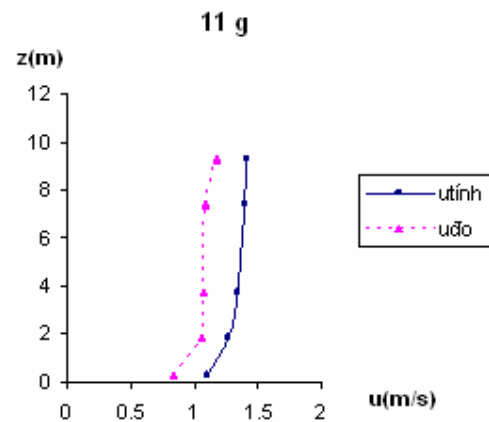
t = 07 g	$X = 0.336$	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.024$
$h = 10.85$	$U = 0.854$	$k_s/\delta = 0.041$	Rôlî TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.550	0.702	27.6
2.17	0.693	0.819	18.2
4.34	0.791	0.859	8.6
8.68	0.905	0.900	0.6
10.85	0.932	0.913	2.0



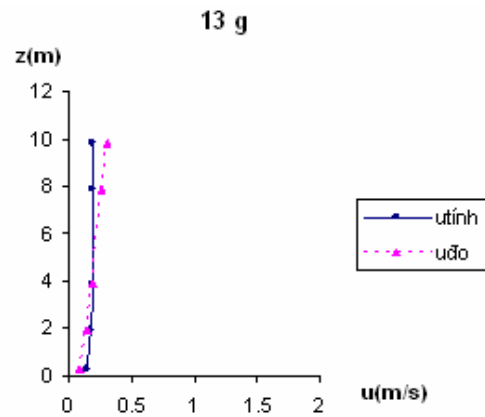
t = 09 g	$X = 0.329$	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.022$
$h = 10.04$	$U = 0.788$	$k_s/\delta = 0.038$	Rôlî TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.627	0.651	3.8
2.01	0.768	0.754	1.8
4.02	0.882	0.792	10.2
8.03	0.940	0.830	11.7
10.04	0.961	0.842	12.4



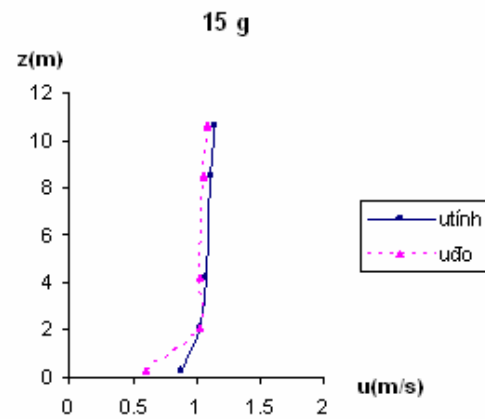
t = 11 g	$X = 0.391$	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.037$
$h = 9.27$	$U = 1.325$	$k_s/\delta = 0.063$	Rôlî TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.842	1.103	31.0
1.85	1.056	1.270	20.3
3.71	1.073	1.333	24.2
7.42	1.090	1.396	28.1
9.27	1.173	1.417	20.8



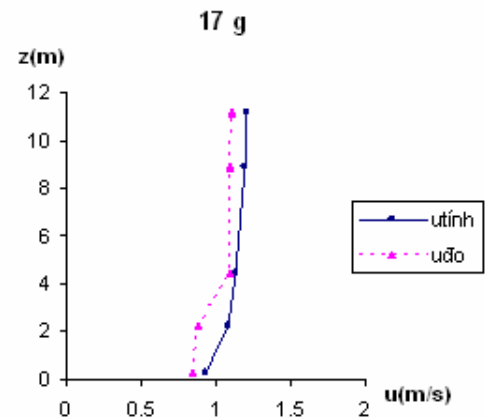
t = 13 g	X = 0.260	$z_0 = 0.003$	$u_* = 0.005$
h = 9.8	U = 0.185	$k_g/\delta = 0.009$	Rôl TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.086	0.153	77.9
1.96	0.154	0.177	14.9
3.92	0.184	0.186	1.1
7.84	0.268	0.195	27.2
9.80	0.304	0.198	34.9



