

# THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH VẬT LÝ THỦY ĐỘNG LỰC HỌC: QUÁ KHỨ, HIỆN TẠI VÀ TƯƠNG LAI

Lê Văn Nghi, Hoàng Đức Vinh, Nguyễn Ngọc Nam,  
Nguyễn Ngọc Đăng, Vũ Văn Ngọc, Nguyễn Thành Luân  
Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sóng biển

**Tóm tắt:** Thí nghiệm mô hình vật lý (MHVL) thủy động lực học đóng vai trò quan trọng trong thiết kế các công trình thủy lợi, thủy điện, cầu cảng, chỉnh trị sông, bảo vệ cửa sông, bờ biển. Hiện nay, sự phát triển mạnh mẽ và áp dụng rộng rãi các phương pháp số, mô hình toán đã phần nào làm giảm nhu cầu về MHVL trong một số trường hợp nhất định. Bài báo này dựa vào dữ liệu thí nghiệm MHVL đã thực hiện tại Viện KH Thủy lợi VN từ những năm 1960 để điểm lại quá trình hình thành, phát triển nghiên cứu thí nghiệm MHVL, những thách thức hiện tại và nhận định tương lai của lĩnh vực này. Các phương pháp số hiện nay vẫn chưa đủ mạnh để giải quyết toàn bộ vấn đề kỹ thuật thủy lực sông biển phức tạp. Ngược lại, mô hình vật lý cũng không thể giải quyết được nhiều vấn đề trong thế giới thực. Do đó, trong tương lai, các phòng thí nghiệm vẫn cần thiết duy trì nghiên cứu dựa vào mô hình vật lý, cùng với đó là đầu tư ứng dụng, phát triển mô hình số và phương tiện tính toán, để hỗ trợ bổ sung cho nhau cùng phát triển.

**Từ khóa:** Mô hình vật lý, phòng TNTĐ, thí nghiệm mô hình, CFD.

**Summary:** Experiment on hydraulic dynamic physical model plays an integral role in the design of most irrigation and hydroelectric projects. At present, the strong development and widespread application of numerical methods and mathematical models have partly reduced the reliance for physical models in certain cases. This study based on the physical experiment of VAWR from 1960 to review the origins, evolution of experimental research on physical models, existing challenges and future perspectives of this field. Current numerical methods have not yet fully capable of solving all complex hydraulic problems. Similarly, physical models alone also cannot address many real-world issues. Therefore, in the future, it remains essential for hydraulic laboratories to continue their research base on physical models, while also investing in applications and development of numerical models and computational tools to complement and advance together.

**Keywords:** Hydraulic physical model, KFORCE, model experiment, CFD.

## 1. GÓC NHÌN TỪ LỊCH SỬ

Thí nghiệm mô hình vật lý có một vai trò quan trọng trong việc thiết kế hầu hết các cấu trúc của công trình thủy lợi, thủy điện, công trình chỉnh trị cửa sông ven biển và hải đảo. Các cấu trúc này có thể là tràn xả lũ, bể tiêu năng, cống

lấy nước, xi phong thủy lực, đê, kè, mỏ hàn, cảng, tường biển, đập phá sóng... Để xây dựng công trình hiệu quả và an toàn, chúng thường được thiết kế, đánh giá, tinh chỉnh và cải tiến dựa vào những phân tích và thử nghiệm trên mô hình vật lý thủy lực.

Kỹ sư người Anh John Smeaton được coi là người đầu tiên nghiên cứu thử nghiệm mô hình vật lý. Từ năm 1760, ông đã mô hình hóa công trình bánh xe nước và cối xay gió để đo lường

Ngày nhận bài: 02/10/2023

Ngày thông qua phản biện: 31/10/2023

Ngày duyệt đăng: 08/11/2023

hiệu quả của bánh xe nhằm tối ưu năng lượng của nước tác động đến tốc độ của bánh và cối xay gió [1]. Vài năm sau, nhà xây dựng cầu người Nga Ivan Kulibin đã xây dựng và thử nghiệm mô hình tỷ lệ 1:35 của cây cầu vòm gỗ nhịp 300 m do ông thiết kế để bắc qua sông Neva ở StPetersburg. Sau đó, một thành viên của Viện Hàn lâm Khoa học St Petersburg, Leonard Euler, đã xuất bản một bài báo đầu tiên về hiệu ứng tỷ lệ trong thử nghiệm mô hình vào năm 1776 [2].

Đến năm 1860, một bước đột phá lớn đã xuất hiện trong nghiên cứu thí nghiệm mô hình của lĩnh vực cơ học chất lỏng. Một số nhà vật lý đã tạo ra các đơn vị không thứ nguyên nhằm nắm bắt được bản chất của các hiện tượng chất lỏng khác nhau không phụ thuộc vào kích thước của mô hình. Nổi tiếng nhất trong số này có lẽ là số Reynolds, đại diện cho tỷ lệ các đại lượng chính liên quan đến sự chuyển đổi giữa dòng chảy tầng, êm và dòng chảy xiết (hỗn loạn) của chất lỏng, ví dụ như trong kênh hở hoặc trên cánh máy bay.

