

## MỘT SỐ THÍ NGHIỆM VỀ DÒNG CHẢY RIVER PLUME

DƯƠNG NGỌC HẢI, NGUYỄN TÁT THẮNG

Viện Cơ học

**Tóm tắt:** Nghiên cứu về dòng chảy river plume (viết tắt: RP) nói riêng và dạng dòng chảy dưới tác dụng của trọng lực (hay còn gọi là các dòng gravity currents; viết tắt: GC) nói chung đã được Thế giới thực hiện trong nhiều năm qua nhưng còn khá mới mẻ ở Việt Nam. Bài báo này trình bày tổng quan về các dòng chảy gravity current nói chung và dòng RP nói riêng, cùng một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm và phân tích lý thuyết dòng chảy RP dạng nổi trên bề mặt. Các thí nghiệm vật lý được thực hiện với các mô hình vật lý (flume model) mô phỏng dòng chảy RP nổi, hai chiều trong mặt cắt theo phương thẳng đứng và có kích cỡ thu nhỏ trong phòng thí nghiệm. Nước muối được sử dụng để tạo ra môi trường xung quanh cho dòng RP, nước sinh hoạt được sử dụng để tạo ra RP. Các đầu đo vận tốc và hệ thống camera với phần mềm phân tích trường vận tốc PIV (Particle Imaging Velocimetry) và PTV (Particle Tracking Velocimetry) đã được sử dụng để tính toán trường vận tốc. Kết quả thu được sử dụng để nghiên cứu các cấu trúc dòng chảy và cấu trúc rối trong dòng RP. Mục tiêu hướng tới tiếp theo là nghiên cứu các cấu trúc dòng chảy và cấu trúc rối khi có mặt bùn cát và các chất lơ lửng từ đó có thể hiểu được các đặc trưng của dòng chảy và mối liên hệ của chúng với sự có mặt của bùn cát cũng như các cơ chế vận tải bùn cát trong dòng RP.

Bên cạnh đó, độ sâu mà tại đó nước ngọt tách khỏi đáy hình thành RP nổi (độ sâu tại điểm phân tách) đã được đo đạc. Sử dụng phân tích thứ nguyên và các số liệu đo đạc, một công thức bán thực nghiệm đã được đề xuất để tính toán độ sâu này trong trường hợp tổng quát. Các so sánh kết quả tính toán sử dụng công thức này với các số liệu đo của các thí nghiệm khác và các số liệu đo đạc thực tế các RP tại một số cửa sông trên Thế giới (đã được công bố trên các tạp chí Quốc tế có uy tín) cho thấy công thức được đề xuất cho kết quả tốt.

**Từ khóa:** Gravity current (Density current), River Plume, PIV (PTV), Phân tích thứ nguyên (Dimensional analysis), Detachment depth.

## I. GIỚI THIỆU

### 1. Dòng chảy trọng trường

Dòng chảy RP thuộc về lớp dòng chảy trọng trường đã được định nghĩa theo một số cách tương đương trong nhiều tài liệu nghiên cứu và các công trình công bố Quốc tế. Theo Middleton G.V. [1]: “Các dòng chảy do trọng trường (hay tương ứng là do mật độ) là một lớp tổng quát các dòng chảy (cũng được biết đến như là các dòng chảy phân tầng về mặt vĩ

mô), trong đó dòng chảy xảy ra do những sự khác biệt tương đối nhỏ về khối lượng riêng - mật độ giữa hai chất lỏng”. Có một số dạng biểu hiện của các dòng chảy GC trong chất lỏng chứa chúng hay chất lỏng môi trường bao gồm: trên bề mặt, ở giữa hay dưới đáy. Sự khác biệt về khối lượng riêng có thể do một số nguyên nhân chẳng hạn như sự khác biệt về thành phần, độ mặn hoặc nhiệt độ [1]. Hình ảnh thí nghiệm của một GC trên bề mặt có thể thấy trên hình 1. Dòng chảy RP (hình 2) là một dạng GC trên bề mặt được hình thành khi nước từ các sông đổ ra biển. Thông thường do nước sông có khối lượng riêng nhỏ hơn nước biển nên dòng RP là dòng GC trên bề mặt.



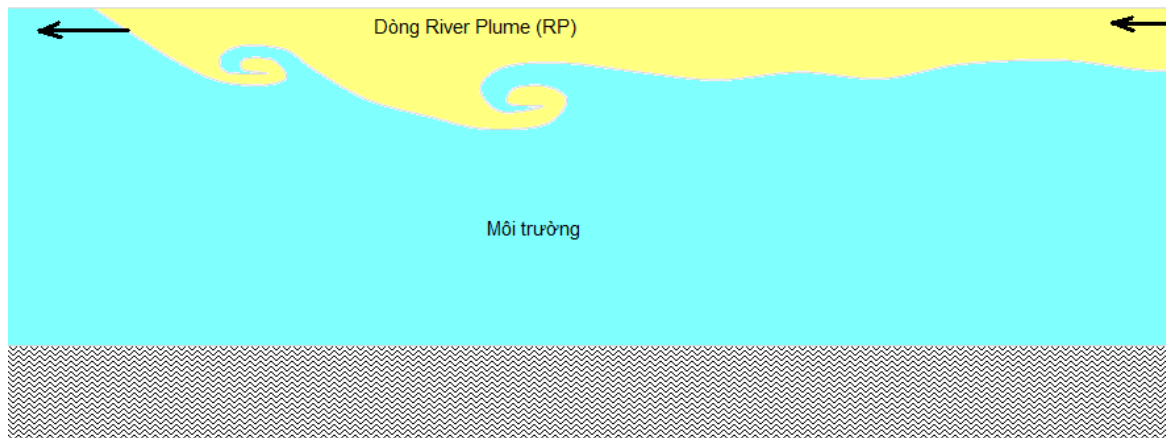
**Hình 1:** Một hình ảnh thí nghiệm dòng chảy gravity current trên bề mặt [2]

Cấu trúc của một dòng GC có thể được mô tả chung như sau. Dòng GC có phần đầu phân biệt khá rõ ràng với phần còn lại (phần thân). Ở mặt trước của phần đầu có các bất ổn định dưới dạng các khe xen kẽ và dạng cuộn. Động lực học của phần đầu có ảnh hưởng quan trọng đến phần dòng chảy nổi tiếp theo sau. Thường có một mặt tiếp xúc rất rõ nét giữa phần thân của dòng GC và môi trường xung quanh. Đầu của dòng GC chuyển động với một vận tốc hằng số tuân theo số Froude của phần đầu [1, 3-5]. Ở đây, số Froude (hay chính xác hơn là số Froude hiệu chỉnh) của phần đầu được định nghĩa như sau:  $Fr' = U/(g'H)^{1/2}$ . Trong đó,  $U$  là vận tốc của phần đầu;  $g'$  là gia tốc trọng trường đã được hiệu chỉnh ( $g' = g \times \frac{\Delta\rho}{\rho}$ ), với  $\rho$  là mật độ môi trường;  $H$  là bề dày của phần đầu dòng GC.

Nghiên cứu thực nghiệm và phân tích lý thuyết đã chỉ ra rằng giá trị của  $Fr'$  của dòng GC xấp xỉ bằng 1.0.  $Fr'$  có giá trị trong khoảng từ 0.7 đến 1.4.

Dòng chảy GC được nghiên cứu áp dụng rộng vào các tình huống cụ thể từ chuyển động của tuyết lở từ các sườn đồi núi, chuyển động của dầu tràn ở các biển và đại dương, truyền tải bùn cát ở các vùng nước sâu (hay còn gọi là các dòng đục), cho đến truyền tải

và lắng đọng bùn cát trong các dòng RP từ sông vào các biển và các đại dương [6].



**Hình 2:** Hình ảnh một dòng RP (gồm phần đầu và thân)

## 2. Dòng chảy river plume



**Hình 3:** Ảnh chụp từ vệ tinh dòng chảy RP từ sông Mississippi ở khu vực Bắc Mỹ  
(nguồn: <http://earthobservatory.nasa.gov>)

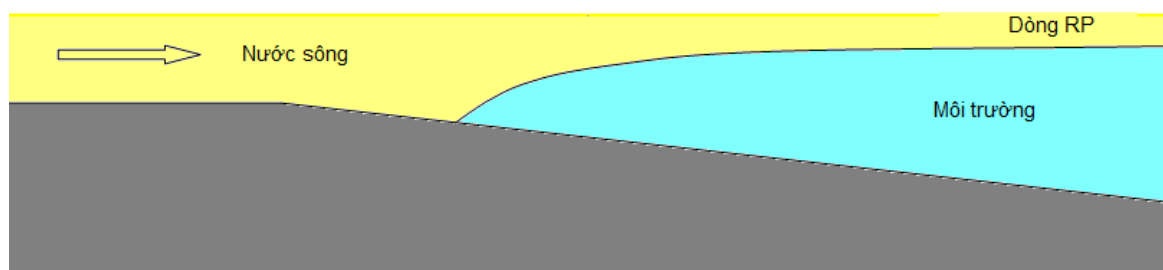
Khoảng 90% bùn cát và các chất hữu cơ lơ lửng từ các lục địa truyền tải vào các biển và đại dương qua các sông và các dòng RP hình thành từ các cửa sông góp phần phát

tán một phần quan trọng lượng bùn cát ra khỏi vùng gần bờ. Cuối cùng bùn cát và các chất hữu cơ lơ lửng sẽ lắng đọng, tích lũy trên đáy biển hoặc đại dương và có thể hình thành các mỏ hydrocarbon, có ý nghĩa đối với phân bố các mỏ dầu khí trên biển. Hiện nay có tới 50% dầu mỏ khai thác trên Thế giới là từ các mỏ dầu ngoài khơi [7]. Hình 3 là một ảnh chụp từ vệ tinh cho thấy dòng chảy RP ở vùng sông Mississippi.

