

# TÍNH TOÁN BIẾN HÌNH LÒNG DẪN HỆ THỐNG SÔNG HỒNG

Trần Thanh Tùng, Đỗ Tất Túc-Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội  
Trần Thực - Viện Khí tượng Thủy văn

## Tóm tắt

Mô hình HEC-6 do Trung tâm kỹ thuật thủy văn Hoa Kỳ (HEC) xây dựng đã được áp dụng để tính toán sự chuyển tải bùn cát và biến hình lòng dẫn hệ thống sông Hồng. Mô hình được dựa trên việc giải phương trình đường mặt nước và tính toán vận chuyển bùn cát trong sông. Số liệu thực đo mực nước, lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát được dùng để kiểm định mô hình. Kết quả tính toán rất phù hợp với tài liệu thực đo. Mô hình được áp dụng để tính toán đánh giá khả năng diễn biến lòng dẫn của hệ thống sông Hồng trong tương lai.

## 1. Giới thiệu chung

Sông Hồng là con sông lớn nhất ở miền bắc nước ta với diện tích lưu vực khoảng 143.000km<sup>2</sup>. Hồ Hoà Bình được xây dựng trên sông Đà. Bên cạnh những nguồn lợi to lớn trong phòng lũ và phát điện, hồ Hoà Bình cũng gây nên những ảnh hưởng đáng kể tới môi trường ở thượng và hạ lưu, đặc biệt là vấn đề bồi lắng lòng hồ và xói lở ở hạ lưu công trình. Nghiên cứu biến hình lòng dẫn do ảnh hưởng của hồ chứa tới vùng hạ lưu là vấn đề cần thiết, giúp đề ra những biện pháp bảo vệ bờ và ngăn ngừa những tác động bất lợi do hồ chứa gây ra.

Trong quá khứ, mô hình vật lý đã được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu diễn biến lòng sông và bồi lắng hồ chứa. Tuy nhiên, với sự phát triển của công nghệ tin học và kỹ thuật tính toán, mô hình toán đã dần được xem là một công cụ hiệu quả do tính kinh tế và thời gian cùng với độ chính xác trong việc tính toán dòng chảy, vận chuyển cát bùn và diễn biến lòng sông. Mô hình toán có nhiều ưu điểm như: có phạm vi ứng dụng rộng rãi, đa dạng với nhiều dạng mô hình khác nhau; giá thành xây dựng mô hình là rẻ nhất và cho kết quả mô phỏng nhanh nhất; việc thay đổi các phương án tính dễ dàng và đơn giản. Do đó, mô hình toán đang được áp dụng một cách rộng rãi trên thế giới cũng như tại Việt Nam.

Nghiên cứu này nhằm áp dụng mô hình toán để tính biến hình lòng sông của hệ thống sông Hồng từ Hoà Bình, Yên Bái, Vụ Quang đến Hà Nội và ước tính những tác động bất lợi của hồ chứa tới lòng dẫn hạ lưu. Sơ đồ hệ thống sông Hồng được trình bày trong hình 1.

## 2. Cơ sở lý thuyết của mô hình

Mô hình HEC-6 do Trung tâm kỹ thuật thủy văn Hoa Kỳ xây dựng và đã được sử dụng rộng rãi ở Mỹ cũng như nhiều nước khác trên thế giới. Phiên bản dùng trong nghiên cứu này là phiên bản 4.1, công bố năm 1993. Mô hình có khả năng tính toán thủy lực và vận chuyển bùn cát trong mạng lưới sông cũng như bồi lấp hồ chứa. Mô hình có kết cấu mềm dẻo và cho phép áp dụng nhiều công thức

tính vận chuyển bùn cát khác nhau.