Năm 1877, William Froude tiến hành các thí nghiệm để xác định lực cản của thân tàu đối với chuyển động tịnh tiến, ông đã tạo ra một giá trị không thứ nguyên,  $V^2/gL$ , cho một thân tàu có chiều dài  $L$  chuyển động với tốc độ  $V$  [3]. Nếu tỷ lệ này được giữ không đổi, thì kết quả của thí nghiệm mô hình quy mô nhỏ có thể được nhân rộng lên cho kích thước nguyên hình. Bằng cách này, ảnh hưởng của một hiện tượng vật lý có thể được mở rộng mà không cần đến một mô hình toán học của hiện tượng đó.

Năm 1914, nhà toán học Hoa Kỳ Edgar Buckingham (1867–1940) đã phát hiện ra một định lý liên quan đến số lượng các số không thứ nguyên ( $\pi$ ) cho một hệ thống, số lượng biến vật lý ( $r$ ) và số lượng các chiều chính độc lập ( $n$ ). Ông đã chứng minh rằng  $(r - n) = \pi$ . Điều này cho phép người kiểm tra mô hình xác định số lượng các số không thứ nguyên khác nhau cần được tìm thấy. Điều này được gọi là

định lý  $\pi$  (hoặc pi) của Buckingham [4]. Do đó, giờ đây có thể mở rộng quy mô kết quả của bất kỳ thí nghiệm mô hình nào lên đến quy mô nguyên hình. Việc sử dụng các số không thứ nguyên đã sớm được phát triển để thí nghiệm mô hình trong kỹ thuật thủy lực và, từ đầu những năm 1900, trong các đường hầm gió. Từ những năm 1930, nó đã được áp dụng trong các ngành kỹ thuật khác như kỹ thuật kết cấu, âm học, địa chấn và địa kỹ thuật [5].

Các nghiên cứu mô hình sớm nhất về thủy động lực được thực hiện bởi kỹ sư người Pháp Louis Fargue vào năm 1875. Ông đã tạo ra một mô hình tỷ lệ 1:100 để tìm cách giảm lượng phù sa bồi đắp cho luồng hàng hải ở cửa sông thủy triều Garonne, gần Bordeaux bằng các bức tường, để giảm khối lượng nạo vét hàng năm [6].

Vào giữa những năm 1880, Osborne Reynolds đã sử dụng một mô hình cửa sông Mersey, Vương quốc Anh, để nghiên cứu tính khả thi của dự án Kênh tàu Manchester [7]. Mô hình có tỷ lệ ngang là 1:10 800 để cho phép nó được đặt trong phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, tỷ lệ dọc lớn hơn nhiều, 1:396, để tạo điều kiện thuận lợi cho việc đo độ sâu lòng dẫn mềm.

Reynolds đã dành nhiều thời gian để tìm kiếm loại cát phù hợp. Các hạt cát không chỉ phải nhỏ hơn mà còn tái tạo chuyển động lăn, trượt và nảy khi di chuyển trong nước. Sử dụng dữ liệu khảo sát lịch sử, Reynolds bắt đầu thử nghiệm mô hình và đặt nó dưới thủy triều có chu kỳ lặp lại tương đương với vài thập kỷ và xác minh rằng hình dạng thu được của lòng cửa sông tương ứng với ngày thí nghiệm của mình. Do đó, ông đã chọn được hai loại cát, một từ Iceland, một từ Calais ở Pháp, nơi mô phỏng một cách thỏa đáng hình thái của cửa sông và sử dụng chúng để thực hiện thí nghiệm trong tương lai.

Giữa những năm 1890 và 1920, các phòng thí nghiệm nghiên cứu thủy lực đã được mở ở hầu hết các nước châu Âu cũng như ở Ấn Độ và

Hoa Kỳ. Các mô hình vật lý đã tập trung nghiên cứu dòng chảy của nước, nghiên cứu tác động của sóng trên các bãi biển và bến cảng, đê chắn sóng, đập tràn, đập dâng để kiểm soát dòng nước, kế hoạch cứu trợ lũ lụt [8].

Mô hình thủy lực lớn nhất cho đến nay là Mô hình lưu vực Mississippi, nghiên cứu các biện pháp cứu trợ lũ lụt. Được xây dựng từ năm 1943 bởi phòng thí nghiệm đường thủy của Quân đội Hoa Kỳ (US Army Waterways), mô hình kích thước khoảng 1,3 x 1,3 km và được sử dụng liên tục từ năm 1949 đến năm 1976 [9].

Các mô hình quy mô nhỏ hơn đã được thí nghiệm rộng rãi để phục vụ thiết kế đập bê tông cốt thép từ giữa những năm 1920. Đập Boulder (nay là Hoover) cao 220 m ở Arizona, Hoa Kỳ, cho đến nay là đập vòm trọng lực bê tông cốt thép lớn nhất thế giới được hoàn thành vào năm 1936. Một chương trình nghiên cứu khổng lồ đã được thực hiện để đảm bảo an toàn cho đập Boulder, bao gồm một loạt các thí nghiệm mô hình được thực hiện trong khoảng thời gian 5 năm, cả về thủy lực và cấu trúc của đập. Dự án này là nguồn gốc của rất nhiều cải tiến lớn trong thí nghiệm mô hình thủy lực hiện đại.