Hình 4 cho thấy một hình ảnh chụp theo phương ngang phần đầu và phần thân của một dòng RP sử dụng sóng siêu âm với cấu trúc của dòng chảy thông qua những sự khác biệt về mật độ hay các tính chất khác nhau giữa nước ngọt và nước biển. Hình 5 thể hiện phần thân dòng RP gần với phần cửa sông. Điểm mà tại đó nước ngọt từ sông tách khỏi đáy nổi lên bề mặt hình thành dòng chảy RP được gọi là điểm phân tách, rất được quan tâm trong nghiên cứu về dòng chảy RP do xung quanh vùng này chuyển động rối xảy ra mạnh mẽ và có ảnh hưởng quan trọng đến sự truyền tải, khuấy động và cùng với lắng đọng bùn cát và các chất hữu cơ lơ lửng được mang theo trong nước sông.



**Hình 4:** Ảnh chụp theo phương ngang phần đầu và thân dòng RP ở cửa sông Fraser, Canada



**Hình 5:** Sơ đồ mặt cắt thẳng đứng vùng cửa sông và một phần thân của một dòng RP

Trong dòng chảy RP, có một mối quan hệ giữa các chuyển động rối trong dòng chảy và vận tải bùn cát và các chất lơ lửng. Rối có vai trò cơ bản trong việc giữ bùn cát và các chất khác luôn ở trạng thái chuyển động lơ lửng và được mang theo cùng dòng RP phát tán rất xa vào các biển và đại dương. Do đó nghiên cứu về các cấu trúc chuyển động (các cấu trúc rối), quá trình vận tải bùn cát và mối liên hệ giữa chúng có vai trò quan trọng trong nghiên cứu về dòng chảy RP. Với các nghiên cứu thực nghiệm, các mô hình thí nghiệm với kích cỡ thu nhỏ trong phòng thí nghiệm có thể mô hình hoá dòng chảy RP trong tự nhiên [8]. Nghiên cứu dòng chảy RP có thể sử dụng các mô hình thực nghiệm vật lý thu nhỏ với kích cỡ trong phòng thí nghiệm hay các phương pháp mô phỏng số trên cơ sở giải số hệ phương trình Navie - Stokes Trong mô phỏng số dòng chảy và truyền tải chất, lắng đọng bùn cát và các chất lơ lửng, các tính chất và các cấu trúc dòng chảy tại mặt phân cách giữa dòng RP và môi trường có ảnh hưởng cơ bản đến kết quả mô phỏng. Trong một số trường hợp (phụ thuộc vào chênh lệch khối lượng riêng), rối tại mặt phân cách đóng vai trò hết sức quan trọng và ảnh hưởng đến sự trộn lẫn giữa dòng RP và môi trường. Trong một số trường hợp khác khi dòng chảy phân tầng mạnh mẽ thì rối lại gần như bị dập tắt hoàn toàn và tính chất dòng chảy lại có những khác biệt lớn so với các trường hợp trên. Vấn đề này hiện vẫn chưa được hiểu biết đầy đủ, đang được tiếp tục nghiên cứu chủ yếu với việc sử dụng các mô hình thực nghiệm vật lý thu nhỏ trong phòng thí nghiệm và các quan sát, đo đạc các dòng RP ngoài hiện trường với các thiết bị ngày càng được cải tiến nâng cao độ phân giải về không gian và thời gian [9 - 11].

Gần đây, cùng với sự phát triển của kỹ thuật chụp ảnh và máy tính, phần mềm người ta có thể nghiên cứu tương đối chi tiết các cấu trúc chuyển động và cấu trúc rối, truyền tải bùn cát và mối liên hệ giữa hai quá trình này trong các dòng chảy GC nói chung và dòng chảy RP nói riêng.

### **3. Nội dung và kết quả nghiên cứu trình bày trong bài báo này**

Bài báo này trình bày một số kết quả đo đạc, phân tích thực nghiệm mô hình dòng chảy RP với kích cỡ thu nhỏ trong phòng thí nghiệm. Dòng chảy RP được tạo ra trong kênh được quan sát sử dụng phẩm màu, các hạt đánh dấu được trộn lẫn trong nước, đèn chiếu và camera kỹ thuật số. Các hình ảnh thu nhận được đã được phân tích sử dụng phương pháp PIV (Particle Imaging Velocimetry - Kỹ thuật phân tích, tính toán vận tốc dòng chảy sử dụng ảnh hạt) và PTV (Particle Tracking Velocimetry - Kỹ thuật phân tích, tính toán vận tốc dòng chảy sử dụng kỹ thuật theo dõi hạt) [12, 13] để tính toán trường vận tốc hai chiều theo phương thẳng đứng trong mặt phẳng dọc theo chuyển động của dòng RP. Đồng thời, hình ảnh thu nhận được sử dụng để tính toán độ sâu tại điểm tách. Độ sâu thu nhận được sử dụng để tính toán các hệ số của một công thức thực nghiệm được nghiên cứu xây dựng và đề xuất trong nghiên cứu này sử dụng kỹ thuật phân tích thứ nguyên.

Công thức thực nghiệm thu được đã được sử dụng để tính toán kiểm tra cho một số trường hợp dòng chảy RP với số liệu đo đạc đã được công bố của các nghiên cứu thực nghiệm khác và của các khảo sát đo đạc với các dòng RP trong thực tế. Kết quả tính toán cho thấy công thức cho kết quả khả quan và rất gần với kết quả đo đạc trong hầu hết các dòng chảy RP đã thống kê được. Ngoài ra trong thí nghiệm một thiết bị hiện đại đo đạc phân bố vận tốc ngang dọc theo một trục theo phương thẳng đứng với tần số và độ phân giải cao sử dụng hiệu ứng Doppler của sóng âm (High Resolution Acoustic Doppler Profiler - AquaDopp) [14, 15] đã được sử dụng. Kết quả đo đạc sử dụng thiết bị này được dùng để so sánh kiểm tra kết quả phân tích tính toán sử dụng phần mềm phân tích PIV và PTV.

Các kết quả phân tích tính toán trường vận tốc là bước đầu nhằm phục vụ các nghiên cứu và thí nghiệm và mô phỏng số (sử dụng phần mềm FLUENT trong cơ học chất lỏng) tiếp theo nhằm nghiên cứu các cấu trúc rối và các cấu trúc dòng chảy của dòng RP và truyền tải bùn cát, các chất hữu cơ, mối quan hệ tương tác qua lại giữa các cấu trúc dòng chảy và rối với với truyền tải bùn cát, cơ chế lắng đọng cũng như cơ chế kéo theo bùn cát trong dòng RP.

## II. MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM VÀ MỘT SỐ KẾT QUẢ ĐO ĐẠC

### 1. Mô hình thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được thiết kế và xây dựng tại Phòng thí nghiệm Cơ học chất lỏng, Khoa Công nghệ, Trường Đại học tổng hợp Aberdeen, Aberdeen - Anh [16]. Phác họa mô hình và các số đo chi tiết trong không gian 3 chiều và theo mặt cắt đứng được trình bày trong hình 6, 7 và 8.

