

**ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MIKE 21C TÍNH TOÁN DIỄN BIẾN
LÒNG SÔNG HẬU ĐOẠN CHẢY QUA THÀNH PHỐ
LONG XUYÊN TỈNH AN GIANG**

TS. **Bùi Đạt Trâm, KS. Mai Anh Vũ, KS. Võ Tấn Linh**
Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn tỉnh An Giang

Gần nửa thế kỷ trôi qua (1964-2004) các nhà khoa học thủy văn, thủy lực của Viện nghiên cứu Thủy lợi Đan Mạch đã xây dựng một hệ thống phần mềm tính toán dòng chảy 1 chiều, 2 chiều và 3 chiều cho biển, hồ chứa và sông ngòi. Hệ thống phần mềm DHI SOFTWARE giải các bài toán dòng chảy 1 chiều, 2 chiều, 3 chiều không tải và có tải (các chất tải rắn, các chất tải hòa tan, khuếch tán,...) được ứng dụng ở nhiều nơi trên thế giới trong đó có mô hình MIKE 21C. Bài báo này giới thiệu những kết quả bước đầu của việc ứng dụng mô hình MIKE 21C tính toán diễn biến lòng sông Hậu - đoạn chảy qua thành phố Long Xuyên tỉnh An Giang (sau đây gọi tắt là đoạn sông nghiên cứu) có biến hình lòng dẫn phức tạp.

1. Mô hình dòng chảy xuất phát

Tư tưởng chủ đạo của MIKE 21C cho rằng thủy động lực của sông ngòi tự nhiên, nhất là sông cong uốn khúc được mô tả bằng một mô hình dòng chảy 3 chiều là rất phức tạp. Áp dụng một mô hình hoàn toàn 3 chiều cho những mô phỏng lâu dài (nhiều tháng) về hình thái sông ngòi đòi hỏi sự làm việc liên tục của máy tính trong thời gian dài là rất bất tiện. Có thể khắc phục hai khó khăn này, bằng các quá trình đơn giản hóa cho những phương trình Navier-Stokes. Những phương trình thủy động lực chủ đạo có thể được biến đổi thành những phương trình 2 chiều về sự bảo toàn động lượng và khối lượng tại những phương ngang. Những tác động của dòng chảy thứ cấp theo 3 chiều được giữ nguyên trong mô phỏng theo trung bình độ sâu bằng một mô hình riêng biệt về thành phần dòng chảy xoắn ốc và bằng cách giả sử có nét giống nhau của sự phân bố lưu tốc dòng chảy theo chiều dọc. Hệ phương trình thủy động lực xuất phát dùng trong mô hình MIKE 21C được biểu thị bởi 3 phương trình sau:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{pq}{h} \right) - 2 \frac{pq}{hR_s} + \frac{p^2 - q^2}{hR_n} + gh \frac{\partial H}{\partial s} + \frac{g}{C^2} \frac{p \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = RHS$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{q^2}{h} \right) + 2 \frac{pq}{hR_s} - \frac{q^2 - p^2}{hR_n} + gh \frac{\partial H}{\partial n} + \frac{g}{C^2} \frac{q \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = RHS$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial q}{\partial n} - \frac{q}{R_s} + \frac{p}{R_n} = 0$$

trong đó: s, n - tọa độ trong hệ tọa độ đường cong; p, q - những thông lượng khối lượng lần lượt theo chiều s và n; H - cao trình mực nước; h - độ sâu khối nước; g - gia tốc trọng lực; C - hệ số Chezy; R_s , R_n - bán kính cong của đường s và đường n; RHS (bao gồm các ứng suất Reynolds, lực Coriolis, áp suất khí quyển, gradient áp suất các độ dốc bề mặt nước, gia tốc dòng chảy, sự đổi lưu và động lượng ngang, ứng suất cắt đáy, sự phân tán động lượng, lực gió,...).

2. Mô hình vận chuyển bùn cát

MIKE 21C tập trung phân tích các tài liệu đã có và đi đến lựa chọn hoặc thiết lập mới các phương trình tính toán khối lượng và biểu thị cách thức vận chuyển của dòng phù sa lơ lửng, dòng phù sa di đẩy đáy, dòng phù sa tổng (lơ lửng+di đẩy đáy), xói mòn đất bờ sông, đào xói và bồi tụ đáy sông. Phương trình vận chuyển bùn cát lơ lửng dưới sự chi phối của đổi lưu và khuếch tán hỗn loạn được MIKE 21C biểu thị như sau:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = w_s \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

trong đó: z - tọa độ đứng, c - hàm lượng bùn cát lơ lửng, ε - hệ số khuếch tán hỗn loạn, w_s - vận tốc lăng phù sa lơ lửng; u,v,w - lưu tốc dòng chảy lần lượt theo phương x, y và z. Nếu các giới hạn khuếch tán khác ngoài giới hạn khuếch tán thẳng đứng được bỏ qua, khi đó sự cân bằng dọc theo dòng nước sẽ là:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial s} + v \frac{\partial c}{\partial n} + w \frac{\partial c}{\partial z} = w_s \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial c}{\partial z} \right)$$

trong đó: s - tọa độ lõi dòng chảy, n - tọa độ nằm ngang, u - vận tốc dòng chảy chính theo phương lõi dòng chảy, v - lưu tốc dòng chảy thứ cấp theo phương nằm ngang.