Ở Việt Nam, cùng với sự ra đời của Viện Khoa học Thủy lợi, phòng thí nghiệm thủy lực đầu tiên được thành lập từ năm 1959 với tên gọi là Phòng thủy công [10]. Sau đó là sự ra đời lần lượt của các trung tâm động lực sông, trung tâm động lực cửa sông ven biển và hải đảo và năm 2008 là phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển. Những năm đầu thành lập gắn liền với thời kỳ chiến tranh chống Mỹ, các thí nghiệm chủ yếu là hàn khẩu đê chống lụt và nghiên cứu các công trình như Bắc Hưng Hải, đập Đáy, Vân Cốc, thủy điện Thác Bà [11]. Chỉ sau khi đất nước thực hiện đổi mới, đặc biệt là từ những năm 1990, công tác nghiên cứu thí nghiệm mô hình thủy động lực mới phát triển mạnh mẽ. Một loạt công trình thủy lợi ra đời trong thời kỳ này được hoàn thiện nhờ sự đóng góp của

việc thí nghiệm mô hình thủy lực. Tràn xả lũ của các hồ Sông Hình (Phú Yên), Phú Vinh (Quảng Bình), hồ Truồi (Thừa Thiên Huế), Đồng Nghệ (Đà Nẵng), sông Tiêm (Hà Tĩnh) được thí nghiệm từ những năm 1992 – 1994.

Sau đó, những mô hình vật lý lòng động (lòng mềm) đầu tiên, mô phỏng hiện tượng di chuyển và bồi lắng của bùn cát được thí nghiệm ở Việt Nam qua những công trình công vùng triều ở đồng bằng sông Hồng và sông Cửu Long. Những mô hình này thường có tỷ lệ lớn, như công Thâu Râu, Trà Vinh thí nghiệm năm 1996 với tỷ lệ 1/16, công Tắc Vân, công Cà Mau năm 1997, tỷ lệ 1/12, hoặc công Láng Thè, Trà Vinh năm 2000 với tỷ lệ 1/30 (Hình 1). Hay mô hình biến thái tỷ lệ lớn mô phỏng dòng chảy và bùn cát trên sông Hồng đoạn qua thành phố Hà Nội trong dự án chỉnh trị sông, tăng khả năng thoát lũ và ổn định lòng dẫn được thí nghiệm năm 2002 (Hình 2). Mô hình lòng động tỷ lệ lớn giúp đảm bảo sự tương tự về kích thước theo lý thuyết Froude và tương tự về chuyển động bùn cát theo lý thuyết của Reynolds.

Cho đến nay, tràn xả lũ là kết cấu được nghiên cứu thí nghiệm nhiều nhất ở nước ta. Tràn xả lũ thường phải thoát một lưu lượng nước lớn với thể năng và động năng rất cao. Do đó, các kết cấu của tràn, cửa bể tiêu năng và hạ du cần phải đảm bảo tiêu năng hiệu quả nhất. Tràn xả lũ của những công trình lớn đã được nghiên cứu hoàn thiện qua thí nghiệm mô hình như thủy điện Hòa Bình (Hình 1) năm 1999, thủy điện Bản Vẽ (Nghệ An) năm 2004, Cửa Đạt (Thanh Hóa) năm 2005, Tả Trạch (Thừa Thiên Huế) năm 2007, Nước Trong (Quảng Ngãi) năm 2008.

Ngoài ra, các loại công trình khác có chế độ thủy lực phức tạp như Tuynel, trạm bơm, các công trình khai thác cát hoặc cảng biển, nơi có chế độ thủy triều phức tạp cũng được nghiên cứu thí nghiệm. Tính đến hiện tại, đã có trên 150 công trình thủy lực, chỉnh trị sông, cửa sông ven biển và đảo, hải đảo trên khắp cả

nước đã được mô hình hóa và thí nghiệm ở Phòng TNTĐ (Hình 4). Thí nghiệm độ ổn định nổi khi kéo khối chân đế TLP, ổn định khi neo cố định (2010), giàn khoan dầu khí di động (2016), kết cấu nổi “T-FB” (2021); ổn định của các cấu kiện bảo vệ mái kè biển Đình Vũ (2015). Đặc biệt, thí nghiệm trong nghiên cứu khoa học luôn được PTNTĐ chú trọng, thông qua các thí nghiệm đánh giá khả năng giảm sóng, điều chỉnh dòng chảy ven bờ, khả năng chống xói lở và tổng thể hiệu quả của các giải pháp bố trí không gian công trình chỉnh trị khu vực cửa sông ven biển, hải đảo. Thí nghiệm

xác định chiều cao sóng ven đảo Trường Sa lớn (2010), ổn định đê chắn sóng bảo vệ cảng Nghi Sơn (2013), giảm sóng truyền qua công trình đê mềm (2015); quá trình sóng leo, sóng tràn qua mái và tường đỉnh công trình đê biển Hải Hậu (2010), Hải Phòng (2012); truyền sóng qua rừng ngập mặn Giao Thủy (2012)... Thí nghiệm đánh giá hiệu quả tổng thể của các giải pháp bố trí không gian công trình chỉnh trị tại Đồ Sơn (2015), Thừa Thiên Huế (2016), Quảng Ngãi (2016) và nhiều công trình dọc dải ven biển Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và đồng bằng sông Cửu Long (2010-2020).



