

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH THỦY LỰC PHỤC VỤ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CÁC CÔNG TRÌNH ỒN ĐỊNH LÒNG DẪN ĐOẠN SÔNG ĐÀ

HẠ LƯU NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH

THƯ VIỆN

TRUNG TÂM KHÍ TƯỢNG THUỶ VÂN QUỐC GIA

PGS.TS. Nguyễn Thọ Sáo (Trường ĐH KHTN)

ThS. Nguyễn Kiên Quyết, KS. Lương Xuân Đài (Cty TVXD Đường thủy, TEDI)

Sau khi Nhà máy Thủy điện Hòa Bình đi vào khai thác, lòng dẫn đoạn sông Đà phía hạ lưu đập thay đổi khá nhiều, đặc biệt là đoạn phân lạch gần cầu Trung Hà. Để ổn định lòng dẫn đoạn sông này phục vụ giao thông thủy và các mục đích kinh tế khác, cần có giải pháp công trình và các giải pháp này thường được thực hiện trên mô hình toán và vật lý. Bài này trình bày việc áp dụng mô hình toán 1 chiều (HEC - RAS) và 2 chiều (MIKE21C) và mô hình vật lý để tính toán trường thủy động lực. Sự phù hợp kết quả cho thấy hiệu quả của mô hình toán trong tư vấn thiết kế xây dựng công trình thủy.

1. Đặt vấn đề

Sông Đà chiếm 55% lượng nước của hệ thống sông Hồng. Cách hợp lưu Thao-Đà 57km về phía thượng lưu là Nhà máy Thủy điện Hòa Bình. Công trình thủy điện Hòa Bình (đi vào vận hành từ năm 1991) có nhiệm vụ chính là tham gia chống lũ cho Thủ đô Hà Nội, hàng năm cắt trung bình từ 4-6 triệu tấn, và hiệu quả điều tiết chống lũ cho hạ du rất rõ ràng. Hồ Hòa Bình đã làm thay đổi cơ bản chế độ thủy lực, thủy văn, vận chuyển bùn cát, gây ra hiện tượng xói sâu lòng dẫn trên sông Đà sau hồ. Trong vài năm tới khi công trình thủy điện Sơn La đi vào hoạt động, gần như toàn bộ lượng bùn cát tạo lòng của sông Đà sẽ được giữ lại ở hai hồ này, do đó sự thay đổi chế độ thủy lực và biến đổi lòng dẫn ở hạ lưu đập Hòa Bình chắc chắn sẽ diễn ra mạnh mẽ hơn. Kèm theo quá trình xói sâu lan truyền là hiện tượng hạ thấp mực nước, gây cản trở giao thông thủy.

Đoạn sông phân lạch gần khu vực cầu Trung Hà có hình thái phức tạp, chưa ổn định, diễn biến thủy lực, xói lở bờ đang ở tình trạng nghiêm trọng, gây di chuyển luồng tàu theo mùa, ảnh hưởng rất lớn đến đời sống dân cư hai bên sông. Theo thông lệ, dòng chảy thường gây xói ở phía bờ lõm đoạn sông cong, tức dòng chủ lưu phải ở phía phải đoạn sông này.

Tuy nhiên đã nhiều năm nay, dòng chủ lưu luôn ở phía trái đoạn sông phân lạch. Trên đoạn sông này, một vài vị trí xung yếu đã được gia cố bằng lát mái, một số vị trí có các kè chỉnh trị dạng chìm. Việc chỉnh trị, ổn định lòng dẫn phục vụ giao thông thủy, nâng cao năng lực thoát lũ ở đoạn sông này là rất quan trọng trong khai thác dòng chảy trên quy mô toàn tuyến sông từ đây về hạ lưu. Việc nắm bắt chế độ thủy động lực, diễn biến của lòng dẫn có ý nghĩa rất thiết thực cho công tác chỉnh trị sông khu vực trọng điểm này.

Trong điều kiện số liệu quan trắc ở khu vực công trình còn hạn chế, quá trình diễn biến luồng lạch và kết cấu dòng chảy phức tạp thì việc đưa các mô hình (kết hợp mô hình toán và mô hình vật lý) vào nghiên cứu chế độ thủy lực đoạn thượng lưu cầu Trung Hà là rất cần thiết, là cơ sở đánh giá, lựa chọn phương án xây dựng công trình một cách hiệu quả.