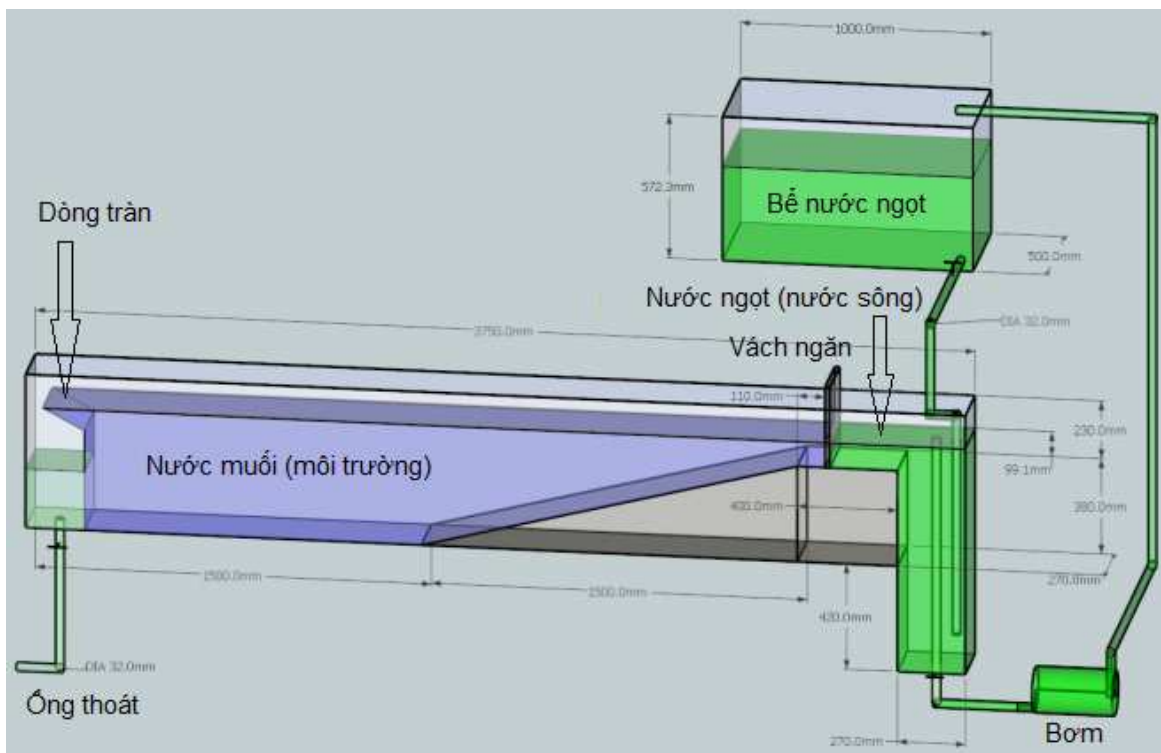
Trong mô hình, chiều dài kênh là 3.75 m; bề rộng kênh là 25 cm. Độ dốc của phần đáy mô tả vùng cửa sông là 15 độ. Toàn bộ kênh được chế tạo từ nhựa trong suốt để đảm bảo việc quan sát và ghi hình dòng chảy có thể được thực hiện sử dụng camera ghi hình kỹ thuật số. Ảnh hưởng chiết suất của nhựa đã được xem xét đến bằng việc bố trí một thước đo gắn vào mặt trong của kênh (đặt trong nước). Nước muối với độ mặn khác nhau được sử dụng làm môi trường mô phỏng nước biển và đại dương (hình 6, 7, 8). Nước ngọt được sử dụng để tạo dòng chảy RP. Ban đầu có một vách ngăn được đặt để phân tách nước sinh hoạt và môi trường. Khi vách ngăn được nâng lên nước ngọt từ bên phải sẽ tạo ra dòng chảy RP phát triển về phía bên trái (hình 6, 7, 8). Nước ngọt được cấp liên tục từ một bể nước ở trên cao với lưu lượng cố định 25 lít một phút. Mực nước ngọt ở phần bên trái của mô hình được duy trì cố định nhờ một ống thoát nước theo cơ chế toàn bộ lượng nước ngọt dâng lên trên mực ống này sẽ được bơm trở lại bể nước ngọt trên cao nhờ một bơm tuần hoàn. Nước ngọt được nhuộm phẩm màu và các hạt phát quang đánh dấu Timiron

phục vụ việc quan sát các cấu trúc dòng chảy và tính toán, phân tích trường vận tốc dòng sử dụng kỹ thuật PIV và PTV.

Các trang thiết bị thí nghiệm và đo đạc bao gồm:

- Các hệ đo đạc vận tốc gồm thiết bị đo sử dụng sóng trên âm AquaDopp (bố trí ở đáy mô hình thí nghiệm, Hình 7, 8), hệ thống camera và phần mềm xử lý, phân tích PIV, PTV (phần mềm DigiFlow):

• Thiết bị đo vận tốc bằng sóng âm có độ phân giải cao (độ phân giải không gian tối đa 7 mm, tần số lấy mẫu tối đa 8 Hz).



**Hình 6:** Phác họa mô hình thí nghiệm trong không gian 3 chiều kèm theo các số đo kích thước

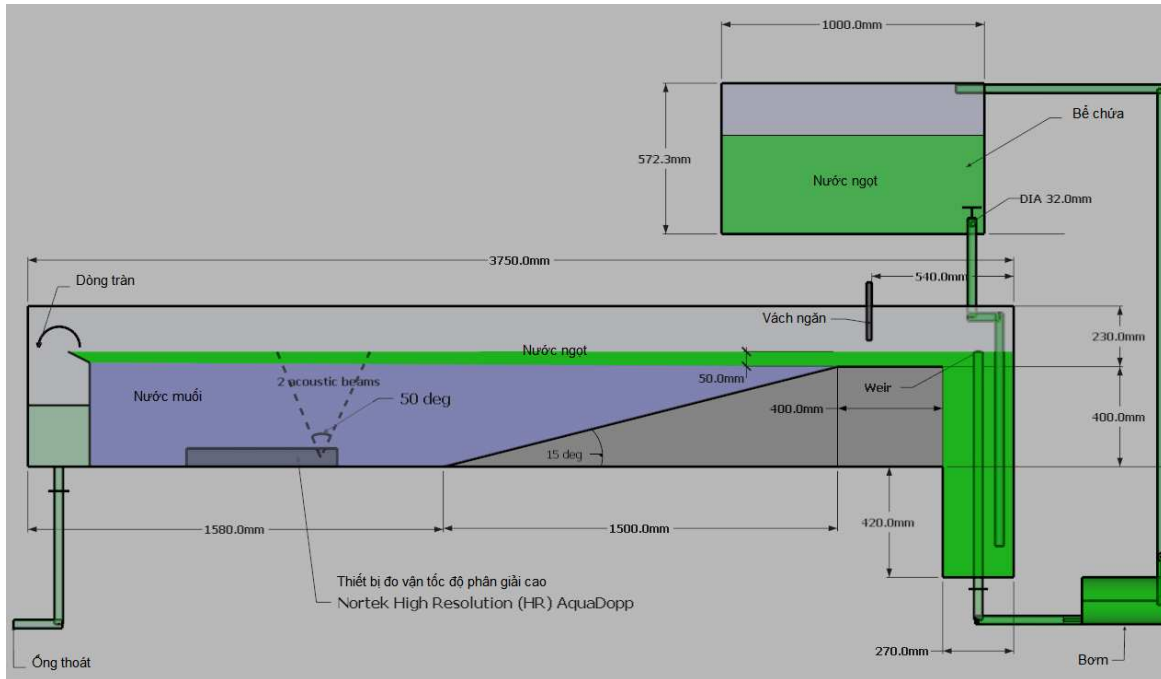
• Hệ thống camera kỹ thuật số và phần mềm tính toán, phân tích trường vận tốc, trường mật độ DigiFlow [12] sử dụng kỹ thuật PIV, PTV và kỹ thuật phân tích cường độ sáng (tính toán trường phân bố mật độ). Đèn chiếu được bố trí phía sau kênh, các camera được bố trí phía trước đối diện với đèn chiếu và kênh nằm giữa camera và đèn chiếu.

- Hệ thống đèn halogen cường độ cao tạo một mặt phẳng sáng, phẩm phát quang và hạt theo dõi Timiron.

- Các dữ liệu đo đạc, ghi nhận được được lưu trữ trực tiếp trong suốt quá trình thí



nghiệm vào hệ thống máy tính phục vụ tính toán, phân tích về sau. Chuỗi các thí nghiệm được thực hiện với các độ mặn của môi trường khác nhau và lưu lượng dòng nước ngọt đầu vào không đổi (25 lpm). Bảng 1 ở dưới trình bày các tham số đầu vào và các kết quả đo đạc, tính toán ứng với mỗi thí nghiệm.