Các ứng dụng của mô hình bao gồm: (1) mô phỏng xu thế dài hạn của hiện tượng bồi hoặc xói lòng sông do kết quả của sự thay đổi có tính thường xuyên và tính chu kỳ của lưu lượng hoặc do sự thay đổi hình dạng kênh, (2) tính toán bồi lắng hồ chứa, (3) tính toán thiết kế thu hẹp lòng dẫn để duy trì chiều sâu vận tải thủy, (4) tính toán khối lượng nạo vét và dự đoán ảnh hưởng của việc nạo vét đối với tốc độ bồi lắng, và (5) ước tính khả năng xói lớn nhất có thể xảy ra sau các trận lũ lớn.

Tuy nhiên, vì mô hình HEC-6 là mô hình dòng ổn định một chiều cho nên có những hạn chế như sau: (1) mô hình không tính toán chuyển tải bùn cát theo phương ngang cho nên không có khả năng tính xói lở bờ. Mô hình không có khả năng mô phỏng hiện tượng dòng chảy vòng, (2) chỉ áp dụng được cho sông không bị ảnh hưởng triều.

### 3. Phương trình cơ bản

#### *Phương trình tính đường mặt nước*

Đường mặt nước được tính từ phương trình bảo toàn năng lượng cho dòng 1 chiều:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

trong đó:  $g$  = gia tốc trọng trường,  $h_e$  = tổn thất năng lượng,  $V_1, V_2$  = vận tốc trung bình tại các đầu của nhánh sông,  $WS_1, WS_2$  = cao trình mực nước tại các đầu của đoạn sông,  $\alpha_1, \alpha_2$  = hệ số phân bố vận tốc dòng chảy tại các đầu của đoạn sông.

Tổn thất năng lượng được chia ra thành tổn thất do ma sát và tổn thất do thu hẹp hoặc mở rộng. Mặt cắt ngang được chia làm các diện tích bộ phận gồm lòng chính, bãi tràn bên trái và bãi tràn bên phải. Hệ số nhám trên các diện tích bộ phận có thể nhận những giá trị khác nhau.

#### *Phương trình tính toán vận chuyển bùn cát và diễn biến lòng sông*

Sức tải cát được tính cho mỗi giá trị lưu lượng có trong thủy đồ dòng chảy tương ứng với mỗi loại đường kính hạt. Sức tải cát đáy được tính cho mỗi cấp đường kính hạt tại đáy. Một số công thức tính sức tải cát được dùng trong mô hình như: Toffaleti, Madden và Laussen, Yang, DuBoy, Acker-White, Colby, Toffaleti và Schoklitsch, Meyer-Peter và Muller, Toffaleti, Meyer-Peter và Muller, Copeland và Laussen, và hệ số sức tải do người sử dụng xác định dựa trên số liệu quan trắc.

Trong nghiên cứu này đã sử dụng hàm sức tải cát dựa trên năng lượng dòng chảy của Yang có dạng như sau:

$$\begin{aligned} \log c = & 5,435 - 0,286 \log \left( \frac{v_{ss} d}{v} \right) - 0,457 \frac{\sqrt{g D s}}{V_{ss}} \\ & + \left[ 1,799 - 0,409 \log \frac{v_{ss} d}{v} - 0,314 \log \frac{\sqrt{g D s}}{V_{ss}} \right] \log \left[ \frac{V_s}{V_{ss}} - \frac{V_{cs}}{V_{ss}} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó:  $c$  = nồng độ bùn cát,  $v_s$  = năng lượng dòng chảy đơn vị tác động vào hạt

bùn cát,  $v_{ss}$  = độ thô thủy lực (tốc độ chìm lắng trung bình của hạt bùn cát),  $v_{cs}$  = năng lượng dòng chảy đơn vị giới hạn tại thời điểm hạt bùn cát bắt đầu chuyển động,  $d$  = đường kính trung bình hạt bùn cát,  $D$  = độ sâu của dòng chảy,  $s$  = độ dốc thủy lực,  $v$  = hệ số nhớt động học.