Phạm vi nghiên cứu trên mô hình 1 chiều được trải rộng đến các trạm thủy văn gần với sông Đà nhất trên các sông này, cụ thể là: sông Đà từ đập Hòa bình đến ngã ba Thao-Đà với chiều dài 57 km, sông Thao từ trạm thủy văn Phú Thọ đến đến trạm thủy văn Sơn Tây với chiều dài 48km, sông Lô từ trạm Phú Ninh đến ngã ba Hồng-Lô với chiều dài 37 km, sông Phó Đáy từ trạm Quảng Cư đến ngã ba

Người phân biên: TS. Đào Thanh Thủy

Lô-Phó Đáy với chiều dài 29 km.

Phạm vi nghiên cứu cục bộ bằng mô hình 2 chiều và mô hình vật lý là đoạn phân lạch trên sông Đà, cách cầu Trung Hà về phía thượng lưu khoảng 9km và về phía hạ lưu khoảng 1km.

2. Các mô hình tính toán

a. Mô hình thủy động lực 1 chiều

Trong nghiên cứu này sử dụng chương trình HEC-RAS, là một môđun của SMS. HEC-RAS được phát triển bởi Trung tâm Thủy văn Công trình (The Hydrology Engineering Center - HEC), quân đội Mỹ. HEC-RAS có thể tính toán trạng thái ổn định hoặc không ổn định để xác định mực nước và vận tốc dòng chảy, bổ sung các công trình: đập, cầu, cống, khu chứa. Hệ phương trình là:

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_i = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (2)$$

Hệ phương trình được sử dụng trong MIKE 21C như sau.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{pq}{h}\right) + 2\frac{pq}{hR_n} + \frac{p^2 - q^2}{hR_s} + gh\frac{\partial H}{\partial s} + \frac{g}{C^2}\frac{p\sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = RHS \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{pq}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial n}\left(\frac{q^2}{h}\right) + 2\frac{pq}{hR_s} + \frac{q^2 - p^2}{hR_n} + gh\frac{\partial H}{\partial n} + \frac{g}{C^2}\frac{q\sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} = RHS \quad (4)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{\partial q}{\partial n} - \frac{q}{R_s} + \frac{p}{R_n} = 0 \quad (5)$$

Trong đó: s, n- toạ độ trong hệ toạ độ cong; p, q- thông lượng theo hướng s và n; H- cao trình mực nước; h- độ sâu; g- gia tốc trọng trường; C- hệ số Chezy; R_s , R_n - bán kính cong của đường s và n, RHS - phần bên phải, mô tả hiệu ứng Reynold, lực Coriolis, ma sát do gió, áp lực không khí.

Như vậy MIKE21C giải đối với thông lượng mà không theo các thành phần vận tốc u, v như thông lệ. Một thế mạnh của mô hình này là xét đến hiện tượng dòng chảy thứ cấp (chảy vòng) trong sông. Dòng chảy vòng xuất hiện tại các đoạn sông cong hay xung quanh các bãi giữa gây nên sự lệch hướng của dòng sát đáy so với dòng chính và do

Trong đó: A_T - diện tích mặt cắt ngang, Q-lưu lượng, q_i - lưu lượng gia nhập khu giữa, V- vận tốc dòng chảy, Z- cao độ mực nước, S_f - độ dốc thủy lực. Hạn chế duy nhất của HEC-RAS là không đưa được trực tiếp mưa vào mô hình.

b. Mô hình thủy động lực lưới cong 2 chiều

Mô hình MIKE21C là mô hình 2 chiều, giải trên lưới cong trực giao, có rất nhiều ưu thế so với những mô hình cùng chức năng. Đối với các ứng dụng trong sông, yêu cầu mô phỏng chính xác đường biên và điều đó đòi hỏi việc sử dụng lưới cong hoặc lưới phi cấu trúc (dạng các phần tử hữu hạn). Lưới cong trong MIKE21C có những ưu điểm vượt trội lưới phi cấu trúc ở điểm sơ đồ tính toán nhanh hơn rất nhiều, do số điểm lưới cần ít hơn nhưng vẫn mô phỏng đường bao tốt hơn và do đó kết quả tính toán có độ chính xác cao.