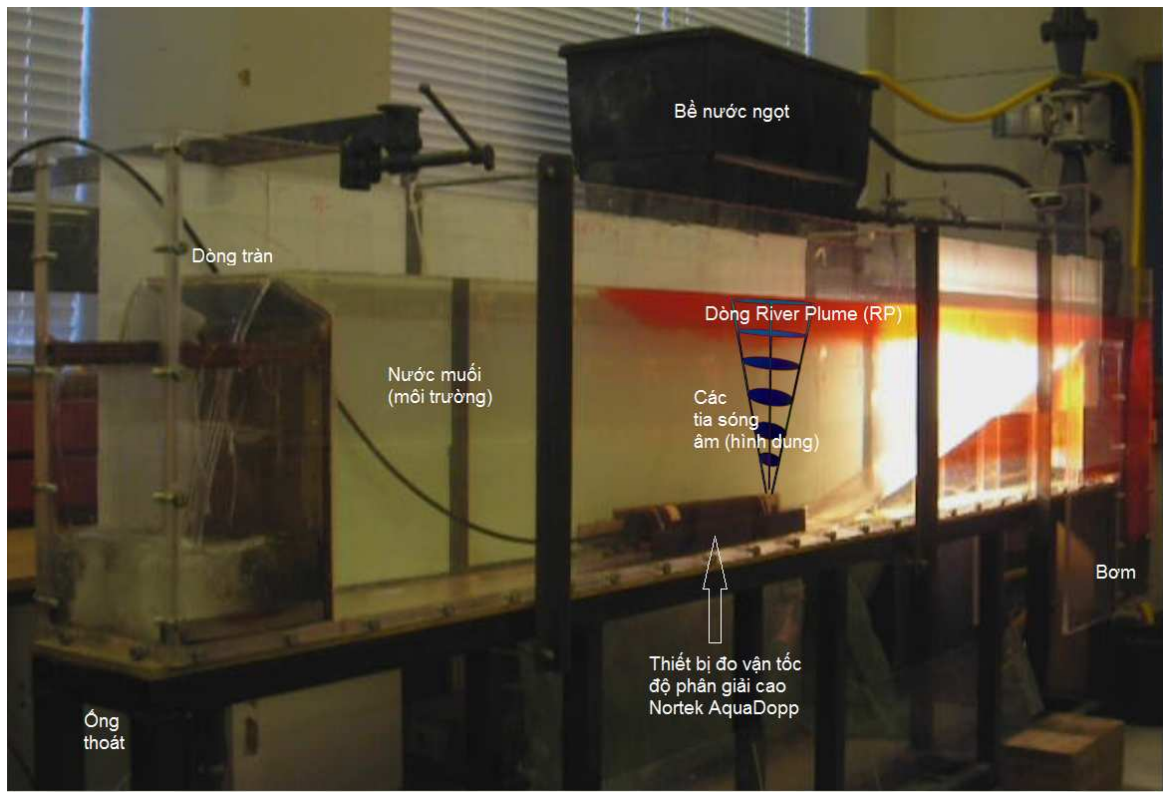


**Hình 7:** Phác họa mô hình thí nghiệm trong không gian 2 chiều kèm theo các số đo kích thước

**Bảng 1:** Các tham số thí nghiệm và kết quả đo đạc của các thí nghiệm được thực hiện với các mật độ môi trường khác nhau

$\rho$	Q	h	$\frac{\Delta\rho}{\rho}$	Fr	Fr'	$h_d$	$d_o$	S	Ri	Ri'
1005	25	7.2	0.005	0.02551604	0.360851246	12.8	1.78	0.253	1535.938	7.679688
1010	25	7.2	0.01	0.02551604	0.255160363	9.7	1.35	0.253	1535.938	15.35938
1015	25	7.2	0.015	0.02551604	0.208337564	9.0	1.25	0.253	1535.938	23.03906
1020	25	7.2	0.02	0.02551604	0.180425623	7.5	1.04	0.253	1535.938	30.71875
1025	25	7.2	0.025	0.02551604	0.161377583	7.2	1.00	0.253	1535.938	38.39844





**Hình 8:** Mô hình thí nghiệm (flume model) tại Phòng thí nghiệm Cơ học chất lỏng, Khoa Công nghệ, Đại học tổng hợp Aberdeen, Anh

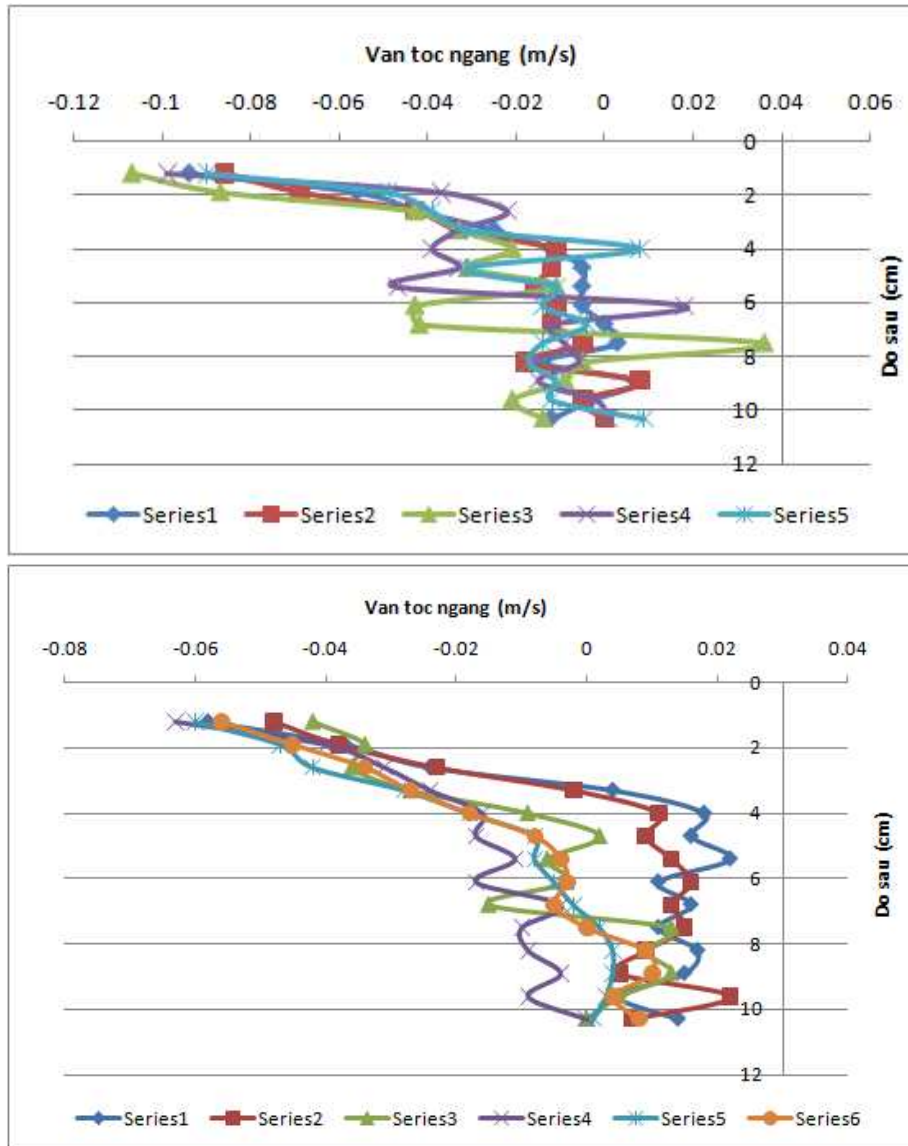
Trong bảng 1, các tham số có ý nghĩa như sau:

- Mật độ của môi trường và hiệu số mật độ môi trường với mật độ nước ngọt:  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\Delta\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ )
- Lưu lượng nước ngọt đầu vào:  $Q$  (lpm)
- Độ sâu của nước ngọt ở phần bên phải điểm phân tách:  $h$  (cm)
- Số Froude và số số Froude hiệu chỉnh đầu vào:  $Fr = U/(gh)^{1/2}$  and  $Fr' = U/(g'h)^{1/2}$  trong đó  $U$  (m/s) là vận tốc dòng chảy RP tại vị trí đo đặc độ sâu  $h$ ;  $g$  là gia tốc trọng trường ( $\text{m/s}^2$ );  $g' = g \times \frac{\Delta\rho}{\rho}$  ( $\text{m/s}^2$ )
- Độ sâu tại điểm phân tách:  $h_d$  (cm)
- Độ sâu tại điểm phân tách đã được quy về dạng phi thứ nguyên ( $= h_d / h$ ):  $d_o$
- Độ dốc của đáy:  $S$

- Các số Richardson và Richardson hiệu chỉnh tại lõi vào của kênh:  $Ri = gh/U^2$  and  $Ri' = g'h/U^2$

Các tham số này ngoài việc được sử dụng trong nghiên cứu các đặc trưng của dòng RP trong các điều kiện khác nhau sẽ được sử dụng trong phân tích thứ nguyên, đề xuất công thức thực nghiệm tính toán độ sâu tại điểm phân tách.