Phù sa di đẩy đáy (S_{bl}) có mối quan hệ rất khắng khít với phù sa lơ lửng (s_{sl}), chúng thường xuyên có thể đổi vai trò cho nhau trong những điều kiện dòng chảy nào đó. Hiện có rất nhiều công thức tính vận chuyển phù sa được thiết lập theo những phương pháp khác nhau, chẳng hạn sử dụng các hệ số xác định cỡ k_b và k_s cho phù sa di đẩy đáy (S_{bl}) và phù sa lơ lửng (s_{sl}), trong đó có mô hình MIKE 21C.

$$S_{bl} = k_b \cdot S_{tt} \quad \text{và} \quad S_{sl} = k_s \cdot S_{tt}$$

Ở đây: S_{tt} - vận chuyển tổng lượng bùn cát được tính theo công thức:

$$S_{tt} = 0.05 \frac{C^2}{g} \theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(s-1)gd_{50}^{-3}}$$

với tỷ lệ thời gian t_s mô phỏng theo mặt cắt tập trung ở trạng thái cân bằng được xác định bởi:

$$t_s = \frac{h}{2w_s}$$

và hàm lượng phù sa cân bằng được xác định một cách dễ dàng như phù sa lơ lửng đã phân chia bởi dòng nước và biến đổi từ hàm lượng thể tích đến hàm lượng khối lượng:

$$c_e = \frac{S_{sl}}{u.h} \cdot s \cdot 10^6$$

trong đó: S_{bl} - phù sa di đầy đáy, k_b - hệ số xác định cỡ phù sa di đầy đáy, S_{sl} - phù sa lơ lửng, k_s - hệ số xác định cỡ phù sa lơ lửng, t_s - tỷ lệ thời gian, s - tỷ trọng tương đối của bùn cát, S_t - tổng phù sa, c_e - hàm lượng khối lượng cân bằng, C - hệ số Chezy, W_s - tốc độ lắng chìm phù sa, u - vận tốc và h độ sâu dòng chảy.

3. Mô hình hình thái sông ngòi

Các mô hình hình thái sông ngòi có thể phân ra dạng kết hợp và dạng không kết hợp. Ở những mô hình kết hợp, các phương trình chủ đạo cho dòng chảy và vận chuyển bùn cát được kết hợp thành một tập hợp các phương trình và được giải một cách đồng thời. Ở những mô hình không kết hợp, giải pháp thủy động lực được giải quyết tại một bước thời gian nào đó trước khi giải quyết các phương trình vận chuyển bùn cát, rồi sau đó một cao trình đáy sông mới được tính và mô hình thủy động lực tiếp tục bước thời gian kế tiếp. Phương pháp không kết hợp được mô hình MIKE 21C sử dụng. Phương trình xuất phát tính xói mòn bờ sông được biểu thị như sau:

$$E_b = -\alpha \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + \beta \cdot \frac{S}{h} + \gamma$$

trong đó: E_b - tốc độ xói mòn bờ, z - cao trình đáy cục bộ, S - sự vận chuyển bùn cát gần bờ, h - độ sâu nước cục bộ; α, β, γ - các tham số xác định cỡ đã được định rõ trong mô hình. Tính toán thay đổi cao trình đáy sông có thể được tính dựa vào phương trình:

$$(1-n) \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} = \Delta S_e$$

trong đó: S_x - tổng vận chuyển bùn cát theo phương x , S_y - tổng vận chuyển bùn cát theo phương y , n - trạng thái đáy sông, z - cao trình đáy, t - thời gian; x, y - hệ tọa độ phẳng vuông góc, ΔS_e - bùn cát thừa cung cấp từ xói mòn đáy.

4. Các đặc điểm chính đoạn sông nghiên cứu

Đoạn sông Hậu chảy qua thành phố Long Xuyên tỉnh An Giang được tính từ giáp ranh huyện Châu Thành tỉnh An Giang xuôi về hạ lưu đến giáp ranh thành phố Cần Thơ dài trên 19km, có chế độ dòng chảy chịu ảnh hưởng mạnh của lũ sông Mê Công và thủy triều biển Đông Địa hình lòng sông có các đặc điểm chính sau đây.

a. Cù lao

Nhìn tổng thể, bên bờ phải đoạn sông nghiên cứu là thành phố Long Xuyên, còn bên bờ trái là huyện Chợ Mới tỉnh An Giang. Trong lòng dãy đoạn sông nghiên cứu có 4 cù lao: cách ranh giới huyện Châu Thành 2km về phía hạ lưu, sông Hậu được chia dòng bởi cù lao Mỹ Hòa Hưng (MHH), tiếp đó nhánh phải cù lao MHH lại bị chia dòng bởi cù lao Phó Ba, còn nhánh trái cù lao MHH lại bị chia dòng bởi cù lao Cồn Tiên, đến nhánh trái cù lao Cồn Tiên lại bị chia dòng bởi cù lao Cồn Nổi. Kích thước và độ cao của 4 cù lao này được thống kê ở bảng 1.