vậy cũng gây nên sự lệch hướng ứng suất tiếp đáy. Dòng thứ cấp có ảnh hưởng đáng kể đến hướng vận chuyển bùn cát và vì thế ảnh hưởng đến sự thay đổi hình thái sông. Do đó, việc tính toán dòng chảy vòng gắn liền với việc mô phỏng vận chuyển bùn cát khi tiến hành mô hình hoá hình thái sông trên qui mô lớn, quá trình phát triển xói, sự lưu động của cồn cát.

3. Kết quả tính toán

a. Số liệu đầu vào cho mô hình 1 chiều

Nói chung, mô hình 1 chiều và 2 chiều đều đòi hỏi số liệu đầu vào làm điều kiện biên hạ lưu là mực

nước và điều kiện biên thượng lưu là lưu lượng hoặc vận tốc, ngoài ra cần có số liệu về các công trình như cầu, đập, đập trên sông và phương thức vận hành của chúng.

Trong trường hợp của chúng ta, cần có số liệu

tại các trạm thủy văn: Hoà Bình, Phú Thọ, Sơn Tây, Quảng Cự và Phù Ninh để làm biên cho mô hình. Số liệu tại Việt Trì và Trung Hà nằm trong khu vực nghiên cứu, được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình.

Bảng 1. Các đặc trưng lũ chính trong phạm vi nghiên cứu

Trạm	Đặc trưng quan trắc	Tháng 8/1996	Tháng 7/2004	Tháng 8/2005
Hoà Bình	Q(m ³ /s)	12400	9910	8160
	Z(m)	22,61	20,65	19,77
Phú Thọ	Z(m)	19,50	18,55	18,12
Vụ Quang	Q(m ³ /s)	6560	6970	3420
	Z(m)	21,23	19,15	16,37
Quảng Cự	Z(m)	28,90	28,19	29,14
Sơn Tây	Q(m ³ /s)	19900	14800	11300
	Z(m)	15,09	13,69	12,26
Trung Hà	Z(m)	17,70	16,53	15,41
Việt Trì	Z(m)	16,85	15,49	14,03

* *Chú thích:*
Q - Lưu lượng nước
Z - Mức nước

Các trận lũ này bao quát được các hiện tượng thủy văn điển hình, do vậy có thể sử dụng cho tính toán thủy lực. Vì có 3 giai đoạn tính toán: hiệu chỉnh, kiểm định và khai thác, do đó số liệu cũng phải đáp ứng yêu cầu của 3 giai đoạn trên. Trận lũ 8/1996 là

trận lũ lớn nhất được chọn để hiệu chỉnh mô hình, các trận lũ còn lại dùng cho kiểm định. Lũ khai thác được thu phỏng từ lũ 1996, ứng với các lưu lượng lớn nhất tại Hòa Bình là: lũ lớn 15150m³/s, lũ trung bình 10800 m³/s, lũ tạo lòng 6250 m³/s.