## 2. Một số kết quả đo đạc

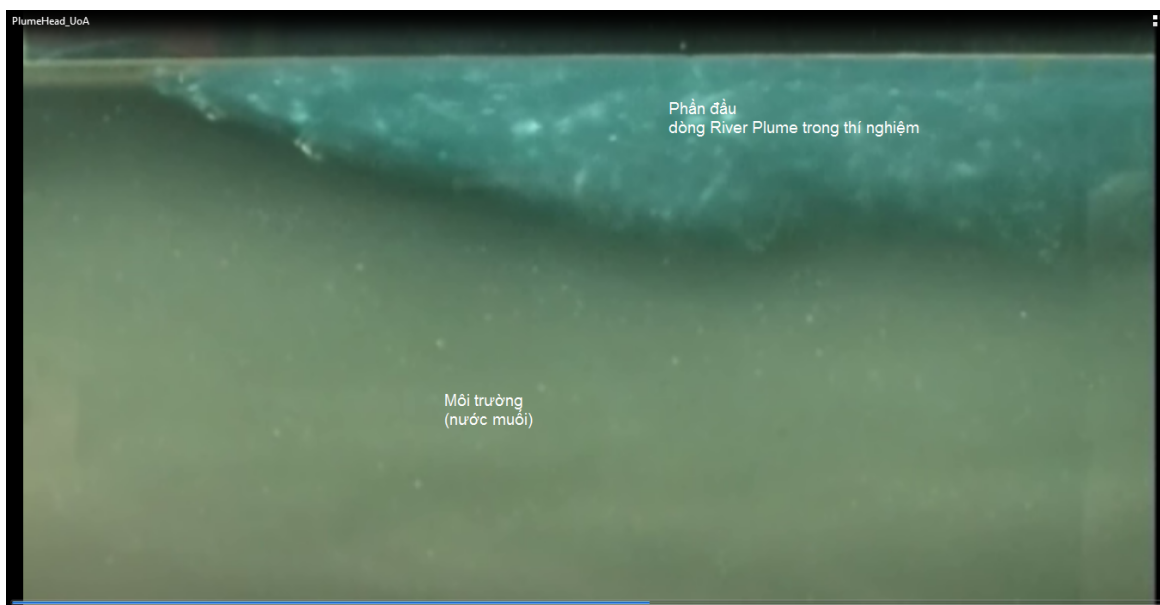


**Hình 9:** Profile vận tốc ngang dọc một trục thẳng đứng đo đạc bởi thiết bị đo vận tốc AquaDopp. Hình phía trên: Mật độ môi trường  $1005 \text{ kg/m}^3$ ; Hình phía dưới: Mật độ môi trường  $1025 \text{ kg/m}^3$

Các thí nghiệm đã được tiến hành với mật độ (hay tương ứng là độ mặn) của môi trường thay đổi trong khoảng giá trị độ mặn phổ biến của nước biển trong tự nhiên. Hình ảnh về phân bố vận tốc theo phương ngang dọc theo một trục thẳng đứng đo đạc bởi thiết bị AquaDopp độ phân giải cao được trình bày trong hình 9.

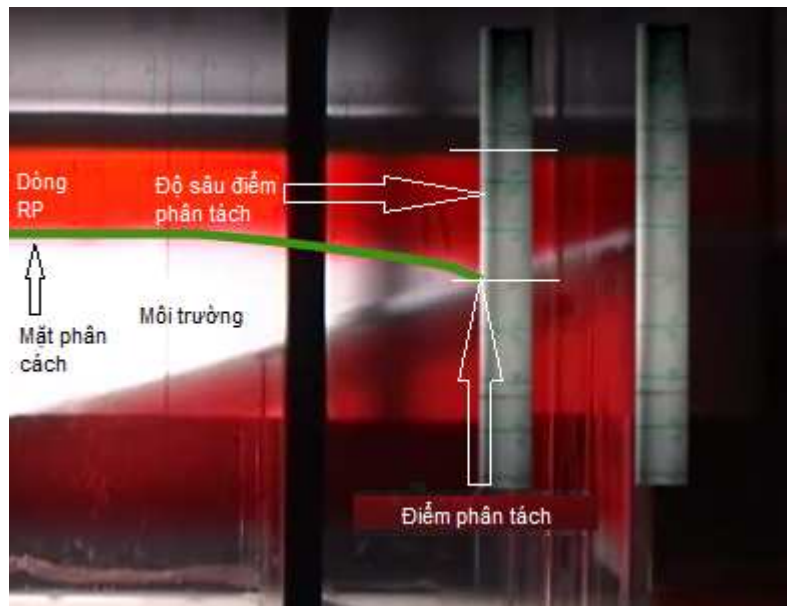
Trong hình 9 các đường từ Series1 đến Series 6 biểu diễn profile vận tốc tại 6 thời điểm khác nhau khi phần đầu của dòng RP đi qua phía trên của thiết bị đo AquaDopp.

Hình 10 cho thấy hình ảnh phần đầu của dòng chảy RP đã được mô phỏng với mô hình thí nghiệm thu nhỏ đã được trình bày. Có thể quan sát thấy phía sau phần đầu là một vùng với nhiều cấu trúc chuyển động rối và các xoáy (chính là các xoáy Kelvin - Helmholtz hình thành giữa các mặt phân cách ở một vận tốc tương đối nhất định giữa dòng RP và môi trường). Ở vùng này có thể quan sát rõ thấy sự trộn lẫn xảy ra mạnh mẽ. Tiếp sau phần đầu là phần thân dòng chảy với đặc trưng dòng chảy phân tầng và được quan sát rất rõ trong thí nghiệm. Có thể thấy rối và sự trộn lẫn là rất nhỏ ở mặt phân cách giữa thân dòng RP và môi trường.



**Hình 10:** Hình ảnh phần đầu của dòng RP với mô hình thí nghiệm đã được thiết lập ở trên

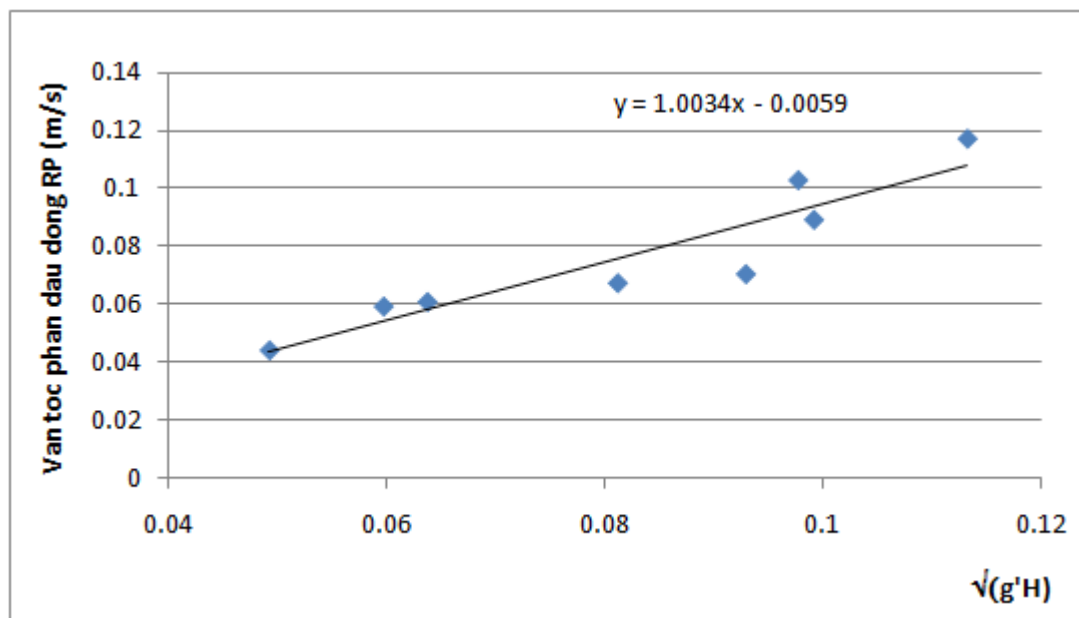
Hình 11 trình bày một hình ảnh được ghi lại bằng camera kỹ thuật số để từ đó có thể xác định vị trí điểm phân tách và độ sâu của dòng RP tại điểm này. Số liệu tính toán độ sâu tại điểm phân tách trong các thí nghiệm khác nhau kết hợp với phân tích thứ nguyên cho phép xây dựng một công thức bán thực nghiệm tính toán độ sâu này và sẽ được trình bày trong phần sau.



**Hình 11:** Điểm phân tách trong thí nghiệm

### III. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH

#### 1. Vận tốc tinh tiến của phần đầu dòng RP



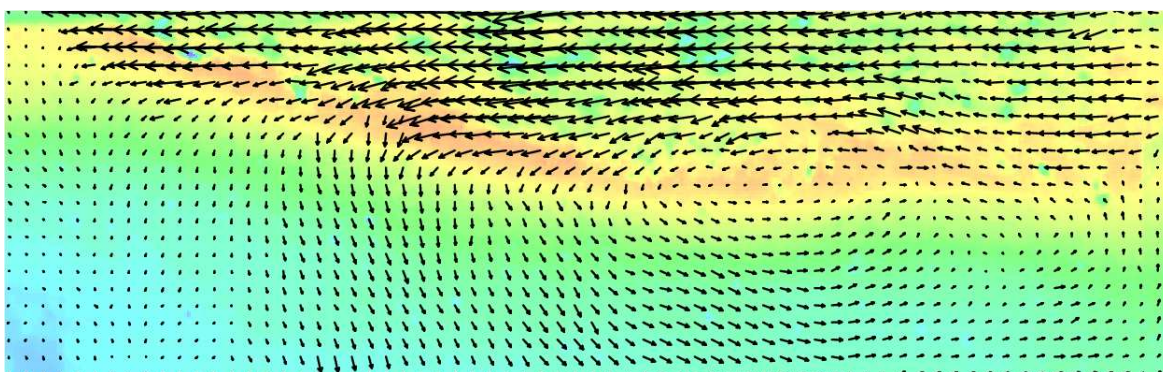
**Hình 12:** Mối quan hệ của các tham số đo đặc có liên quan trong tính toán số  $Fr'$