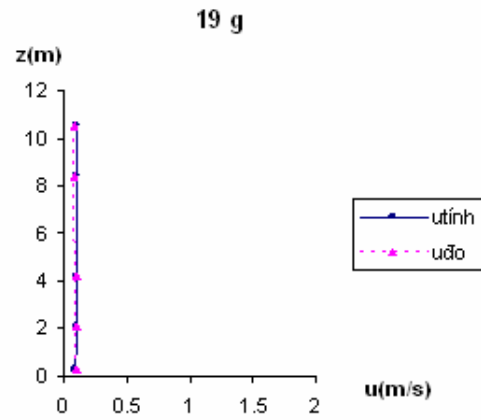
t = 15 g	X = 0.360	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.029$
h = 10.59	U = 1.066	$k_g/\delta = 0.051$	Rôl TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.604	0.879	45.5
2.12	1.024	1.022	0.2
4.24	1.024	1.072	4.7
8.47	1.056	1.123	6.3
10.59	1.090	1.139	4.5



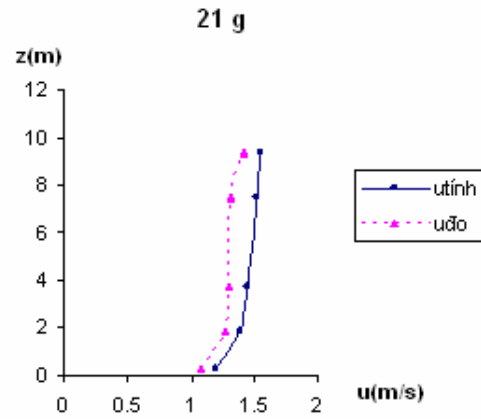
t = 17 g	X = 0.367	$z_0 = 0.002$	$u_* = 0.031$
h = 11.13	U = 1.129	$k_g/\delta = 0.053$	Rôl TTTL
z	$u_{đo}$	$u_{tính}$	SS(%)
0.30	0.842	0.928	10.2
2.23	0.882	1.082	22.7
4.45	1.090	1.136	4.2
8.90	1.090	1.189	9.1
11.13	1.101	1.207	9.6



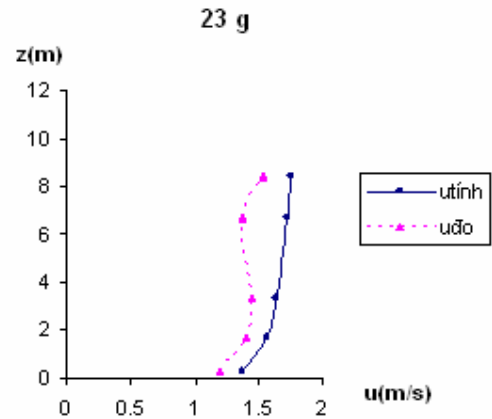
t = 19 g	X = 0.25	z ₀ = 0.003	u* = 0.003
h = 10.49	U = 0.103	k _s /δ = 0.005	Rôi TTTL
z	u _{đo}	u _{tính}	SS(%)
0.30	0.105	0.085	19.0
2.10	0.100	0.099	1.0
4.20	0.097	0.104	7.2
8.39	0.090	0.109	21.1
10.49	0.093	0.110	18.3



t = 21 g	X = 0.404	z ₀ = 0.002	u* = 0.040
h = 9.38	U = 1.442	k _s /δ = 0.068	Rôi TTTL
z	u _{đo}	u _{tính}	SS(%)
0.30	1.081	1.200	11.0
1.88	1.276	1.382	8.3
3.75	1.295	1.451	12.0
7.50	1.314	1.519	15.6
9.38	1.412	1.541	9.1



t = 23 g	X = 0.426	z ₀ = 0.002	u* = 0.045
h = 8.39	U = 1.632	k _s /δ = 0.078	Rôi TTTL
z	u _{đo}	u _{tính}	SS(%)
0.30	1.197	1.369	14.4
1.68	1.398	1.563	11.8
3.36	1.444	1.641	13.6
6.71	1.376	1.719	24.9
8.39	1.528	1.745	14.2



Hình 6 So sánh giữa kết quả tính và kết quả đo