Mỗi mặt cắt ngang đại diện cho 1 thể tích khống chế. Chiều rộng của thể tích khống chế thường bằng chiều rộng của lòng động và chiều sâu được tính từ cao trình đường mặt nước tới điểm thấp nhất ở đáy hoặc điểm khống chế địa chất nằm dưới bề mặt đáy. Phương trình liên tục bùn cát được viết cho thể tích khống chế này. Phương trình liên tục bùn cát được sử dụng để tính toán cao trình đáy do bồi hoặc xói trong mô hình HEC-6 là phương trình Exner như sau:

$$\frac{\partial G}{\partial x} + B_0 \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

trong đó:  $B_0$  = chiều rộng của lòng động,  $t$  = thời gian,  $x$  = khoảng cách dọc sông,  $G$  = suất chuyển lưu lượng bùn cát trung bình trong bước thời gian  $\Delta t$ ,  $Y_s$  = chiều sâu bùn cát trong thể tích khống chế.

#### 4. Tính toán biến hình cho hệ thống sông Hồng

##### *Sơ đồ tính*

Hệ thống sông Hồng được sơ đồ hoá gồm 1 dòng chính và 3 nhánh phụ với 73 mặt cắt ngang được sử dụng trong tính toán. Dòng chính là sông Hồng, sông Đà với biên thượng lưu là Hoà Bình và biên hạ lưu là Hà Nội. Các nhánh bao gồm sông Đuống với biên tại Thượng Cát, sông Lô với biên tại Vụ Quang, sông Thao với biên tại Yên Bái. Xem sơ đồ tính thủy lực của hệ thống sông Hồng ở hình 1.

##### *Điều kiện ban đầu*

Điều kiện ban đầu là 73 mặt cắt ngang đo đạc năm 1992.

##### *Điều kiện biên*

Các biên lưu lượng tại thượng lưu và tại các điểm nhập lưu, phân lưu cục bộ tương ứng là Hoà Bình, Yên Bái, Vụ Quang và Thượng Cát. Các đặc trưng của bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy, quan hệ giữa lưu lượng nước và lưu lượng bùn cát được xác định tại các biên thượng và hạ lưu các điểm nhập lưu, phân lưu cục bộ. Mực nước được sử dụng tại các biên hạ lưu. Bước thời gian 1 ngày được dùng trong tính toán.

#### 5. Kiểm định mô hình

##### *Mô hình thủy động lực học*

Số liệu mực nước trung bình ngày thực đo tại Trạm thủy văn Sơn Tây năm 1992 được dùng để kiểm định mô hình thủy động lực học. Kết quả tính toán rất phù hợp với số liệu thực đo như trình bày trong hình 2.

##### *Mô hình chuyển tải bùn cát*

Nồng độ bùn cát thực đo tại Sơn Tây năm 1993 được dùng để kiểm định mô hình chuyển tải bùn cát. Kết quả tính toán rất phù hợp với số liệu đo đạc, hệ số tương

quan giữa tính toán và đo đạc là 0,8. Hình 3 trình bày kết quả so sánh giữa nồng độ bùn cát tính toán và thực đo.

### *Mô hình hình thái*

Đường đáy sông theo trục dọc đo đạc năm 1994 của đoạn từ Hoà Bình đến Trung Hà được dùng để kiểm định mô hình hình thái. Kết quả so sánh được trình bày trong hình 4. Hệ số tương quan giữa kết quả tính toán và số liệu thực đo là 0,96. Kết quả cho thấy mô hình có thể mô phỏng quá trình diễn biến lòng sông Hồng. Mô hình vì vậy có thể áp dụng để ước tính sự thay đổi của lòng sông Hồng trong tương lai.

## **6. Mô phỏng hình thái của lòng dẫn trong tương lai**

Mô hình được dùng để tính toán sự thay đổi của cao trình đáy sông trên hệ thống sông Hồng đến năm 2000 do ảnh hưởng của hồ Hoà Bình. Đường quá trình lưu lượng và bùn cát của năm đại biểu được sử dụng để tính toán. Năm 1991 được chọn làm năm đại biểu vì có lưu lượng và bùn cát xấp xỉ bằng lưu lượng và bùn cát trung bình của chuỗi số liệu từ 1988-1996. Tỷ lệ thu phóng được xác định bằng tỷ số giữa tổng lượng dòng chảy nhiều năm trên tổng lượng dòng chảy năm 1991 của các trạm.