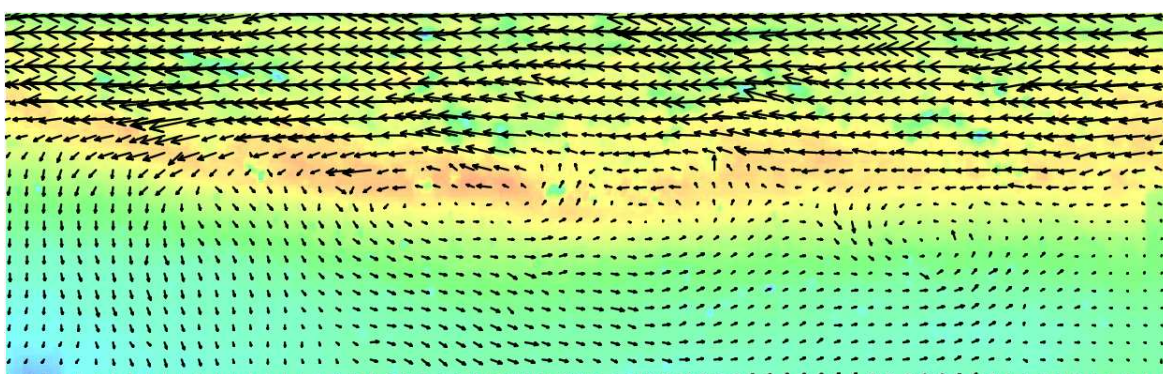
Các kết quả đo đạc từ các thí nghiệm được sử dụng để tính toán vận tốc tịnh tiến của phần đầu dòng RP nhằm kiểm chứng với các kết quả đã được công bố (phần I.1). Kết quả cho thấy số Froude đã được hiệu chỉnh ( $Fr'$ ) của phần đầu nằm trong miền giá trị như các nghiên cứu khác đã công bố (hình 12).

## 2. Kết quả phân tích trường vận tốc sử dụng phần mềm DigiFlow với phương pháp PIV

Hình ảnh do camera thu nhận được đã được đưa vào phân tích tính toán sử dụng phần mềm DigiFlow với kỹ thuật PIV phân tích trường vận tốc cho phép thu nhận trường vận tốc 2 chiều trong một mặt phẳng thẳng đứng theo chiều dòng chảy (hình 13, 14). Các kết quả phân tích, tính toán trường vận tốc bước đầu cho thấy cả về định tính và định lượng phân bố vận tốc trong dòng chảy RP, các cấu trúc dòng chảy ở mặt phân cách giữa dòng RP và môi trường. Hình 13 và 14 cho thấy rõ sự tồn tại các xoáy Kelvin-Helmholtz tại mặt phân cách. Các xoáy này có ý nghĩa quan trọng tạo nên chuyển động rối. Đồng thời các cấu trúc xoáy và rối đóng vai trò quyết định trong việc duy trì trạng thái chuyển động lơ lửng của bùn cát và các chất trong dòng RP.



**Hình 13:** Kết quả phân tích, tính toán trường vận tốc sử dụng phần mềm DigiFlow với phương pháp PIV cho phần đầu dòng RP

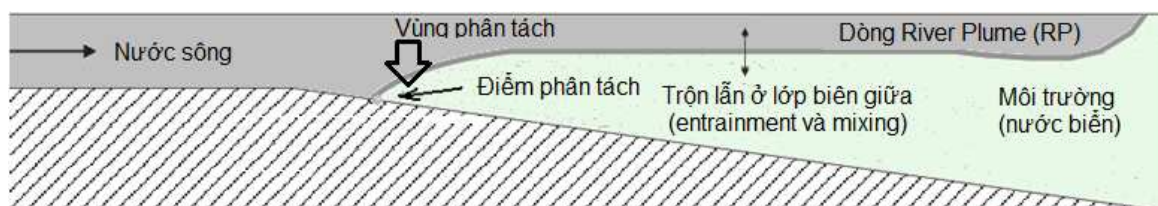


**Hình 14:** Kết quả phân tích, tính toán trường vận tốc sử dụng phần mềm DigiFlow với phương pháp PIV cho phần giữa đầu và thân dòng RP

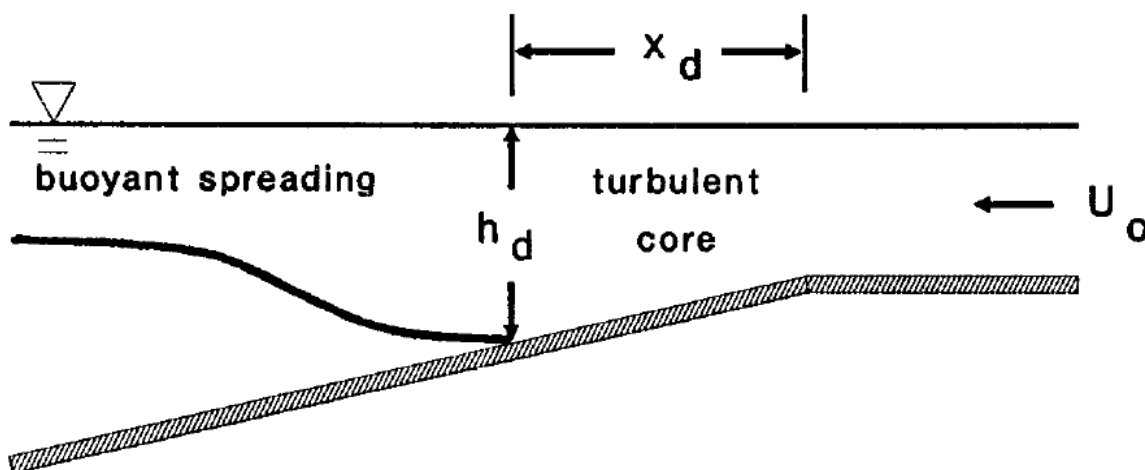
### 3. Phân tích, đề xuất công thức bán thực nghiệm tính toán độ sâu điểm phân tách

Trước khi qua điểm phân tách động lượng chiếm ưu thế, dòng chảy mang tính chất của một nguồn động lượng (jet), khi qua vùng này động lượng suy yếu, lực nâng chiếm ưu thế dòng chảy thực sự là một dòng RP. Tại vùng quanh điểm này xảy ra tương tác mạnh mẽ giữa nước ngọt từ sông và nước biển mặn. Tại mặt tiếp xúc giữa nước ngọt và nước biển, tồn tại các cấu trúc dòng chảy phức tạp và rối, đồng thời quá trình trộn lẫn xảy ra rất mạnh mẽ (hình 15). Do đó, ở vùng lân cận điểm phân tách dòng chảy có thể có tác dụng khuấy động và mang theo bùn cát và các chất lơ lửng theo nó. Tuy nhiên, ngay sau vùng này khi rối yếu đi thì một lượng lớn bùn cát và các chất sẽ lắng đọng hình thành nên các cồn cát, bùn. Do đó việc tính toán, ước lượng vị trí phân tách có ý nghĩa thực tế quan trọng. Một vài công thức xác định vị trí này đã được đưa ra và tính được cho một số trường hợp thí nghiệm cụ thể nhưng chưa được kiểm chứng rộng rãi theo số liệu đo đạc trong thực tế [17].

Ở đây, chúng tôi đề xuất một công thức bán thực nghiệm hoàn toàn mới dựa trên phân tích thứ nguyên và các số liệu thí nghiệm của mình. Công thức này đã được sử dụng tính toán cho một số thí nghiệm khác và một số đo đạc các dòng RP thực tế và đã được công bố quốc tế. Kết quả cho thấy công thức do chúng tôi đề xuất đã ước lượng tốt cho hầu hết các trường hợp dòng RP thống kê được.



Hình 15: Phác họa một dòng chảy RP gắn với vùng cửa sông



Hình 16: Các tham số liên quan trong tính toán độ sâu điểm phân tách  $h_d$  (Nguồn: [17])

Theo nguyên lý về phân tích thứ nguyên, độ sâu của điểm phân tách  $h_d$  sẽ phụ thuộc vào các tham số có liên quan tại vùng này bao gồm: vận tốc dòng  $U_0$ , độ sâu ở cửa sông  $h_0$ , độ chênh lệch khối lượng riêng  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ , gia tốc trọng trường  $g$ , và độ dốc đáy  $S$ . Độ nhám của đáy ảnh hưởng đến vận tốc  $U_0$  và do đó đã được xét đến nên không có mặt ở dạng hiện. Ngoài ra có thể thấy rõ ràng rằng  $h_d$  sẽ phụ thuộc vào quá trình tương tác tại mặt phân cách. Điều đó đã được hàm chứa trong số Richardson (Phần II.1) và do đó đã được thể hiện qua độ chênh lệch khối lượng riêng  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$  [10].