Bảng 1. Các đặc trưng cù lao (m)

TT	Tên cù lao	Độ dài	Độ rộng	Độ cao
1	MHH	6.000	3.600	4,0
2	Phó Ba	1.540	300	3,0
3	Cồn Tiên	1.860	650	2,5
4	Cồn Nổi	1.327	250	2,3

b. Vực sâu

Đọc đoạn sông nghiên cứu, hiện tại có 4 vực sâu. Vực sâu 1 nằm lệch hẳn sang bờ phải nhánh phải cù lao MHH cách bờ 123m (bờ phía thành phố Long Xuyên), dài 739m, rộng 101m, cao trình đáy -24,5m, đây là trung tâm gây ra sạt lở đất bờ sông nghiêm trọng tại khu vực Nhà máy Bê tông ly tâm (NMBTLT). Vực sâu 2 nằm lệch hẳn sang bờ phải nhánh phải cù lao MHH ngay khu vực hồ Nguyễn Du+Hải Quân, cách bờ phải 62m, dài 823m, rộng 157m, cao trình đáy -22,2m, trước đây là một trung tâm sạt lở đất bờ sông, nay đã có kè bảo vệ bờ, qua kiểm tra thấy hệ thống kè và độ sâu của vực sâu đã đi vào ổn định, song vực sâu đang có xu thế phát triển chiều dài về phía hạ lưu. Vực sâu 3 nằm vào chính giữa lòng sông, nơi hợp lưu của dòng chảy nhánh phải và nhánh trái cù lao MHH, có độ dài 854m, độ rộng 167m, cao trình đáy sông -24,7m, cách bờ phải 478m và bờ trái 466m ít ảnh hưởng đến sạt lở đất hai bên bờ sông. Vực sâu 4 nằm lệch hẳn sang bờ trái (phía Chợ Mới) nơi hợp lưu của các nhánh trái và phải cù lao Cồn Tiên + Cồn Nổi, chiều dài 523m, độ rộng 80m, cao trình đáy sông -24,2m, nằm cách bờ 109m đang gây ra sạt lở đất bờ sông nghiêm trọng ở khu vực này.

Bảng 2. Các đặc trưng hố sâu (tính đến cao trình - 20m)

TT	Tên vực sâu	Độ dài (m)	Độ rộng (m)	D _{min} (m)	Cách bờ phải (m)	Cách bờ trái (m)	Độ dốc bờ sông theo độ (o)
1	Vực sâu 1	739	101	-24,5	123	293	13 ⁰ 06'
2	Vực sâu 2	823	157	-22,2	62	268	24 ⁰ 18'
3	Vực sâu 3	854	167	-24,7	478	566	03 ⁰ 28'
4	Vực sâu 4	523	80	-24,2	224	109	14 ⁰ 36'

c. Hình thái mặt cắt ngang sông

Dọc đoạn sông nghiên cứu có thể chia làm 4 tiểu đoạn. Tiểu đoạn 1 từ giáp huyện Châu Thành xuôi dòng đến đầu cù lao MHH dài 2.000m là sông đơn và thẳng có mặt cắt ngang mở rộng dần từ 800m đến 1.000m và cao trình đáy thấp nhất D_{min} -14,2m. Tiểu đoạn 3 từ phà An Hòa xuôi về hạ lưu đến hết đoạn sông nghiên cứu là sông đơn và thẳng dài 8.150m, độ rộng khá ổn định dao động từ 900m đến 1.100m với D_{min} -20m. Ở giữa là tiểu đoạn 2 từ đầu cù lao MHH đến phà An Hòa dài 9.350m, đây là đoạn sông rất cong có hệ số uốn cong là 1,43 và là nơi gấp gẽ của 4 cù lao nêu trên (thứ tự từ bờ phải qua bờ trái: MHH, Phó Ba, Cồn Tiên và Cồn Nổi) chia sông Hậu thành 5 nhánh có độ rộng diễn biến phức tạp. Nhánh phải cù lao MHH rộng bình quân 396m có D_{min} -24,7m, nhánh phải cù lao Phó Ba rộng 319m và D_{min} -21,8m, nhánh trái cù lao Phó Ba rộng 403m có D_{min} -3,9m, nhánh trái cù lao MHH rộng trung bình 850m có D_{min} -7,8m, nhánh phải cù lao Cồn Tiên rộng 327m có D_{min} -5,4m, nhánh trái cù lao Cồn Tiên rộng 175m với D_{min} -3,6m, nhánh trái cù lao Cồn Nổi rộng 74m và D_{min} là -3,4m.