*Hình 1: Tràn xả lũ thủy điện Hòa Bình, thí nghiệm năm 1999 và công Láng Thè, Trà Vinh, thí nghiệm năm 2000*

Ngoài việc phục vụ thí nghiệm tính đúng đắn của việc thiết kế các công trình lớn, thí nghiệm MHVL còn được sử dụng để nghiên cứu khoa học cơ bản, như nghiên cứu các loại cửa van,

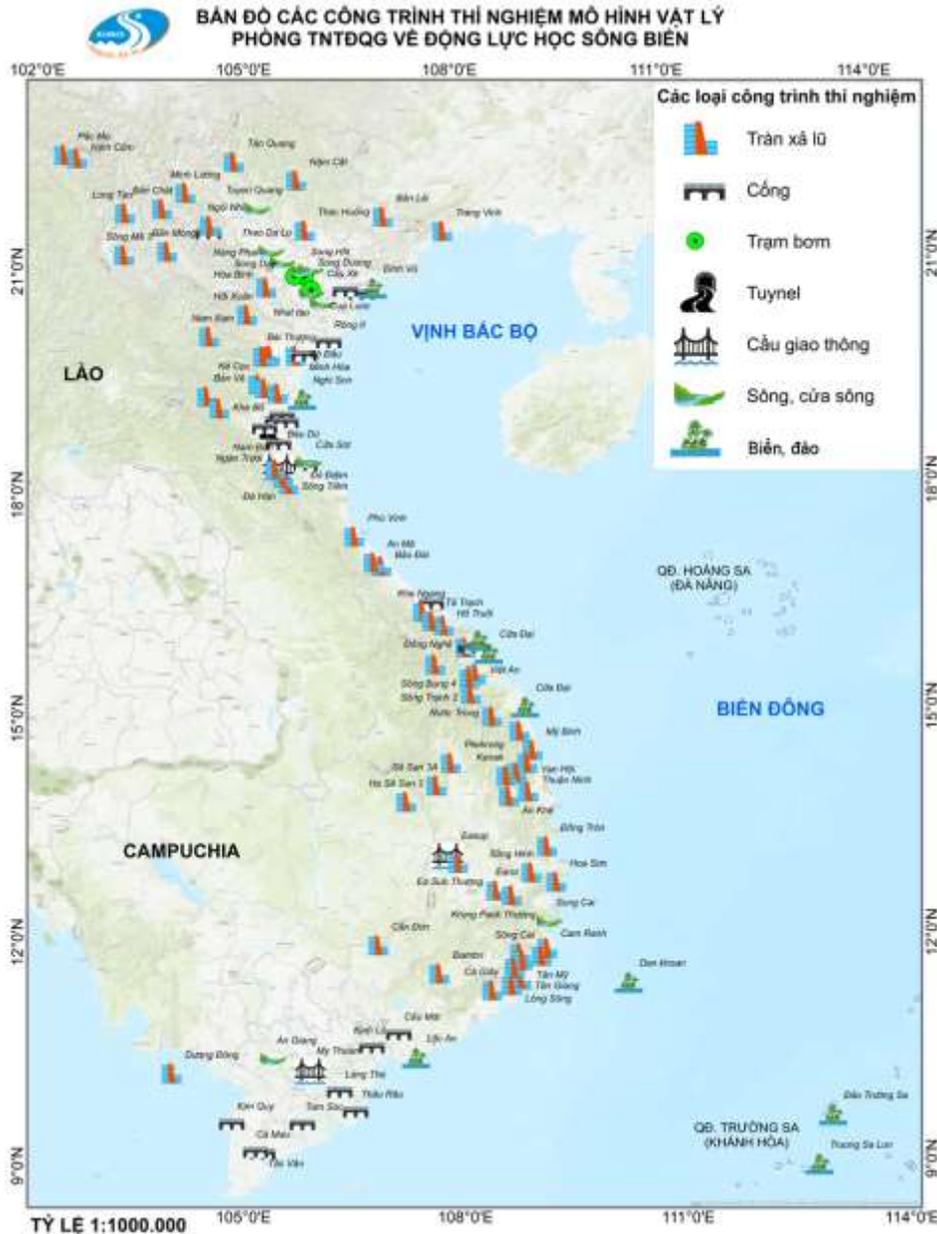
đào tạo nghiên cứu từ thạc sỹ, tiến sỹ trong cả nước. Cho đến nay, đã có nhiều nghiên cứu sinh sử dụng MHVL để nghiên cứu và bảo vệ thành công ở Việt Nam.



*Hình 2: Mô hình thoát lũ, ổn định lòng sông Hồng khu vực Hà Nội, thí nghiệm năm 2002*



*Hình 3: Thí nghiệm đánh giá hiệu quả giải pháp bố trí công trình chỉnh trị cửa Đại tỉnh Quảng Ngãi*



Hình 4: Bản đồ các công trình thí nghiệm vật lý tại Phòng TNTĐ

## 2. MÔ HÌNH VẬT LÝ NGÀY NAY

Trong hơn nửa thế kỷ, mô hình vật lý đã đóng một vai trò quan trọng trong việc thiết kế và vận hành thành công các công trình thủy lợi, thủy điện cũng như các công trình chỉnh trị sông, cửa sông, bờ biển trên khắp cả nước. Hiện nay, những tiến bộ trong mô hình số (đặc biệt là cơ học chất lỏng ba chiều - CFD) đã làm giảm nhu cầu về mô hình vật lý trong một số trường hợp nhất định [12].