Do vậy  $h_d$  có thể được viết dưới dạng sau:

$$h_d = f\left(U_0, h_0, \frac{\Delta\rho}{\rho}, g, S\right). \quad (1)$$

Ở đây hai đại lượng cơ bản là chiều dài và thời gian. Các biến  $U_0$  và  $h_0$  được chọn là các biến để khử thứ nguyên của các tham số đã được liệt kê ở trên. Theo quy tắc phân tích thứ nguyên, các nhóm phi thứ nguyên sẽ bao gồm:

$$\pi_1 = h_d / h_0; \quad \pi_2 = S; \quad \pi_3 = \frac{\Delta\rho}{\rho} \quad \text{và} \quad \pi_4 = gh_0 / U_0^2 = Ri_0.$$

Khi đó (1) được viết lại có dạng sau:

$$h_d / h_0 = f\left(S, \frac{\Delta\rho}{\rho}, Ri_0\right) \quad (2)$$

Dạng hàm mũ được sử dụng như là một dạng hiện cho mỗi quan hệ (2) như sau:

$$h_d / h_0 = c(S)^x \left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^y (Ri_0)^z \quad (3)$$

trong đó  $c$  là hằng số dương tùy ý nào đó.

Phương trình (3) có thể được viết lại dưới dạng sau:

$$\ln(h_d / h_0) = \ln(c) + x \ln(S) + y \ln\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right) + z \ln(Ri_0) \quad (4)$$

trong đó  $C = \ln(c)$ .

Sử dụng các tham số thí nghiệm chúng tôi thu được hệ phương trình tuyến tính gồm 4 phương trình 4 ẩn số xác định các hệ số của công thức thực nghiệm như sau:



$$\begin{cases} x \ln(0.253) + y \ln(0.005) + z \ln(1535.938) + C = \ln(1.78) \\ x \ln(0.253) + y \ln(0.01) + z \ln(1535.938) + C = \ln(1.35) \\ x \ln(0.038) + y \ln(0.03) + z \ln(605.05) + C = \ln(1.00) \\ x \ln(0.038) + y \ln(0.03) + z \ln(171.56) + C = \ln(1.37) \end{cases}$$

hay là hệ tương đương: 
$$\begin{cases} -1.37x - 5.30y + 7.34z + C = 0.58 \\ -1.37x - 4.61y + 7.34z + C = 0.3 \\ -3.27x - 3.51y + 6.41z + C = 0.0 \\ -3.27x - 3.51y + 5.15z + C = 0.32 \end{cases}$$

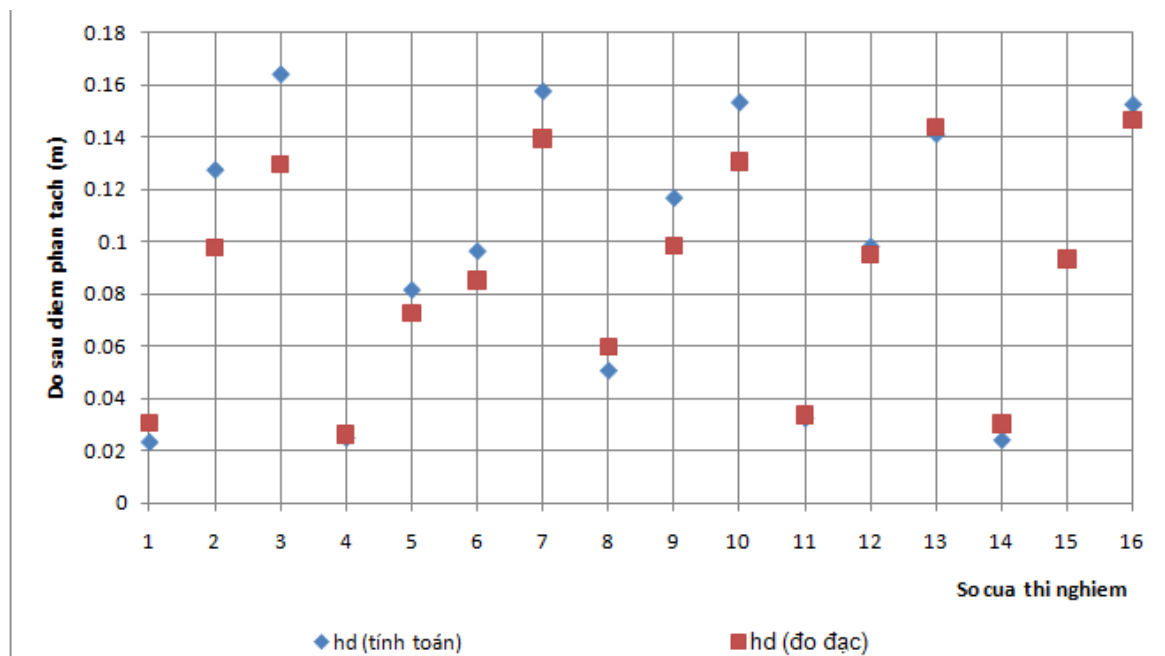
Từ đó ta có:

$$C = 0.358 \Rightarrow c = 1.43, x = 0.047; y = -0.406; z = -0.254.$$

Khi đó sự phụ thuộc của  $h_d$  vào các tham số khác có dạng hiện như sau:

$$h_d = h_0 * 1.431 * S^{0.047} * (\Delta\rho / \rho)^{-0.406} * Ri_0^{-0.254} \quad (5)$$

Một điều khá lý thú ở đây là ta thu được  $y = -0.406 < 0.0$  hàm ý rằng độ sâu của điểm phân tách phụ thuộc vào nghịch đảo của hiệu số khối lượng riêng giữa nước sông và môi trường nước biển  $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ , một điều có thể cảm nhận được về mặt trực quan.

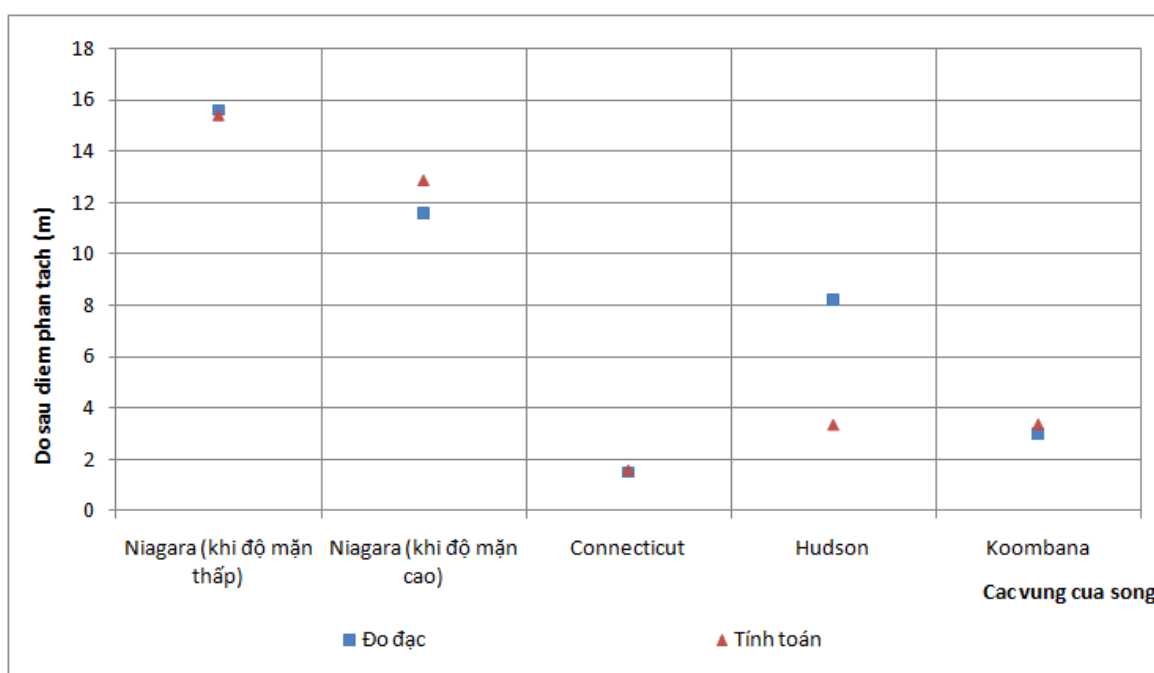


**Hình 17:** Kết quả tính toán sử dụng công thức đã được đề xuất và kết quả đo đạc độ sâu điểm phân tách cho 16 thí nghiệm (mỗi cặp điểm ứng với một thí nghiệm)

Công thức này đã được sử dụng để tính toán độ sâu tại điểm phân tách sử dụng số liệu trong 16 thí nghiệm đã được Coates and Guo công bố [18]. Kết quả so sánh giữa độ sâu được tính toán và kết quả đo đạc cho thấy công thức do chúng tôi đề xuất đã ước lượng khá tốt độ sâu điểm phân tách trong thí nghiệm này (hình 17).