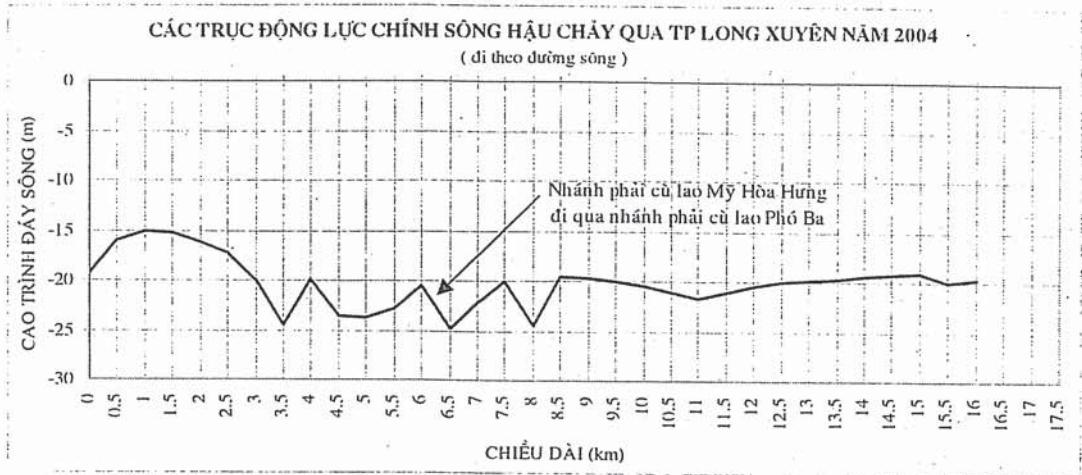
d. Hình thái mặt cắt dọc sông

Hình thái mặt cắt dọc đoạn sông nghiên cứu được xét bởi các trục động lực theo dòng D_{min} diễn biến phức tạp. Theo trục động lực chính, từ đầu đoạn sông nghiên cứu có cao trình D_{min} là -19m, từ đó xuôi dòng về hạ lưu dài 2km đến đầu cù lao MHH có D_{min} là -14,8m, lạch sâu nghiêng nhẹ về phía bờ trái (huyện Chợ Mới), lòng sông bị bồi nhẹ. Nhánh phải cù lao MHH lòng sông bị đào xói sâu dần, đến kilômét 3,5 (tính từ đầu đoạn sông nghiên cứu) có cao trình D_{min} là -24,7m, từ đây xuôi dòng đến phà An Hòa (đi theo nhánh phải cù lao Phó Ba) đáy sông bị bồi và xói nhẹ có D_{min} dao động từ -19m đến gần -25m, toàn bộ lạch sâu đi gần sát bờ thành phố Long Xuyên. Từ phà An Hòa xuôi về hạ lưu đến cuối đoạn sông nghiên cứu D_{min} khá ổn định dao động quanh trị số -20m, lạch sâu chuyển dịch dần sang bờ trái (huyện Chợ Mới), sau đó chuyển dần vào lòng sông cho đến cuối đoạn.

Do có 4 cù lao nằm trong tiểu đoạn 2, lòng sông có đến 5 lạch, vì vậy ngoài trục động lực chính nêu trên, còn có các trục động lực phụ. Đó là, nhánh phải cù lao MHH đi vào nhánh trái cù lao Phó Ba, đoạn qua cù lao Phó Ba dài 1.689m, đang bị bồi mạnh có cao trình D_{min} -3,9m; nhánh trái cù lao MHH đi qua nhánh phải cù lao Cồn Tiên, đoạn qua cù lao Cồn Tiên dài 2.703m đang bị bồi mạnh, cao trình D_{min} -5,4m; nhánh trái cù lao MHH đi qua nhánh trái cù lao Cồn Tiên, đoạn qua cù lao Cồn Tiên dài 2.810m đang bị bồi mạnh, cao trình D_{min} -3,6m; nhánh trái cù lao MHH đi qua nhánh trái cù lao Cồn Nổi, đoạn qua cù lao Cồn Nổi dài 1.358m, đang bị bồi mạnh, cao trình D_{min} là -3,4m.

Như vậy, nếu xét riêng trong tiểu đoạn 2 thì trục động lực chính bị đào xói nghiêm trọng, đáy sông sâu gần gấp 5 lần đáy sông của các trục động lực phụ đang bị bồi tụ mạnh mẽ, đáy sông sâu thâm nằm lệch hẳn về bờ phải

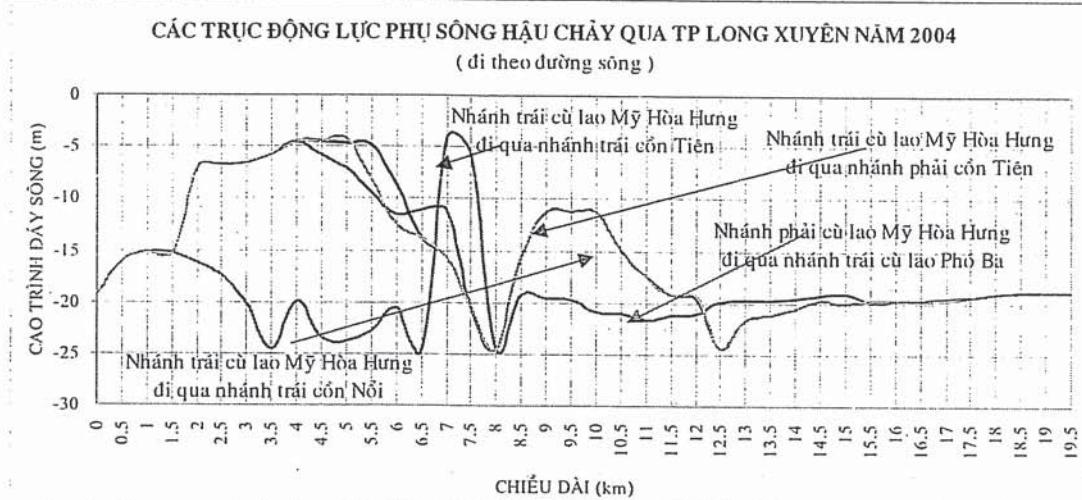
(Long Xuyên) và có lòng sông thẳng, đỉnh cua cong nhô hướng về phía bờ trái (Chợ Mới) có độ cong đạt tới 1,45 và đang có xu thế tiếp tục phát triển.



e. Hiện trạng đường bờ

Đoạn sông nghiên cứu diến biến đường bờ khá phức tạp, bao gồm đường bờ các cù lao, đường bờ phải (Long Xuyên) và đường bờ trái (Chợ Mới).