Tính đến năm 2000, sông Đà vẫn tiếp tục bị xói (phân hạ lưu của hồ Hoà Bình), nhưng phạm vi xói sâu lan truyền dần về mặt cắt phía hạ lưu, cụ thể là từ năm 1992-1994, phạm vi xói sâu trung bình trên 3m dao động từ vị trí mặt cắt số 10 đến mặt cắt số 21. Từ năm 1994-1996, phạm vi xói sâu trung bình trên 3m chuyển dần về hạ lưu từ mặt cắt 16 đến mặt cắt 32. Đến năm 2000, phạm vi xói sâu trên 3m chuyển về vị trí từ mặt cắt 21 đến mặt cắt 40 (Xem hình 5).

Sông Hồng có xu hướng bồi liên tục từ năm 1996 đến năm 2000, lượng bồi so với năm 1996 tăng không rõ rệt. Đoạn từ Trung Hà đến Sơn Tây, bồi xói xen kẽ giữa các vị trí và các thời kỳ trong năm do ảnh hưởng của sông Thao và sông Lô. Đoạn từ Sơn Tây về Hà Nội vẫn tiếp tục bồi.

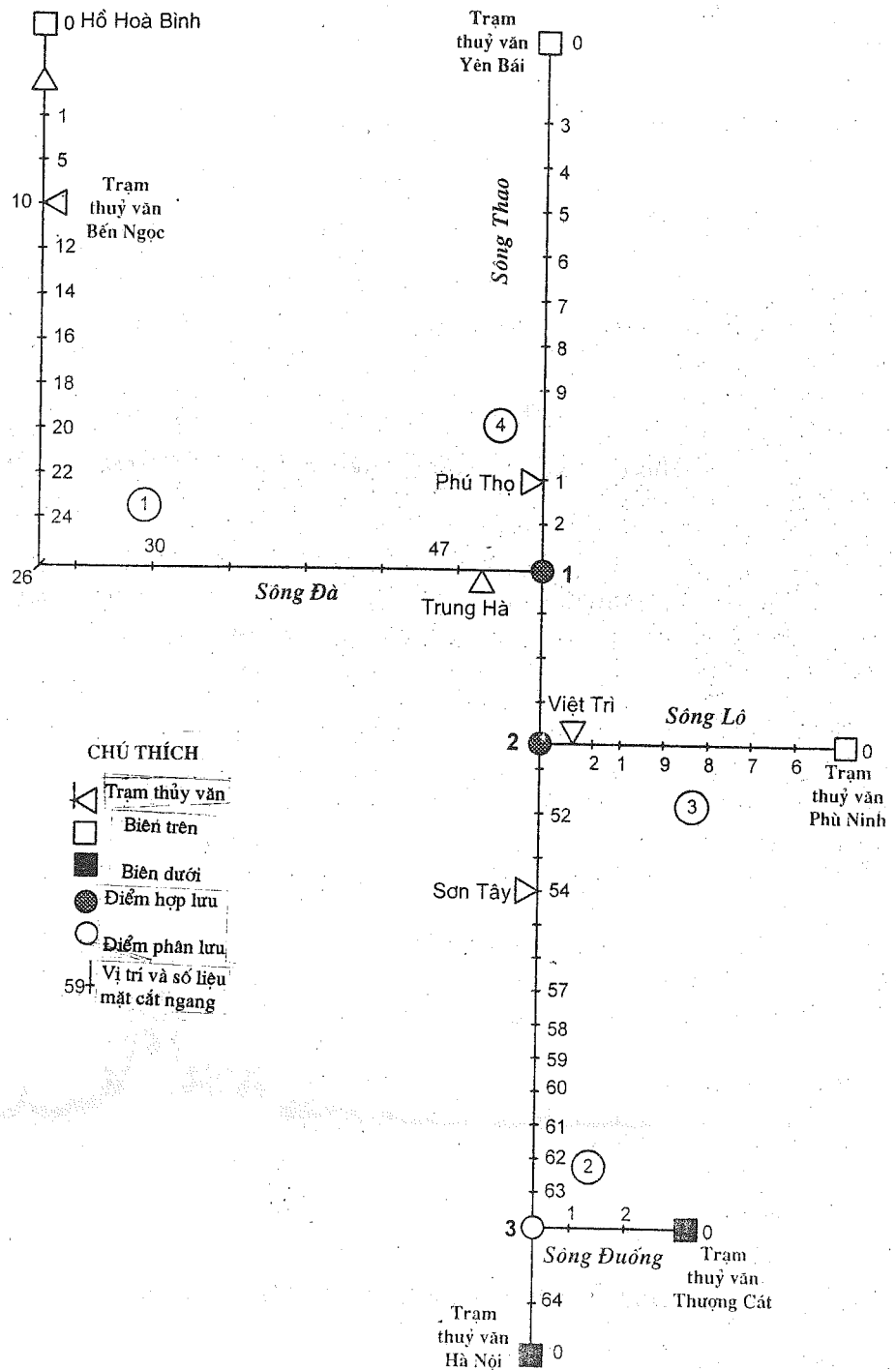
## **7. Kết luận**

Mô hình HEC-6 có thể ứng dụng tính toán sự chuyển tải bùn cát và thay đổi của lòng dẫn của hệ thống sông Hồng cho đoạn sông từ đập Hoà Bình đến Hà Nội. Từ những kết quả tính toán có thể kết luận rằng trong tương lai hoạt động của hồ Hoà Bình vẫn có ảnh hưởng tới hạ lưu. Trong đó sự xói lở cục bộ ở hạ lưu đập và sự bồi lắng của đoạn sông từ ngã ba Thao - Đà - Lô đến Hà Nội vẫn tiếp tục xảy ra.