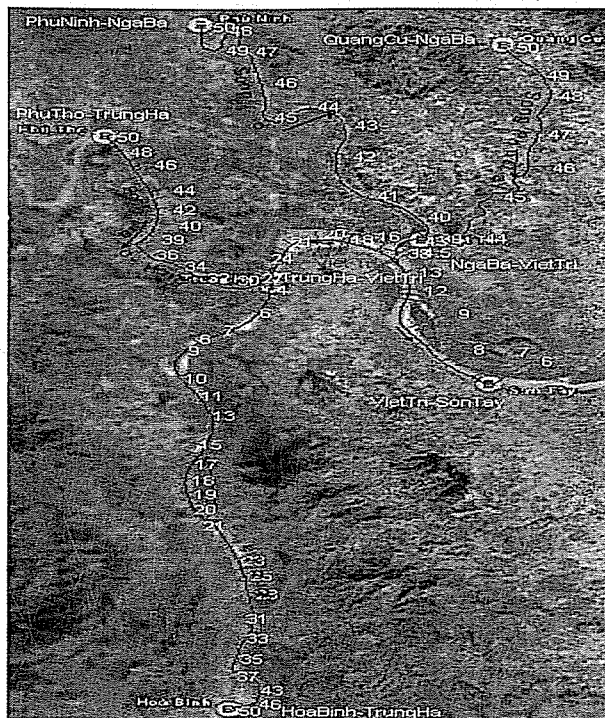
Bảng 2. Quy trình tính toán

Giai đoạn	Hệ thống sông	Thời gian, hoặc đặc điểm dòng chảy	Biên dùng cho tính toán	Trạm hiệu chỉnh và kiểm chứng
Hiệu chỉnh mô hình 1 chiều	1) Thao 2) Hồng 3) Đà 4) Lô 5) P.Đáy	- Lũ 8/1996	1) Phú Thọ 2) Sơn Tây 3) Hoà Bình 4) Phù Ninh 5) Quảng Cự	1) Trung Hà 2) Việt Trì
Kiểm định mô hình 1 chiều	1) Thao 2) Hồng 3) Đà 4) Lô 5) P.Đáy	- Lũ 7/2004 và 8/2005	1) Phú Thọ 2) Sơn Tây 3) Hoà Bình 4) Phù Ninh 5) Quảng Cự	1) Trung Hà 2) Việt Trì
Khai thác mô hình 1 chiều	1) Thao 2) Hồng 3) Đà 4) Lô 5) P.Đáy	- Lũ lớn - Lũ trung bình - Lũ tạo lòng	1) Phú Thọ 2) Sơn Tây 3) Hoà Bình 4) Phù Ninh 5) Quảng Cự	
Khai thác mô hình 2 chiều	1) Đà	-Lũ lớn Lũ tạo lòng	1) Từ mô hình 1 chiều	

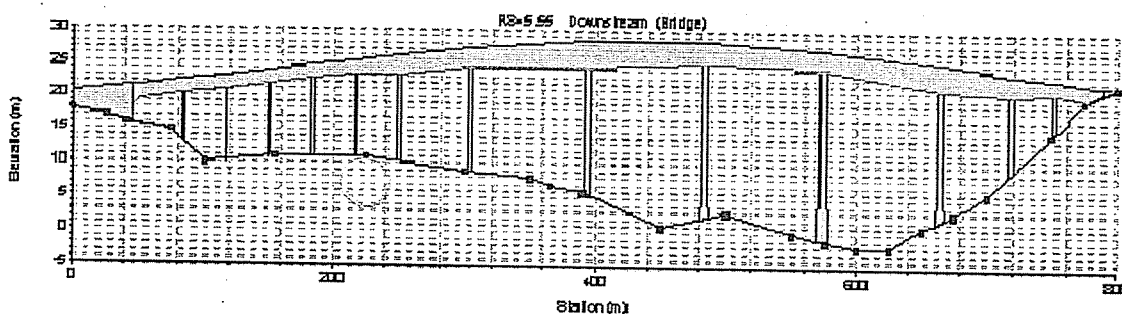
b. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình 1 chiều

1) Sơ đồ thủy lực

Sơ đồ thủy lực (hình 1) thể hiện lưới sông tính toán; trong đó chỉ ra độ dài sông, các biên, vị trí các mặt cắt ngang, các công trình: đập, đập, cầu, cống.. Hệ thống sông bao gồm: sông Thao, sông Hồng, sông Đà, sông Lô và sông Phó Đáy. Trong đó Sông Thao được tính từ trạm thủy văn Phú Thọ tới ngã ba Trung Hà và có 25 mặt cắt. Sông Đà được tính từ đập thủy điện Hoà Bình tới ngã ba Trung Hà và có 48 mặt cắt, ngoài ra trên đoạn sông nghiên cứu còn bổ sung thêm 6 mặt cắt tương ứng theo mô hình vật lý (G1-G6). Sông Hồng được tính từ ngã ba Trung Hà đến trạm thủy văn Sơn Tây và có 20 mặt cắt. Sông Lô kéo dài từ trạm thủy văn Phú Ninh tới ngã ba Việt Trì, đổ vào sông Hồng gần mặt cắt SHG12 và có 14 mặt cắt. Sông Phó Đáy trải dài từ trạm thủy văn Quảng Cư đến ngã ba Lô - Phó Đáy, đổ vào sông Lô có 8 mặt cắt. Cầu Trung Hà (14 nhịp, 13 trụ và 2 mố) cũng được đưa vào sơ đồ thủy lực này.