- Trước hết là đường bờ các cù lao, ngoại trừ cù lao Cồn Nổi còn non trẻ, còn cù lao Phố Ba, MHH và cù lao Cồn Tiên đã già nua, do đó theo quy luật chung đều bị sạt lở đất bờ sông phần đầu và hai bên sườn với tốc độ 3-10m/năm, phần đuôi bị bồi và kéo dài về hạ lưu bình quân 10-20m/năm.



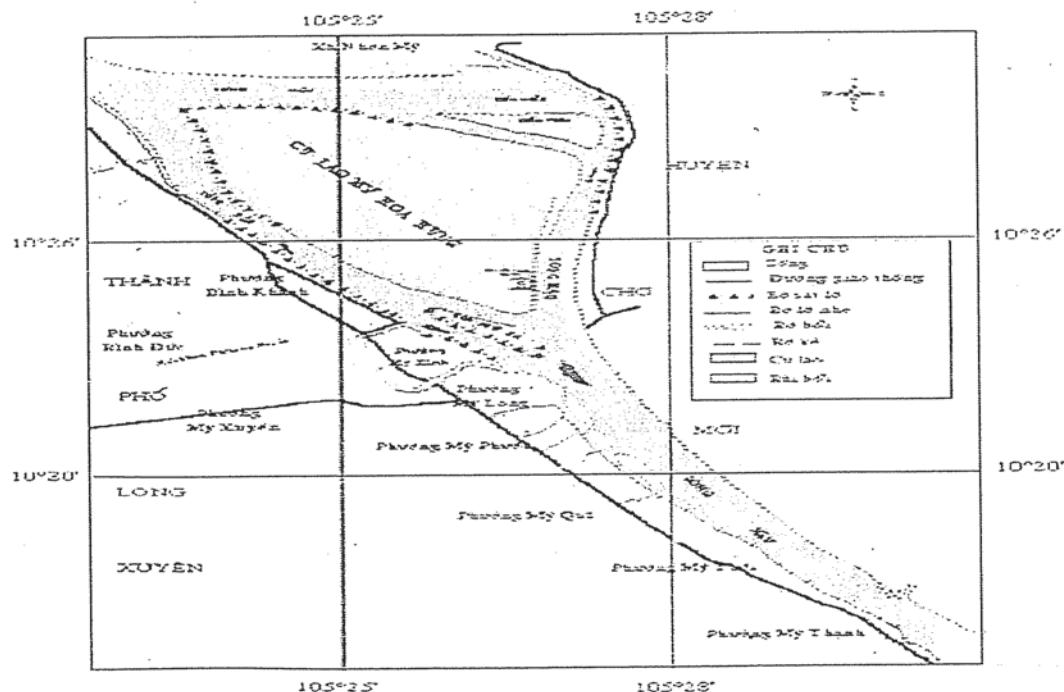
- Bờ phải bám sát thành phố Long Xuyên, từ đầu đoạn giáp ranh với huyện Châu Thành xuôi về hạ lưu đến đầu cù lao MHH dài gần 2km đang bị bồi mạnh, tiếp đó xuôi về hạ lưu đến phà An Hòa ngoại trừ những đoạn đã được xây dựng kè bảo vệ bờ, còn lại bị sạt lở với tốc độ 3-10m/năm, mạnh nhất là khu vực NMBTLT với tốc độ 15m/năm, từ phà An Hòa xuôi về hạ lưu đến giáp ranh Cần Thơ bờ sông ổn định.

- Bờ trái bám sát huyện Chợ Mới, từ đầu đoạn giáp huyện Châu Thành xuôi về hạ lưu đến đuôi cù lao Cồn Tiên bờ sông bị bồi mạnh, từ đuôi cù lao Cồn Tiên xuôi về hạ lưu gần 2km bờ sông bị sạt lở bình quân 3-10m/năm (ứng với vực sâu 4), từ đó xuôi về hạ lưu 5km bờ sông ổn định, rồi tiếp xuôi về hạ lưu đến giáp ranh Cần Thơ bờ sông bị sạt lở nhẹ bình quân 1-3m/năm.

5. Ứng dụng mô hình MIKE 21C tính toán đoạn sông nghiên cứu

Khối lượng công việc phục vụ chạy mô hình MIKE 21C tính toán đoạn sông nghiên cứu rất lớn, gồm đo đặc địa hình lòng sông chi tiết tỷ lệ 1/5.000, thiết kế lưới thủy lực, đo dòng chảy và phù sa các biên vào, đo mực nước các biên ra, đo dòng chảy + mực nước + phù sa ở các biên kiểm tra kết quả tính toán của mô hình, điều chỉnh mô hình để tìm ra bộ thông số thủy lực và hình thái sông ngòi tối ưu, truy xuất kết quả tính toán, đánh giá kết quả tính toán, khai thác kết quả tính toán,... cụ thể như sau:

1) Thiết kế lưới thủy lực, xuất phát từ bản đồ địa hình lòng sông tỷ lệ 1/5.000 ban hành năm 2004 của đoạn sông nghiên cứu, với mô đun hỗ trợ M21 Curvilinear Grid Generator, theo nguyên tắc lưới địa hình được xây dựng từ những mảng khác nhau ghép lại đảm bảo tính kết nối tương thích với nhau thành lưới tổng thể, trong mỗi ô lưới phải có ít nhất 1 điểm cao độ và trực J phải cùng hướng với dòng chảy và trực giao với trực K hướng ngang sông, lưới thủy lực đoạn sông Hậu chảy qua thành phố Long Xuyên có bước không gian theo J là 100m và theo K là 50m, lưới tổng có 5338 ô (kể cả 2 đường bờ), cao trình đường bờ 4,00m, cao trình cù lao không ngập MHH 4,00m, cao trình cù lao có thể bị ngập (Phó Ba, Cồn Tiên, Cồn Nổi) 2,30-3,00m.