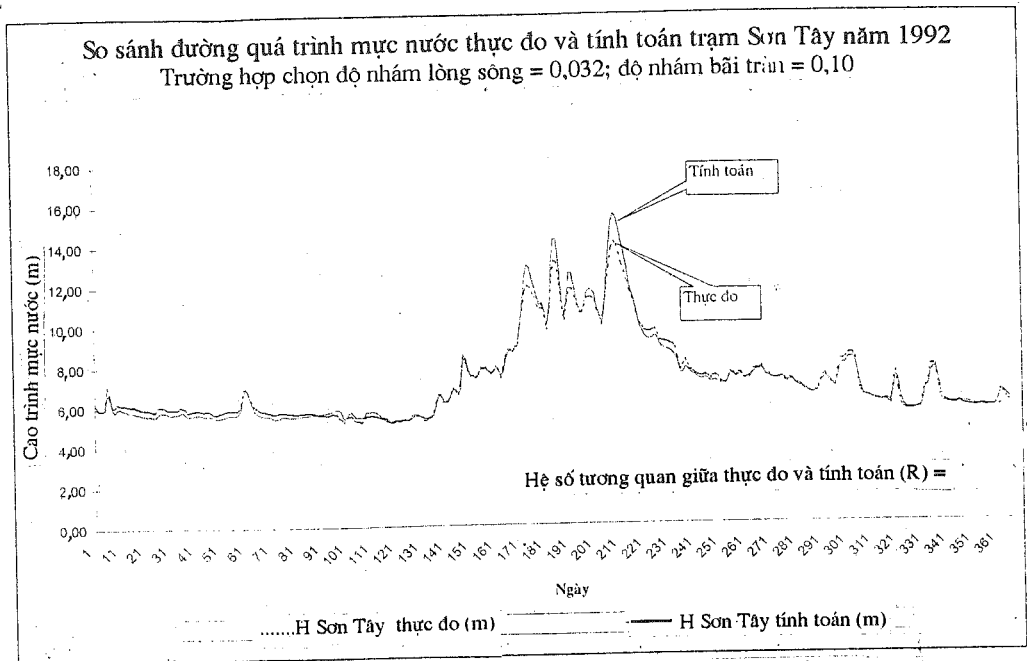
### **Tài liệu tham khảo**

1. Trần Thanh Tùng (1998), *Ứng dụng mô hình HEC-6 trong tính toán biến hình cho hệ thống sông Hồng*.- Luận án tốt nghiệp Thạc sĩ Khoa học Kỹ thuật, trường Đại học thủy lợi Hà Nội.
2. Gregory L. M., and Jiahua F. (1998), *Reservoir Sedimentation Handbook*. McGraw-Hill, New York, USA.
3. Hydrologic Engineering Center (1994), *Guidelines for performing HEC-6 Model*, USA.