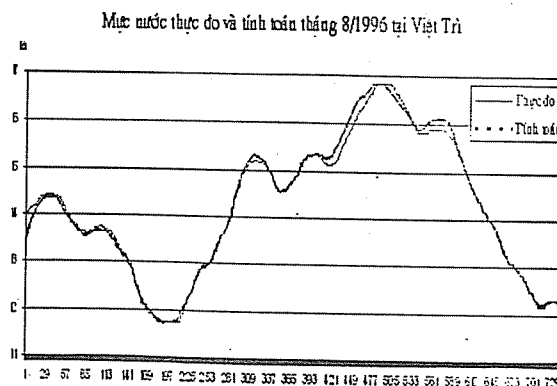
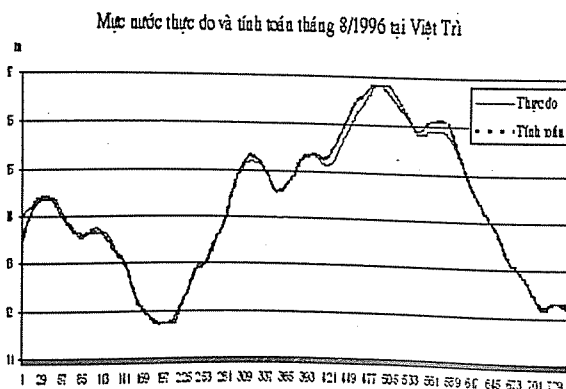
Hình 1. Sơ đồ thủy lực thể hiện mạng lưới sông trong mô hình



Hình 2. Mặt cắt cầu Trung Hà thể hiện trong sơ đồ

2) Kết quả hiệu chỉnh lũ 8/1996

Hệ số nhám Manning lấy bằng 0,025 ở lòng sông và 0,03-0.05 ở hai bên bãi sông.

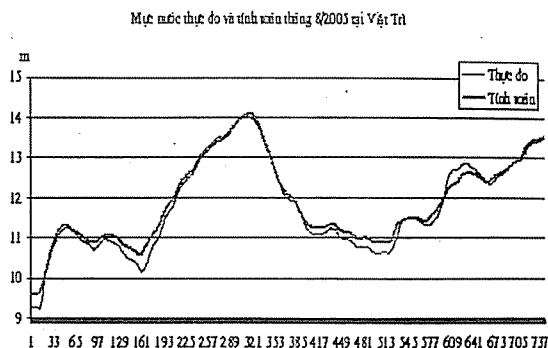
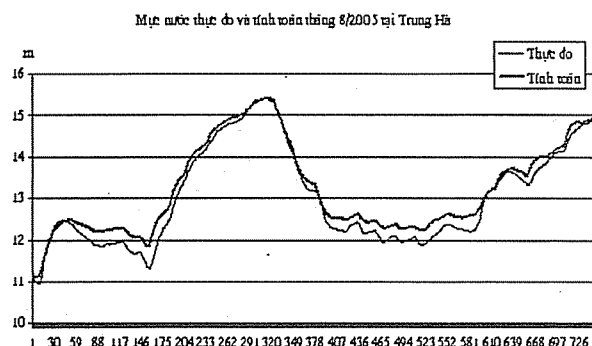


Hình 3. So sánh mực nước giữa thực đo và tính toán tại Việt Trì và Trung Hà

Từ các kết quả tính toán trên và so sánh với quan trắc ta thấy các tính toán cho kết quả tương

đối tốt, cả về độ lớn và pha lũ lên và lũ xuống.