Bản đồ hệ thống cù lao, hố sâu, bãi bồi và đường bờ đoạn sông nghiên cứu

2) Điều kiện biên vào là lưu lượng nước (m^3/s) và hàm lượng phù sa (g/m^3) theo giờ của mặt cắt ngang đầu đoạn sông nghiên cứu, biên ra là mực nước giờ (cm) cuối đoạn sông nghiên cứu, biên kiểm tra: mực nước, lưu lượng, vận tốc dòng chảy, hàm lượng phù sa... rải đều trong lưới tổng.

3) Điều kiện ban đầu gán các trị số mực nước thích ứng vào tất cả các ô lưới.

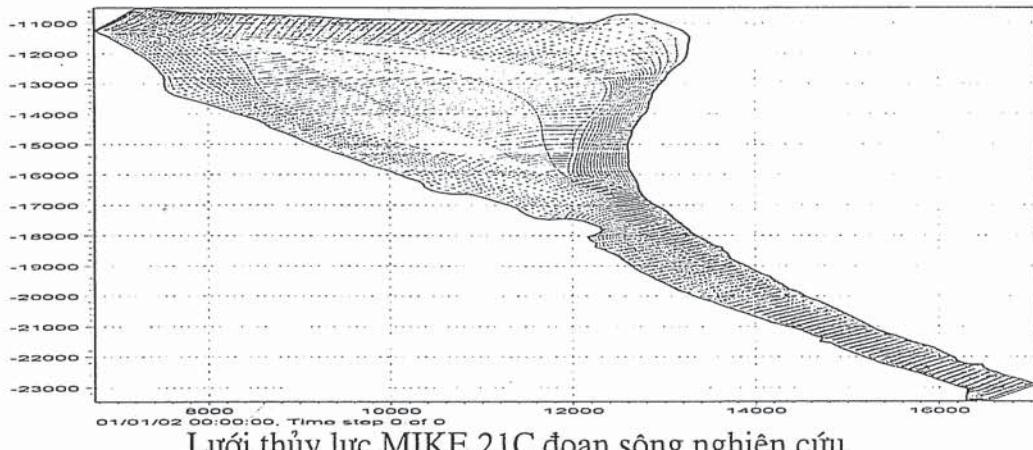
4) Các thông số thủy lực và hình thái sông ngòi cơ bản của mô hình MIKE 21C dùng để điều chỉnh mô hình trong quá trình tính toán gồm có Eddy Viscosity (độ nhớt xoáy), Resistance (hệ số Shezy), HD Integration (điều kiện chạy mô hình), Helical flow (hệ số dòng chảy xoắn), flood and dry (hệ số lụt và khô hạn khu vực nghiên cứu), Grain size (kích thước hạt phù sa ứng với d_{50}), Dispersion coefficients (hệ số khuếch tán), Transport theory (hệ số xác định cỡ k_b , k_s).

5) Thời gian tính toán chia làm hai thời kỳ, mùa kiệt từ ngày 8 đến ngày 30 tháng V (thời kỳ kiệt nhất năm 2004) và mùa lũ từ ngày 10 đến ngày 31 tháng IX (thời kỳ lũ cao năm 2004), với bước tính $\Delta T=360$ giây.

6) Kết quả tính toán của mô hình MIKE 21C rất phong phú được biểu diễn dưới dạng bản đồ, biểu bảng, đường quá trình,... của các yếu tố tốc độ dòng chảy, lưu lượng nước, mực nước, lưu lượng phù sa tổng, lưu lượng phù sa lơ lửng, lưu lượng phù sa di đẩy đáy, xói mòn bờ, xói mòn đáy, bồi tụ đáy,... Đánh giá kết quả tính toán, do thời gian chạy còn ít, nên kết quả xói mòn bờ và đáy sông chưa thể hiện rõ mức độ biến đổi, điều này phù hợp vì diễn biến xói bờ và đáy xảy ra chậm chạp phải trải qua nhiều tháng, thậm chí nhiều năm mới đủ lượng để chỉ rõ mức độ xói mòn so với trạng thái ban đầu. Về mực nước, tốc độ dòng chảy, lưu lượng và phù sa của các ô và mặt cắt ngang được kiểm tra cho thấy có sai số từ 5% đến 13%, riêng nhánh trái cù lao MHH quanh khu vực cù lao Cồn Tiên, cù lao Cồn Nổi có sai số lớn hơn từ 8% đến 15%. Với sai số này, cho phép sử dụng kết quả tính toán của mô hình để làm quy hoạch và thiết kế hệ thống kè bảo vệ bờ sông, lấp các vực sâu và khơi thông luồng lạch, khai thác tài nguyên nước và vật liệu lòng sông,... góp phần phục vụ cho việc phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ môi trường thành phố Long Xuyên. Sau đây trình bày một số kết quả tính toán của mô hình MIKE 21C cho đoạn sông nghiên cứu:

- Vào mùa kiệt, phân bố tốc độ dòng chảy đoạn sông nghiên cứu khá phức tạp. Đầu đoạn và cuối đoạn có tốc độ dòng chảy xuôi ($V_{kiệtxuôi}$) xấp xỉ nhau khoảng 1,3m/s; nhánh phải cù lao MHH $>1m/s$, đặc biệt khu vực NMBTLT tới 1,3m/s, nhánh trái cù lao Phó Ba nhỏ hẳn (0,45m/s); đầu nhánh trái cù lao MHH có tốc độ khá nhỏ (0,64m/s) rồi giảm dần sang hướng bờ trái huyện Chợ Mới, nhánh phải cù lao Cồn Tiên (0,62m/s), nhánh trái cù lao Cồn Tiên (0,52m/s), nhánh trái cù lao Cồn Nổi (0,45m/s). Tốc độ dòng chảy ngược

nhỏ hơn tốc độ dòng chảy xuôi, bình quân chỉ bằng 0,6 đến 0,8 tốc độ dòng chảy xuôi.



Lưới thủy lực MIKE 21C đoạn sông nghiên cứu

- Vào thời kỳ gần đỉnh điểm lũ chính vụ, ứng với mực nước 2m tại trạm thủy văn Long Xuyên, tốc độ dòng chảy đầu đoạn sông nghiên cứu đạt 2,59m/s và cuối đoạn 2,30m/s, nhánh phải cù lao MHH trên 2,0m/s, khu vực NMBTLT trên 2,4m/s, khu vực hồ Nguyễn Du+Hải Quân trên 2,3m/s, riêng nhánh trái cù lao Phó Ba chỉ là 1,30m/s, nhánh trái cù lao MHH dao động từ 1,0m/s đến 1,70m/s. Từ đây có thể suy ra rằng ứng với mực nước lũ ở Long Xuyên cao như lũ 1978 (2,65m), 2000 (2,63m) thì tốc độ dòng chảy đoạn sông nghiên cứu là rất lớn, nhánh phải cù lao MHH có thể tới 2,8m/s, nhánh trái cù lao MHH có thể trong khoảng 1,5m/s đến 2,0m/s.

Như vậy, nếu lấy tốc độ tối hạn lăn của các hạt cát bùn sông Hậu là 0,7m/s, và với phân bố tốc độ dòng chảy của đoạn sông nghiên cứu như vừa trình bày trên, thì quá trình đào xói đáy và bồi tụ lòng sông theo không gian sẽ đan xen nhau rất phức tạp và có khả năng diễn ra ngay cả trong mùa kiệt, tất nhiên quá trình này sẽ diễn ra quyết liệt hơn trong mùa lũ.

Bảng 3. Tốc độ V_{max} gần thời kỳ kiệt nhất và gần đỉnh lũ năm 2004

TT	Mặt cắt	$V_{kiệt xuôi}$ (m/s)	$V_{kiệt ngược}$ (m/s)	$V_{lũ xuôi}$ (m/s)
1	Đầu đoạn (giáp Châu Thành)	1,27	1,03	2,59
2	Đầu nhánh phải cù lao MHH	1,13	1,12	2,21
3	Nhánh phải MHH khu vực NMBTLT	1,32	1,21	2,43
4	Đầu nhánh phải cù lao Phó Ba	1,17	0,95	2,35
5	Đầu nhánh trái cù lao Phó Ba	0,45	0,30	1,30
6	Đầu nhánh trái cù lao MHH	0,64	0,51	1,30
7	Đầu nhánh phải Cồn Tiên	0,62	0,41	1,70
8	Đầu nhánh trái Cồn Tiên	0,52	0,42	1,22
9	Đầu nhánh trái Cồn Nổi	0,45	0,33	1,05
10	Cuối đoạn	1,26	1,01	2,26

- Lưu lượng chảy xuôi vào gần thời kỳ kiệt nhất năm 2004 với mực nước chân triều thấp tại Long Xuyên -0,60m là $6.000\text{m}^3/\text{s}$, với mực nước đỉnh triều 0,82m có lưu lượng chảy ngược là $4.200\text{m}^3/\text{s}$, lưu lượng trung bình là $1.393\text{m}^3/\text{s}$, lượng dòng chảy này chia ra như sau:

+ Chảy vào nhánh phải cù lao MHH tới 84,5%, đến đầu cù lao Phó Ba lại chia dòng chảy vào nhánh phải cù lao Phó Ba 74,7% và nhánh trái là 9,8%,

+ Chảy vào nhánh trái cù lao MHH 15,5%, trong đó chia ra đi vào nhánh phải cù lao Cồn Tiên là 8,5%, nhánh trái cù lao Cồn Tiên là 4,6% và nhánh trái cù lao Cồn Nổi là 2,4%,

- Lưu lượng chảy xuôi vào gần thời kỳ đỉnh lũ năm 2004 với mực nước tại Long Xuyên 2,00m là $13.000\text{m}^3/\text{s}$, không có lưu lượng chảy ngược, lượng dòng chảy này chia ra như sau:

+ Chảy vào nhánh phải cù lao MHH tới 83,8%, đến đầu cù lao Phó Ba lại chia dòng chảy vào nhánh phải cù lao này 71,8% và nhánh trái là 12,0%,

+ Chảy vào nhánh trái cù lao MHH 16,2%, trong đó chia ra đi vào nhánh phải cù lao Cồn Tiên là 8,6%, nhánh trái cù lao Cồn Tiên là 5,2% và nhánh trái cù lao Cồn Nổi là 2,4%.