Sau đó, công thức này đã được sử dụng để tính toán độ sâu tại điểm phân tách cho một số vùng cửa sông thực tế với số liệu đo đạc đã được công bố của các tác giả trên Thế giới tại các sông: Niagara [19], Hudson [20], Connecticut [19, 21], Koombana [22].

Kết quả so sánh trong hình 18 cũng cho thấy công thức đã ước lượng tốt độ sâu điểm phân tách cho cả các cửa sông trong thực tế.



**Hình 18:** Kết quả so sánh cho một số cửa sông thực tế đã được thống kê (mỗi cặp điểm ứng với một cửa sông đã được thống kê)

#### IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về dòng chảy GC nói chung và dòng chảy RP đã được Thế giới tiến hành trong nhiều năm qua, nhưng vẫn còn là một vấn đề còn tương đối mới mẻ tại Việt Nam. Nghiên cứu về dòng GC và dòng RP có nhiều ý nghĩa cả về mặt khoa học cơ bản (các cấu trúc rối, truyền chất, vận tải bùn cát nói riêng và cơ học chất lỏng nói chung) và về ứng dụng (trong thăm dò khai thác dầu khí, trong nghiên cứu ảnh hưởng của bùn cát từ lục địa được vận tải trong nước các sông đến các vùng cửa biển v.v.). Trong nghiên cứu

này, một số thí nghiệm vật lý bước đầu đã được thực hiện với dòng chảy RP kích cỡ thu nhỏ trong phòng thí nghiệm. Phương pháp đo đặc vận tốc sử dụng các thiết bị sóng trên âm có độ phân giải cao về không gian và thời gian và phương pháp phân tích, đo đặc vận tốc hiện đại PIV. Đo đặc trường mật độ được thực hiện sử dụng phương pháp phân tích cường độ sáng của ảnh.

Phân tích, tính toán vận tốc tịnh tiến của phần đầu dòng chảy RP trong các thí nghiệm cho kết quả tương tự với kết quả Thế giới đã công bố. Phân tích trường vận tốc sử dụng phương pháp PIV (với ưu điểm là phương pháp không can thiệp làm ảnh hưởng đến dòng chảy) cho thấy rõ các cấu trúc trường vận tốc của dòng RP; các xoáy Kelvin-Helmholtz tồn tại ở mặt phân cách giữa dòng với môi trường. Trên cơ sở các số liệu đo đặc được về điểm phân tách kết hợp với việc ứng dụng phương pháp phân tích thứ nguyên, chúng tôi đã đề xuất một công thức bán thực nghiệm mới phục vụ ước lượng, tính toán độ sâu điểm phân tách. Công thức này đã được sử dụng để tính toán độ sâu điểm phân tách trong một số thí nghiệm khác hay với các RP thực tế đã được đo đặc và được Thế giới công bố. Kết quả tính toán so sánh vì số liệu đo đặc cho thấy công thức đã ước lượng tốt cho hầu hết các trường hợp thống kê được.

Các kết quả thí nghiệm và phân tích là bước đầu nhằm phục vụ những nghiên cứu tiếp theo chuyên sâu về các cấu trúc rối và truyền tải bùn cát trong dòng RP. Đồng thời, các kết quả đo đặc thu thập được qua các thí nghiệm sẽ được sử dụng làm đầu vào của các mô phỏng số dòng chảy RP sử dụng phần mềm FLUENT.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này đã được thực hiện với sự đồng tài trợ từ công ty BG (British Gas) và Quỹ trao đổi nghiên cứu của Trường Đại học Tổng hợp Aberdeen, Anh. Thiết bị đo đặc vận tốc được tài trợ từ công ty Nortek, Anh. Các tác giả cũng bày tỏ lòng biết ơn tới giáo sư Benjamin Kneller (cơ học chất lỏng - địa lý dầu khí), giáo sư Vladimir Nikora (cơ học chất lỏng - chuyên động rối), tiến sỹ Yakun Guo (cơ học chất lỏng - thực nghiệm) tại Đại học Tổng hợp Aberdeen, Anh đã tài trợ và tham gia đóng góp ý kiến cho nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Middleton, G. V., 1993.** Sediment deposition from turbidity currents. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol.21, pp.89-114.
2. **Baines, B. G., 2001.** Non-rotating gravity currents. In Steele, J., Thorpe, S., and Turekian, K. (eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, pp.1898-1903.

3. **Allen, J. R. L., 1971.** Mixing at turbidity current heads, and its geological implications. *J. Sediment. Petrol.*, Vol.41, pp.97-113.
4. **Simpson, J. E., 1982.** Gravity Currents in the Laboratory, Atmosphere, and Ocean. *Annual Reviews in Fluid Mechanics*, Vol.14, pp.213-234.
5. **Kneller, B., and Buckee, C., 2000.** The structure and fluid mechanics of turbidity currents: a review of some recent studies and their geological implications. *Sedimentology*, Vol.47 (Suppl. 1), pp.62-94.
6. **Oti, M. N., and Postma, G., 1995.** *Geology of Deltas*, AA Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
7. **Goodbred, Jr., S.L., 2001.** Ocean Margin Sediments. In Steele, J., Thorpe, S., and Turekian, K. (eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, p. 1965-1973.
8. **Parsons, J. D., and García, M. H., 1998.** Similarity of gravity current fronts. *Physics of Fluids*, Vol.10, pp.3209-3213.
9. **Luketina, D. A., and Imberger, J., 1989.** Turbulence and entrainment in a buoyant surface plume. *J. Geophys. Res.*, 94(C9), 12619-12636.
10. **Fernando Harindra, J. S., 1991.** Turbulent Mixing in Stratified Fluids. *Annual Reviews in Fluid Mechanics*, 23, 455-493.
11. **Garcia, M. H., and Parsons, J. D., 1996.** Mixing at the front of gravity currents. *Dyn. Atmos. Oceans*, 24, 197-205.
12. **Dalziel, S. B., 2004.** DigiFlow user manual. <http://www.damtp.cam.ac.uk/lab/digiflow>
13. **Stanislas, M., Okamoto, K., and Kahler, C., 2003.** Main results of the First International PIV Challenge. *Meas. Sci. Technol.*, Vol.14, pp.R63–R89.
14. <http://www.nortek-as.com/products/current-profilers/aquadopp-hr-profiler>
15. <http://www.nortekweb.co.uk/studentgrant/2009/awards/index.shtml>
16. <http://www.abdn.ac.uk/engineering/research/envhrg/facilities.php>
17. **Atkinson, J. F., 1993.** Detachment of buoyant surface jets discharged on slope" *Journal of Hydraulics Engineering*, Vol.119, Issue 8, pp.878-894.
18. **Coates, M. J., and Guo, Y. K., 2003.** The salt wedge position in a bar-blocked estuary subject to pulsed inflows. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, Vol.58, Issue 1,

pp.187-196.

19. **Yankovsky, A. E., and Chapman, D. C., 1997.** A simple theory for the fate of buoyant coastal discharges. *Journal of Physical Oceanography*, Vol.27, pp.1386-1401.
20. **Straneo, F., and François, S., 2007.** The outflow from Hudson Strait and its contribution to the Labrador Current. Woods Hole Oceanographic Institution and Université du Québec à Rimouski, Québec.
21. **Garvine, R. W., and Monk, J. D., 1974.** Frontal structure of a river plume. *J. Geophys. Res.*, Vol.79, Issue 15, pp.2251-2259.
22. **Luketina, D. A., and Imberger, J., 1987.** Characteristics of a surface buoyant jet. *J. Geophys. Res.*, Vol.92, pp.5435-5447.

## **EXPERIMENTS AND ANALYSES OF SMALL SCALE RIVER PLUMES IN LABORATORY**

**DUONG NGOC HAI, NGUYEN TAT THANG**

***Summary:** This paper presents an overview of buoyant gravity currents and RPs, and some experimental results and analyses of experiments of small scale RPs in laboratory with a flume model. In the experiments, the flume is filled with salt water to model sea water and to create the ambient of the RP; fresh water is released at one side of the flume to create the RP. Velocity probes and PIV (Particle Imaging Velocimetry) systems have been used to measure and analyze the velocity fields. The measured velocity fields are used to clarify the flow and turbulence structures in RPs. Further objectives are quantifying flow and turbulence structures in sediment laden RPs and the relationship between turbulence and sediment transport in such flows.*

*In addition, the depth of the flow where fresh water detaches from bottom to form the RP has been measured. By applying the dimensional analysis method and exploiting the measured data, a semi-empirical formula has been proposed to estimate the detachment depth in general cases. Calculated results using the our newly proposed formula for some laboratory experiments and field measurements of RPs published in literature have shown that our formulation estimates well the detachment depths.*

***Keywords:** Gravity current (Density current), River Plume, PIV (PTV), Dimensional analysis, Detachment depth.*

**Ngày nhận bài:** 15 - 01 - 2011

**Người nhận xét:** PGS. TS. Trần Đức Thạnh