3. Kết quả kiểm định lũ tháng 8/2005



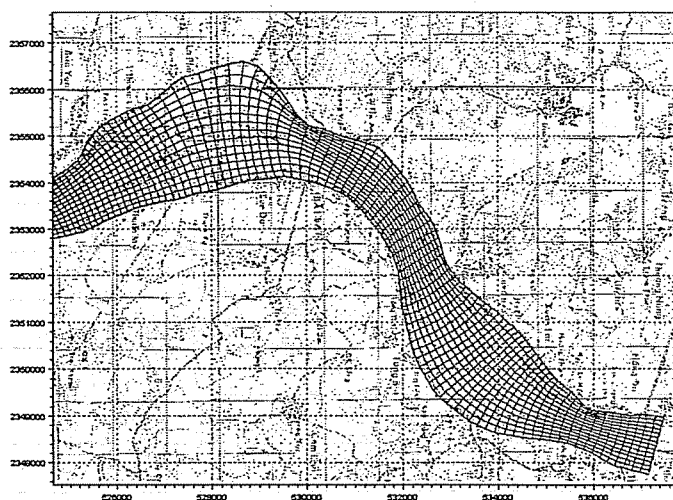
Hình 4. So sánh mực nước

Mức nước thực đo tại Trung Hà và Việt Trì, không tham gia tính toán, chỉ dùng để hiệu chỉnh và kiểm định, nhưng cho thấy phù hợp với kết quả tính toán. Việc kiểm chứng mô hình với trận lũ 2005 thể hiện đúng quy luật thủy lực của dòng chảy trong toàn bộ hệ thống. Từ đây có thể sử dụng mô hình HEC-RAS và sơ đồ thủy lực đã thiết lập để tính toán cho các phương án khai thác trên mô hình vật lý và mô hình toán 2 chiều. Đã sử dụng trận lũ 8/1996 cùng các điều kiện biên như đã nói trên, riêng lưu lượng Hoà Bình được thu phóng theo dạng lũ 8/1996 với 3 trường hợp: lũ lớn (đỉnh lũ 15150m³/s), lũ trung bình (đỉnh lũ 10800m³/s), lũ tạo lòng (đỉnh lũ 6250m³/s).

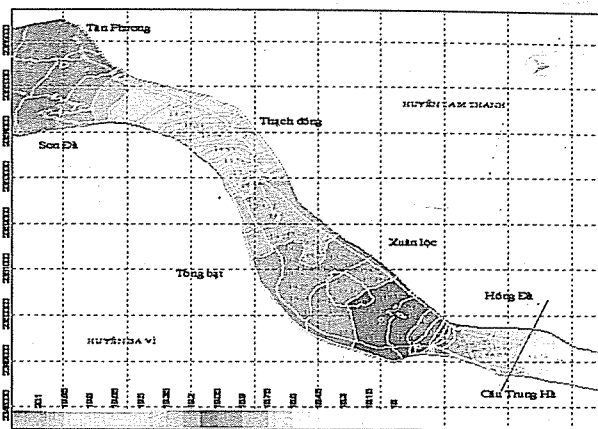
c. Tính toán trên mô hình 2 chiều

Lưới tính toán và các tham số

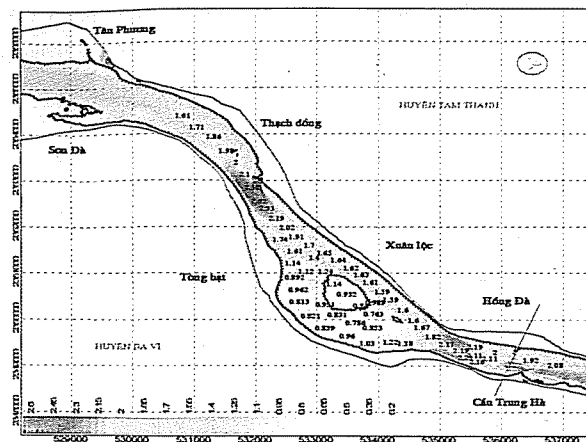
Phạm vi tính toán mở rộng về phía thượng lưu để giảm thiểu ảnh hưởng của điều kiện biên, nhất là khi có giải pháp chỉnh trị. Lưới cong được thiết lập với bề rộng đoạn sông chia thành 87 ô, chiều dài chia thành 864 ô (864 x 87), đủ chi tiết để nắm bắt chế độ thủy động lực của miền tính toán. Đây là miền có địa hình rất phức tạp (h.5) với những thay đổi lớn cả về độ sâu lẫn bề rộng sông. Trục đoạn sông cong liên tục thay đổi. Theo những ghi nhận từ các đợt khảo sát cũng như quan sát trên thực địa, lòng dẫn đoạn sông này có những biến động rất đáng kể: tồn tại nhiều doi cát di động và bất di động cùng những hố xói, đặc biệt hố xói hạ lưu cầu Trung Hà sâu đến 15m.