Bảng 4. Phân phối dòng chảy kiệt và dòng chảy lũ năm 2004 (%)

TT	Mặt cắt	Với $Q_{kiếtxuôi} 6.000\text{m}^3/\text{s}$	Với $Q_{lũ} 13.000\text{m}^3/\text{s}$
1	Đầu đoạn (giáp Châu Thành)	100%	100%
2	Đầu nhánh phải cù lao MHH	84,5	83,8
3	Đầu nhánh phải cù lao Phó Ba	74,7	71,8
4	Đầu nhánh trái cù lao Phó Ba	9,8	12,0
5	Đầu nhánh trái cù lao MHH	15,5	16,2
6	Đầu nhánh phải Cồn Tiên	8,5	8,6
7	Đầu nhánh trái Cồn Tiên	4,6	5,2
8	Đầu nhánh trái Cồn Nổi	2,4	2,4
9	Cuối đoạn	99,7	98,5

Như vậy, tỷ lệ phân phối dòng chảy vào các nhánh sông của đoạn sông nghiên cứu trong mùa kiệt và mùa lũ gần tương đương nhau, dòng chảy đi vào nhánh phải cù lao MHH là chính, tạo ra nhân tố quan trọng nhất đào xói đáy và sạt lở đất bờ sông phía thành phố Long Xuyên. Trong khi đó dòng chảy đi vào nhánh trái cù lao MHH rất ít chỉ bằng $1/5$ của nhánh phải, đây là nguyên nhân quan trọng tạo ra sự bồi lắng lòng sông phía huyện Chợ Mới.

Hàm lượng phù sa lơ lửng của đoạn sông nghiên cứu, vào thời kỳ gần kiệt nhất trong năm 2004 dao động từ 10g/m^3 đến 40g/m^3 , vào thời kỳ gần đỉnh lũ chính vụ năm 2004 dao động từ 450g/m^3 đến 750g/m^3 . Theo kết quả tính

toán của MIKE 21C, trung bình lưu lượng phù sa lơ lửng, phù sa di đẩy đáy và phù sa tổng trong thời gian tính toán (mùa kiệt từ ngày 8 đến 30 tháng IV và mùa lũ từ ngày 10 đến 30 tháng IX năm 2004) của đoạn sông nghiên cứu được thống kê ở bảng 5.

Bảng 5. Vận chuyển phù sa lơ lửng, phù sa di đẩy đáy
và phù sa tổng cộng năm 2004-

Nhánh sông	Mùa	Phù sa lơ lửng (kg/m ³ /s)	Phù sa di đẩy đáy (kg/m ³ /s)	Phù sa tổng (kg/m ³ /s)
Nhánh phải cù lao MHH	Mùa kiệt	0,22	0,02	0,24
	Mùa lũ	18,7	2,06	21,3
Nhánh trái cù lao MHH	Mùa kiệt	0,11	0,01	0,12
	Mùa lũ	7,02	0,91	7,93

Phân tích kết quả tính toán ở bảng 5 cho thấy: trong đoạn sông nghiên cứu, quá trình vận chuyển phù sa lơ lửng bằng 7 đến 10 lần phù sa di đẩy đáy, quá trình này diễn ra trong mùa lũ nhiều gấp 8 đến 10 lần trong mùa kiệt và trong nhánh phải cù lao MHH nhiều hơn 2 đến 4 lần trong nhánh trái cù lao này, kết quả tính toán vận chuyển phù sa khá phù hợp với các kết quả tính toán về tốc độ và lưu lượng dòng chảy vừa được trình bày trong các phần trên.

4. Kết luận

Ứng dụng thành công mô hình số trị MIKE 21C tính toán diễn biến lòng sông Hậu đoạn chảy qua thành phố Long Xuyên có cấu trúc địa hình lòng sông rất đa dạng: cong, thẳng, đào xói, bồi tụ, cù lao, phân dòng, sạt lở bờ,... đan xen nhau chịu tác động thường xuyên của chế độ dòng chảy lũ, dòng chảy kiệt, dòng phù sa và dòng triều phức tạp đã mở ra triển vọng ứng dụng tiếp mô hình này để tính toán các đoạn sông phức tạp khác như đoạn cong Châu Đốc (sông Hậu), đoạn cong Tân Châu (sông Tiền),... phục vụ cho việc xây dựng các dự án chỉnh trị lòng sông và bảo vệ bờ ở hạ lưu sông Mê Công.

Tài liệu tham khảo

1. Bùi Đạt Trâm. Diễn biến lòng sông Tiên, sông Hậu, sông Vàm Nao, sông Bình Ghi và sông Châu Đốc. Chương trình Điều tra cơ bản và Phòng chống thiên tai tỉnh An Giang; Tập I, II, III, IV, V và VI; 1997-2002.
2. DHI Software-Brief History.
3. Danish Hydraulic Institue. MIKE 21 Coastal Hydraulics and Oceanography, Hydrodynamic Module, Release 2,5, Users Guide and Reference Manual, 1995.
4. Danish Hydraulic Institue: MIKE 21C Model and Users Guide, 2000.
5. Web: www.dhi.dk