Rất nhiều mô hình số đã được ra đời từ các công ty, trường đại học và trung tâm nghiên cứu khác nhau, ứng dụng trong các lĩnh vực khác nhau, ví dụ về lĩnh vực kết cấu (SAP 000, ANSYS, RISA, ABAQUS, ORION, ADINA, CEDRUS, ETABS và STRUDL), nghiên cứu địa kỹ thuật (3DEC, GEO5 FEM và PLAXIS), thiết kế ven biển (OpenFOAM, FLUENT, FLOW-3D, DELFT-3D, TELEMAC, SWAN, FVCOM, XBEACH, BOUSS-2D, RMA2 và MIKE 21) và các ứng dụng thủy văn/thủy lực

(QGIS, MODFLOW, PRIMS, SWAT, SWMM, FLO-2D, DELFT-2D, IBER, HEC-HMS và HEC-RAS, FLOW-3D). Các mô hình số được sử dụng mô phỏng, tính toán cho cả giai đoạn tiền khả thi, khả thi, thiết kế và cả sau khi vận hành công trình.

Tuy nhiên, trong kỹ thuật thủy động lực học vẫn còn một số vấn đề dòng chảy phức tạp chưa thể mô phỏng chính xác bằng các mô hình số. Đặc biệt, các mô hình hoạt động của các cấu trúc đầu vào máy bơm, mô phỏng của các vật nổi, bùn cát lơ lửng vẫn đang là thách thức cho mô hình số chất lỏng. Do đó, các mô hình vật lý thường được sử dụng để dự đoán sự vận chuyển bùn cát trong sông, lượng trầm tích đi vào nhà máy. Các mô hình vật lý cũng được sử dụng để nghiên cứu dòng chảy qua cửa hút của máy bơm ở những nơi có khả năng xảy ra dòng chảy thẳng đứng không ổn định, cuốn theo không khí.

Một số công trình trạm bơm quy mô lớn với điều kiện thủy lực phức tạp gần đây đã được thí nghiệm ở Phòng TNTĐ. Có thể kể đến trạm bơm Nghi Xuyên (năm 2011), với việc thí nghiệm vận hành trạm bơm tiêu nước và xói lở bờ sông, mô hình trên sông Hồng [13]. Trạm bơm Yên Sở thí nghiệm năm 1999, tiêu thoát nước lũ của nội thành Hà Nội ra sông Hồng. Trạm bơm Yên Nghĩa thí nghiệm năm 2015, tiêu thoát nước lũ phía Tây Hà Nội ra sông Nhuệ.



Hình 5: Mô hình trạm bơm Yên Sơn được thí nghiệm năm 1999

Bên cạnh đó, các hiện tượng thủy lực như xói lở bờ sông, bờ biển, vận chuyển bùn cát, bồi lấp cửa lấy nước, vốn còn hạn chế bởi mô phỏng số cũng được nghiên cứu trên mô hình vật lý. Năm 2013, chế độ thủy lực dòng sông Hậu qua thành phố Long Xuyên (An Giang) đã được mô hình hóa trên mô hình lòng mềm, nhằm nghiên cứu xói lở, bồi lắng phục vụ gia cố và chỉnh trị bờ sông [14]. Các giải pháp hạn chế bồi lắng trước cửa lấy nước cũng được đề xuất thông qua nghiên cứu trên mô hình vật lý. Chế độ thủy lực phức tạp trước đập dâng sau đoạn sông cong và bùn cát lơ lửng đoạn đập dâng Đô Lương đã được nghiên cứu chi tiết bằng mô hình vật lý, từ đó đề xuất tuyến kè để tối ưu chế độ dòng chảy và giảm thiểu bồi lắng bùn cát trước cửa lấy nước [15].

Ngoài ra, các kết cấu thủy lực mới cũng cần thiết phải thí nghiệm vật lý nhằm tối ưu hóa chế độ thủy lực hoặc làm dữ liệu huấn luyện cho mô hình số. Trần phím đàn Piano là một ví dụ. Năm 2012, Phòng TNTĐ đã nghiên cứu tràn Piano đầu tiên trên mô hình tổng thể, áp dụng cho công trình thủy lợi Ngàn Trươi [16]. Công trình được mô hình hóa với tỷ lệ 1/50 nhằm đánh giá các hiện tượng, thông số thủy lực, kết cấu, kích thước hình học và hoàn thiện công trình.