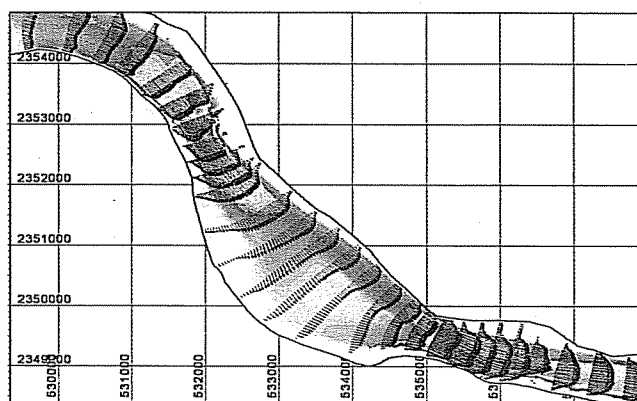
Hình 5. Lưới cong trục giao



Hình 6a. Mực nước cực đại trong lũ lớn



Hình 6b. Vận tốc cực đại trong lũ lớn



Hình 6c. Dòng chảy trong lũ lớn

d. So sánh kết quả với mô hình vật lý

Như đã trình bày, mô hình 1 chiều đã cung cấp các điều kiện biên cho mô hình 2 chiều và mô hình vật lý, song đồng thời cũng đưa ra thông tin nằm trong đoạn sông giới hạn bởi các biên. Việc so sánh

kết quả này với kết quả nhận được từ mô hình vật lý cho phép đánh giá lại tác dụng của mô hình toán. Bảng dưới đây đưa ra kết quả so sánh mực nước trong 2 trường hợp lũ lớn và lũ trung bình, ứng với vị trí 6 giếng quan trắc theo mô hình vật lý.

Bảng 3. So sánh mực nước quan trắc (MH) và mực nước tính toán (NH)

Vị trí	L(m)	Q = 15150 m ³ /s			Q = 10800 m ³ /s		
		H _{NH} (m)	H _{MH} (m)	Sai số (m)	H _{NH} (m)	H _{MH} (m)	Sai số (m)
G1	7700	19,07	19,03	0,04	18,06	18,05	0,01
G2	5950	18,84	18,8	0,04	17,85	17,85	0
G3	4550	18,77	18,75	0,02	17,84	17,80	0,04
G4	3150	18,71	18,7	0,01	17,79	17,75	0,04
G5	1650	18,39	18,38	0,01	17,59	17,58	0,01
G6	0,00	18,33	18,33	0	17,55	17,55	0

Sự phù hợp chính xác của kết quả tính toán trên mô hình toán với kết quả đo đạc trên mô hình vật lý thật đáng ngạc nhiên. Có thể đi tới kết luận rằng, mô hình vật lý rất quan trọng đối với thiết kế công trình, nhưng chỉ nên sử dụng trong một số trường hợp đặc biệt do chi phí cao. Mô hình toán với chi phí thấp có thể đảm nhận vai trò này mà không gây ra sai số đáng kể.

4. Kết luận

Mô hình toán 1 chiều và 2 chiều là công cụ hữu

ích cho việc nghiên cứu chế độ thủy động lực đoạn sông này và thử nghiệm các giải pháp công trình trong tương lai. Chỉ với các điều kiện tại biên nhưng mô hình toán cho phép nhận được bức tranh phân bố mực nước và dòng chảy trên toàn miền.

Sự phù hợp tốt giữa kết quả của mô hình toán (chi phí thấp) với kết quả mô hình vật lý (chi phí cao) cho thấy ưu thế của mô hình toán. Kiến nghị trong thiết kế có thể áp dụng mô hình toán, chỉ sử dụng mô hình vật lý trong một số trường hợp rất đặc biệt.

Tài liệu tham khảo

1. HEC-US Army Corps of Engineers, "River Analysis System - Manual", 2005
2. DHI, "MIKE 21C- Scientific Reference Manual", 2005,