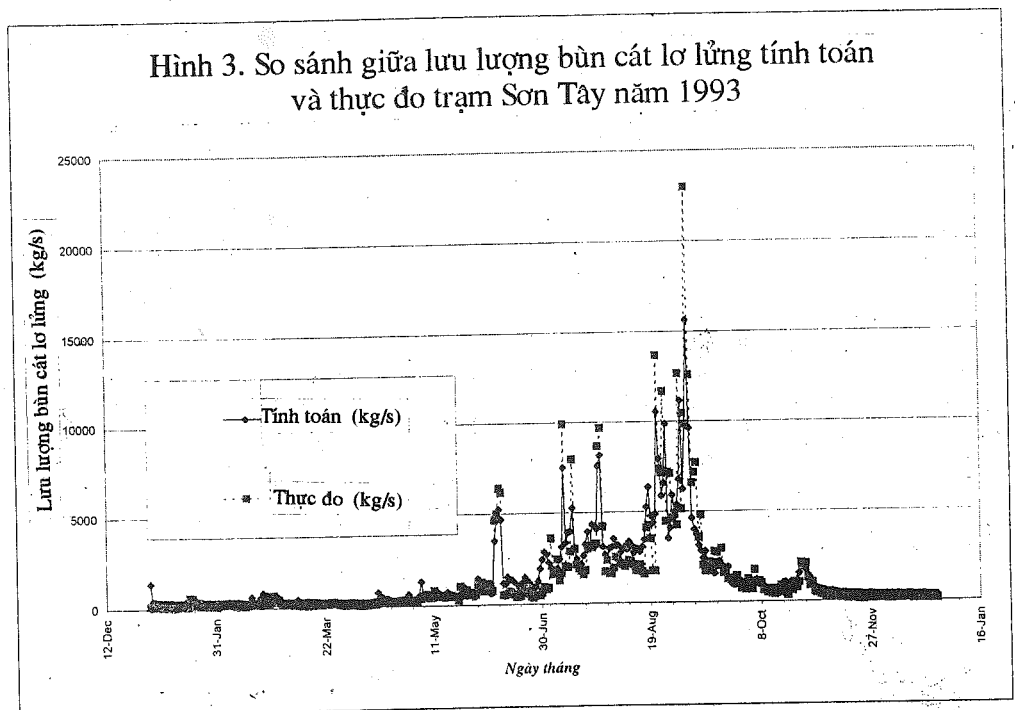
# Đập Hoà Bình



Hình 1. Sơ đồ thủy lực phân thượng lưu hệ thống sông Hồng

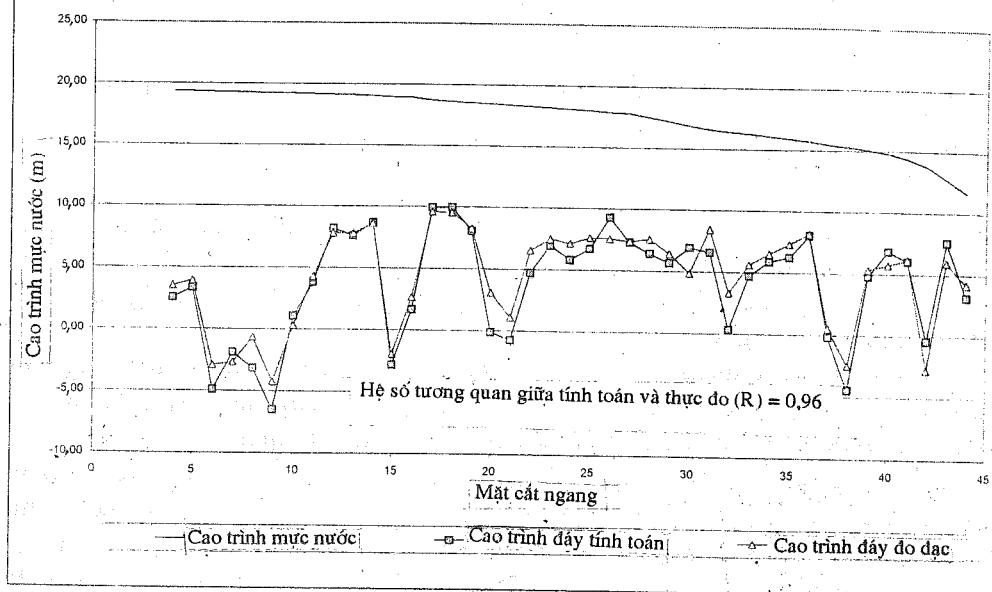


**Hình 2. Kết quả kiểm định mô hình thủy động lực học**

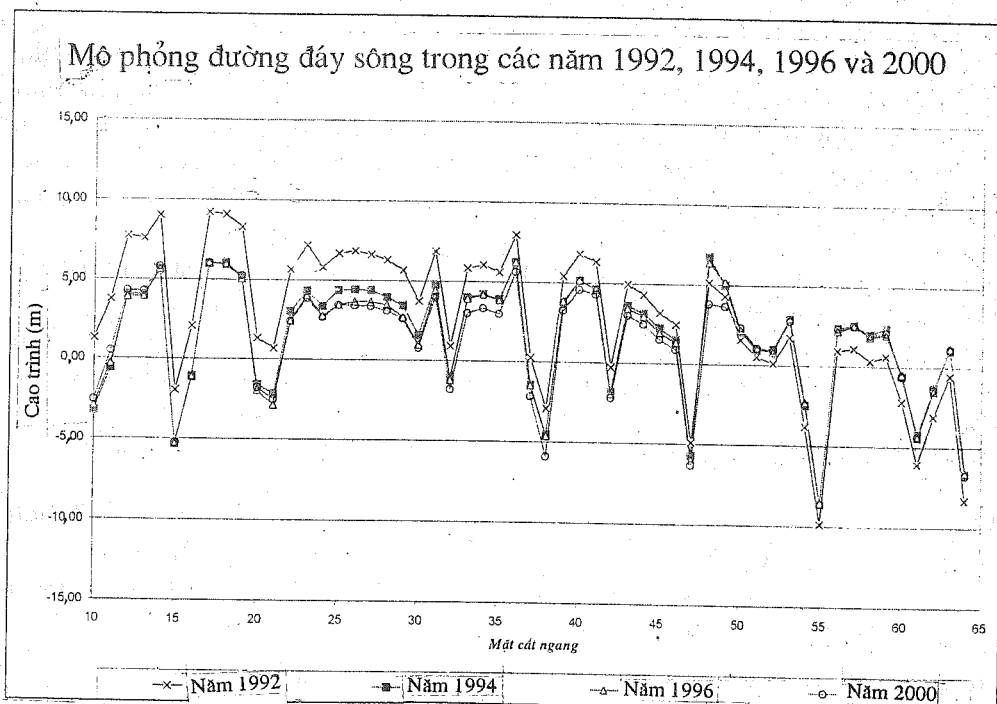


**Hình 3. Kết quả kiểm định mô hình chuyển tải bùn cát**

Hình 4. So sánh giữa đường đáy sông tính toán và thực đo năm 1994



Hình 4. Kết quả kiểm nghiệm mô hình hình thái



Hình 5. Kết quả mô phỏng đường đáy sông trong các năm từ 1992 đến 2000