Hình 6: Mô hình tràn phím đàn Piano được thí nghiệm tại PTNTĐ năm 2012

Bên cạnh đó, các mô hình mô phỏng chế độ dòng chảy của biển và hải đảo, vốn phức tạp về mặt kỹ thuật, lại khó khăn về tiếp cận thực tế, cần thiết phải được thí nghiệm bằng mô hình vật lý. Năm 2011, nghiên cứu thí nghiệm

xác định chiều cao sóng lên đảo Trường Sa Lớn, hay năm 2018, một nghiên cứu mô hình vật lý phức tạp khác về phát triển, hoán cải dàn

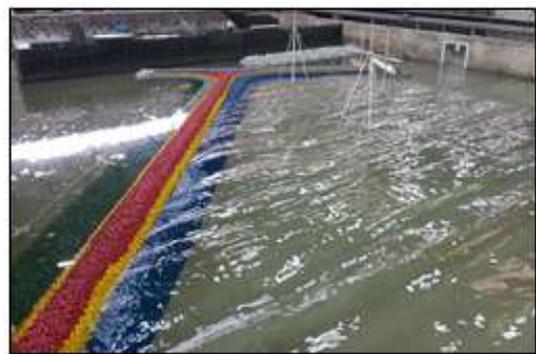
khoan dầu khí di động phục vụ phát triển kinh tế biển, an ninh quốc phòng đã được thực hiện tại Phòng thí nghiệm trọng điểm (Hình 7).



Hình 7: TN sóng trên đảo Trường Sa lớn (trái) và TN ổn định dàn khoan dầu khí kết cấu KCD khi vận chuyển trên biển (phải)

Mô hình vật lý cho phép tái tạo một cách tự nhiên các hiện tượng vật lý phi tuyến phức tạp như lực tác động của sóng vỡ lên kết cấu, sóng tràn, bước nhảy trong thủy lực, các vùng phân tách, hình thành các dòng xoáy và tiêu tán năng lượng kém. Những vấn đề này là thường rõ ràng ngay lập tức trong một mô hình vật lý. Do đó, các nghiên cứu liên quan đến kết cấu, bảo vệ bờ biển, đảo, hoặc đê chắn sóng, đê

biển cũng cần thiết được mô phỏng chi tiết trên mô hình vật lý. Đê biển chắn sóng Nghi Sơn, Thanh Hóa (Hình 8); đê biển Nam Đình Vũ, Hải Phòng, hay một số công trình bảo vệ bờ biển cửa sông từ Quảng Bình đến Thừa Thiên Huế, Đà Nẵng, Quảng Nam, Quảng Ngãi, Khánh Hòa, Vũng Tàu đã được thực hiện trên mô hình vật lý ở PTNTĐ những năm gần đây.

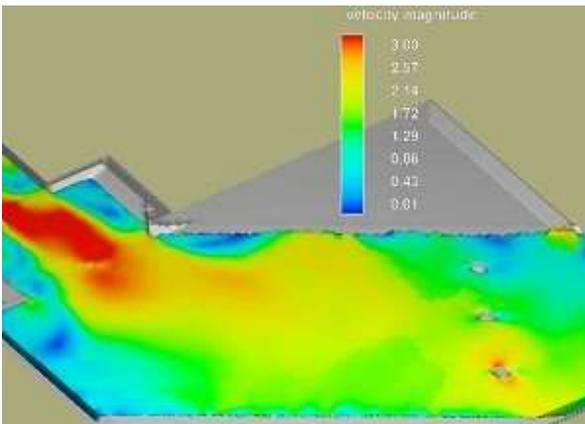


Hình 8: TN đê chắn sóng bán nguyệt (trái) và TN đê chắn sóng Nghi Sơn (phải)

Các mô hình số động lực học chất lỏng 3D ra đời, nhưng không có nghĩa là hai cách tiếp cận mô hình hóa loại trừ lẫn nhau. Trong những năm gần đây, mối quan hệ cộng sinh đã hình thành giữa mô hình số và mô hình vật lý, và

mối quan hệ này vẫn tiếp tục phát triển. Cụ thể, hai cách tiếp cận thường được sử dụng song song để mô hình hóa các vấn đề dòng chảy phức tạp và cung cấp cho các nhà thiết kế và các bên liên quan bức tranh hoàn chỉnh nhất

về vấn đề dòng chảy bằng cách dựa trên các điểm mạnh của từng kỹ thuật mô hình hóa [12]. Năm 2015, bằng cách kết hợp mô hình toán 2 chiều MIKE 21 với mô hình vật lý, một tổ hợp nghiên cứu các giải pháp công trình chỉnh trị khu vực hợp lưu sông Thao-Đà-Lô đã được thực hiện tại phòng TNTĐ [17]. Với cách tiếp cận này, nhóm nghiên cứu Nguyễn Đăng Giáp và cộng sự đã lựa chọn được giải pháp chỉnh trị đoạn sông phù hợp với điều kiện thủy lực và diễn biến lòng dẫn. Hay năm 2017, Lê Văn Nghị và cộng sự đã kết hợp mô hình số Flow 3D với mô hình vật lý để mô phỏng tác động của dòng chảy qua Tuynel TN1 tới ổn định lòng dẫn và trụ cầu Ngàn Trươi (Hà Tĩnh) trên đường Hồ Chí Minh [18]. Từ đó có thể thấy, mô hình số được còn được sử dụng để giúp thiết lập các điều kiện biên cho mô hình vật lý và giảm quy mô của mô hình tổng thể (và giảm chi phí) của mô hình vật lý. Đây cũng chính là một trong những hướng tiếp cận của mô hình vật lý trong tương lai.



Hình 9: Mô hình số 3D bề tiêu năng sau Tuynel xả lũ Ngàn Trươi

### 3. MÔ HÌNH VẬT LÝ TRONG TƯƠNG LAI

Các tài nguyên tính toán và khả năng mô phỏng của mô hình số sẽ tiếp tục phát triển theo cấp số nhân trong những năm tới. Cụ thể, các tiến bộ sẽ cho phép mô phỏng dòng xoáy lớn (large-eddy simulations LES) và mô phỏng số trực tiếp (direct numerical simulation DNS) được áp dụng nhiều hơn cho các vấn đề trong

thế giới thực và nhiều hiện tượng vật lý của dòng chảy sẽ được tính toán bằng các mô phỏng số. Tuy nhiên, khả năng ứng dụng của các mô hình vật lý cho một số loại bài toán dòng chảy sẽ vẫn còn phù hợp [19]. Chúng bao gồm các dòng chảy có độ cắt cao (dòng chảy xoáy và dòng chảy thẳng đứng do trộn khí) và dòng chảy hai pha trong đó sự liên kết hai chiều giữa các pha là rất quan trọng. Những loại ứng dụng này dự kiến sẽ vẫn vượt quá giới hạn của CFD trong vài thập kỷ nữa [12]. Ngay cả khi CFD được áp dụng, chi phí của mô hình CFD có thể vượt quá chi phí của mô hình vật lý. Chi phí và lượng thời gian máy tính cần thiết cho một mô phỏng đang giảm; tuy nhiên, số lượng đầu ra mô hình phải được phân tích ngày càng tăng. Việc tăng thời gian phân tích và xử lý hậu kỳ làm tăng chi phí cho phân tích CFD. Trong khi đó, những tiến bộ trong kỹ thuật xây dựng mô hình vật lý, ví dụ như công nghệ in 3D các thành phần mô hình nhỏ, đã cho phép chi phí thử nghiệm và xây dựng mô hình vật lý theo kịp lạm phát.



Hình 10: Bể tạo sóng triều kết hợp công nghệ Đan Mạch kích thước 40x27x1.0m tạo sóng đều và không đều trên nền thủy triều với độ sâu lớn nhất 25cm

Người ta dự đoán rằng mô hình vật lý và mô hình số sẽ tiếp tục trong mối quan hệ cộng sinh của chúng trong tương lai gần và mô hình vật lý sẽ duy trì chỗ đứng vững chắc như một công cụ quan trọng trong quy trình thiết kế kỹ thuật.



Hình 11: Mô hình cầu Thanh Trì, cầu Vĩnh Tuy (trái) và cầu Mỹ Thuận 2 (phải)



Hình 12: Thí nghiệm mô phỏng vỡ đập ở Phòng TNTĐ [20]

Do đó, trong tương lai, việc ứng dụng và phát triển các mô hình số để hỗ trợ, học tập với mô hình vật lý sẽ là rất cần thiết cho các nhà nghiên cứu thủy động lực học. Ngoài ra, những hệ thống công trình thủy lợi, thủy điện lớn không thể thiếu phần thực nghiệm trên mô hình vật lý trước khi đưa ra phương án xây dựng cuối cùng. Bên cạnh đó, các vấn đề thủy lực phức tạp như vận chuyển bùn cát, bồi lắng, xói lở bờ sông bờ biển, hoặc trạm bơm, dòng lưu tốc cao, trộn khí... do chưa thể mô phỏng toán học một cách chính xác nên vẫn cần thiết phải nghiên cứu trên mô hình vật lý. Thêm vào đó, những vấn đề thủy lực như sóng do vỡ đập, hoặc tuynel phân lũ có độ dài lớn cần thiết phải được mô phỏng bởi cả mô hình số lẫn mô hình vật lý để giải quyết các vấn đề thủy lực phức tạp. Ngoài ra, những dự án khai thác

thêm lục địa ví dụ thăm dò dầu khí, công trình cầu vượt biển, hoặc các dự án nhà máy điện gió, điện sóng, thủy triều, do tính chất phức tạp của sóng – triều kết hợp nên cần thiết phải thí nghiệm mô hình vật lý. Mặt khác, bản thân MHVL cũng cần phải nghiên cứu sâu hơn nữa để tìm ra vấn đề tương tự vật liệu trong thí nghiệm mô hình lòng động để kết quả thí nghiệm MHVL sát hơn với thực tế.

#### 4. KẾT LUẬN

Sau hơn 60 năm, nghiên cứu thí nghiệm mô hình vật lý đã đóng góp rất lớn vào khoa học và thực tiễn ngành thủy lợi nước nhà. Hiện nay, bất chấp sự phát triển, cải tiến và áp dụng rộng rãi các phương pháp số và mô hình toán, nhưng đối với nhiều vấn đề trong thế giới thực, không có giải pháp toán học và số nào đủ mạnh để giải quyết toàn bộ vấn đề thủy lực phức tạp. Tương tự như vậy, một mình mô hình vật lý cũng không giải quyết được nhiều vấn đề trong thế giới thực. Thế nên, các mô hình vật lý và mô hình số đang được coi là các phương pháp hỗ trợ, cộng sinh với nhau. Do đó, trong tương lai, các phòng thí nghiệm vẫn cần thiết duy trì nghiên cứu mạnh mẽ vào mô hình vật lý, cùng với đó là đầu tư ứng dụng, phát triển mô hình số và phương tiện tính toán, để hỗ trợ bổ sung cho nhau cùng phát triển lâu dài.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Smeaton, “An experimental Enquiry concerning the natural Powers of Water and Wind to turn Mills, and other Machines, depending on a circular Motion,” *Phil. Trans.*, vol. 51, no. (for 1759), pp. 100–174, 1760.
- [2] L. Euler, “Regula facilis pro diiudicanda firmitate pontis aliusve corporis similis excognita firmitate moduli,” *Euler Arch.*, vol. 486, no. 1776, pp. 271–285, 1776.
- [3] W. Froude, “Experiments upon the effect produced on the wave-making resistance of ships by lengths of parallel middle body,” *Trans. Inst. Nav. Archit.*, vol. XVIII, no. discussion, 87-97, pp. 77–87, 1877.
- [4] H. Hossdorf, “Model Analysis of Structures (trans. C. van Amerongen),” *New York Van Nostrand Reinhold.*, vol. 1, no. 1, pp. 303–335, 1974.
- [5] B. Addis, *Past, current and future use of physical models in civil engineering design*, vol. 174, no. 2. 2020.
- [6] L. Fargue, “Expériences relatives à l’action de l’eau courante sur un fond de sable,” *Ann. des Ponts Chaussées, Mémoires Doc.*, vol. VII, 1, no. Semester: 426-466, pp. 11–19, 1894.
- [7] O. Reynolds, “On certain laws relating to the regime of rivers and estuaries, and on the possibility of experiments on a small scale,” *Rep. 57th Meet. Br. Assoc. Adv. Sci. held Manchester 1887*, vol. London: Jo, p. 555-562, 1888.
- [8] J. Freeman, “Hydraulic laboratory practice,” *New York Am. Soc. Mech. Eng.*, pp. 549–551, 1929.
- [9] B. Fatherree, “The first 75 years: History of hydraulics engineering at the Waterways Experiment Station,” *US Army Corps Eng. Eng. Res. Dev. Cente*, no. Freeman 1929, pp. 1–61, 2004.
- [10] PTNTĐ, “Giới thiệu phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển,” 2008.
- [11] V. KHTLVN, “Vươn lên để xứng tầm là một Viện hàn lâm khoa học,” 2010. .
- [12] D. Gessler and A. Johansson, “After 125 Years Of Physical Modelling Experience, What’s Next?,” *Water Online*, 2019, [Online]. Available: <https://www.wateronline.com/doc/after-years-of-physical-modeling-experience-what-s-next-0001>.
- [13] Đ. T. H. Huệ and Nnk, “Thí nghiệm mô hình trạm bơm Nghi Xuyên,” *Phòng TNTĐQG về động lực học sông biển*, pp. 5–22, 2011.
- [14] Đ. T. H. Huệ and Nnk, “Mô hình vật lý đoạn sông Hậu qua Thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang,” *Phòng TNTĐQG về động lực học sông biển*, 2013.
- [15] L. V. Nghị, “Nghiên cứu giải pháp hạn chế bồi lắng trước cửa lấy nước trước đập dâng sau đoạn sông cong áp dụng cho đầu mối lấy nước của hệ thống thủy lợi Bắc Nghệ An,” *Tạp Chí Kh&Cn Thủy Lợi*, vol. 37, pp. 1–7, 2017.
- [16] L. V. Nghị and Nnk, “Báo cáo kết quả thí nghiệm MHTL - Mô hình tổng thể - Tràn xả lũ Ngàn Trươi,” *Phòng TNTĐQG về động lực học sông biển*, 2012.
- [17] N. D. Giap and Nnk, “Đánh giá hiệu quả các giải pháp công trình chỉnh trị khu vực hợp lưu sông Thao - Đà - Lô - Hồng trên mô hình toán và mô hình vật lý,” *Đề tài KC.08.02/11-15. Phòng TNTĐQG về động lực học sông biển*, vol. 15, no. 2015, p. 2022, 2015.
- [18] L. V. Nghị, P. H. Cường, and Đ. T. M. Yên, “Mô phỏng tác động của dòng chảy qua Tuynel TN1 tới ổn định lòng dẫn và trụ cầu Ngàn Trươi trên đường Hồ Chí Minh bằng mô hình toán 3D,” *Tạp Chí Kh&Cn Thủy lợi*, vol. 38, pp. 1–10, 2017.
- [19] J. S. Antunes Do Carmo, “Physical Modelling vs. Numerical Modelling: Complementarity and Learning,” *Preprints*, no. July, 2020, doi: 10.20944/preprints202007.0753.v1.
- [20] L. V. Nghị, B. V. Hữu, and Nnk, “Đề tài KHCN cấp nhà nước KC08: ‘Nghiên cứu đánh giá rủi ro đối với thượng, hạ dụ khi xảy ra sự cố các đập trên hệ thống bậc thang thủy điện sông Đà,’” *Phòng TNTĐQG về động lực học sông biển.*, 2015.