

# NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG MÔ HÌNH TOÁN SỐ CCHE1D VÀO VIỆC TÍNH TOÁN DỰ BÁO BIẾN HÌNH LÒNG DẪN APPLICATION OF THE CCHE1D NUMERICAL MODEL TO CALCULATION AND PREDICTION OF RIVER CHANNEL MORPHOLOGY

Trần Văn Túc - Huỳnh Thanh Sơn

Khoa Kỹ thuật Xây Dựng, Trường Đại Học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh

## BẢN TÓM TẮT

Báo cáo này trình bày sơ lược việc nghiên cứu và áp dụng một mô hình toán số 1D vào việc dự báo biến hình lòng dẫn sông ngòi. Sau khi trình bày phần lý thuyết, mô hình sẽ được áp dụng vào một đoạn sông thực tại miền Trung Việt Nam và phân tích sơ bộ kết quả thu được. Phần cuối của báo cáo nêu một số ưu nhược điểm của mô hình.

## ABSTRACT

This paper presents the study and application of an 1D numerical model to the prediction of river channel morphology. After the theory presentation, the model will be applied to a river in Vietnam center with some analysis on results obtained. The last of this paper will mention some model strengths and weaknesses.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến hình lòng dẫn (bao gồm chuyển tải bùn cát, xói bồi đáy sông và sạt lở bờ sông) là vấn đề muôn thuở của sông ngòi trên khắp thế giới. Đặc biệt, sạt lở bờ sông gây ra những thiệt hại không những về vật chất mà còn là nhân mạng trong các khu dân cư, thành phố ven sông. Do vậy, nghiên cứu dự báo biến hình lòng dẫn sông ngòi là một vấn đề được nhiều nhà khoa học, chuyên gia, kỹ sư trên thế giới quan tâm nghiên cứu từ lâu nhằm giảm thiểu các tác hại do thiên nhiên gây ra và dự báo các nguy hiểm xảy ra trong tương lai.

Với tính chất phức tạp của hiện tượng xói lở, ngoài các công thức kinh nghiệm, các nhà khoa học tập trung vào hai phương pháp là dùng mô hình vật lý và mô hình toán số. Mô hình vật lý có khả năng mô phỏng những trường hợp phức tạp, tuy nhiên điều kiện sử dụng đòi hỏi phải có phòng thí nghiệm với các thiết bị đo chính xác rất tốn kém nên phương pháp này chỉ có thể thực hiện ở các viện nghiên cứu và trường đại học lớn. Do vậy, phương pháp thiết lập và áp dụng các mô hình toán số được sử dụng rộng rãi hiện nay.

Ở Việt Nam, có nhiều nhà khoa học nghiên cứu về mô hình toán số như: Cố PGS Nguyễn Như Khuê với chương trình VRSAP tính lũ cho

Đồng Bằng Sông Cửu Long, PGS Nguyễn Tất Đắc với mô hình TLUC 96, GS Nguyễn Ân Niên với chương trình KOD1 tính lũ ĐBSCL, Nguyễn Hữu Nhân với phần mềm trợ giúp HYDROGIS để mô phỏng lũ lụt và truyền tải phân tán vật chất vùng hạ du hệ thống sông, ... Tuy nhiên, chưa có mô hình nào nghiên cứu về dự báo sạt lở bờ sông và chuyển tải bùn cát trong sông.

Trên thế giới, mô hình toán số được phát triển khá nhiều. Có thể kể đến những mô hình 1D của Cunge et al. 1980, Thomas 1982, Rahuel et al. 1989, Wu and Vieira 2002, ... những mô hình 2D và 3D như Sheng 1983, Wang and Adeff 1986, Spasojevic and Holly 1993; Jia and Wang 1999, Wu et al. 2000, MIKE 21C của Viện Thủy Lợi Đan Mạch, ... Hiện tại, ở Việt Nam một số cơ quan đang sử dụng phần mềm MIKE 21C để mô phỏng diễn biến lòng sông. Đây là phần mềm khá mạnh, tuy nhiên giá thành của phần mềm này khá đắt nên khó có thể phổ biến rộng rãi.

Trong bài báo này, mô hình toán số CCHE1D do Wu and Vieira đề xuất năm 2002 về tính toán dòng chảy, chuyển tải bùn cát trong sông và sạt lở bờ sông được nghiên cứu và áp dụng vào thực tế. Do thiếu số liệu đo đạc, vấn đề khó khăn chung ở Việt Nam hiện nay, nên mô

hình chỉ mới được áp dụng vào một đoạn sông Lại Giang ở Bình Định.

Mô hình này gồm 03 phần : phần tính toán dòng chảy, phần tính toán chuyển tải bùn cát và biến hình đáy lòng dẫn và phần tính toán sạt lở bờ.

## 2. TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY

### 2.1 Phương trình chủ đạo

Phương trình chi phối dòng chảy 1D trong sông là hệ phương trình Saint Venant 1D:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

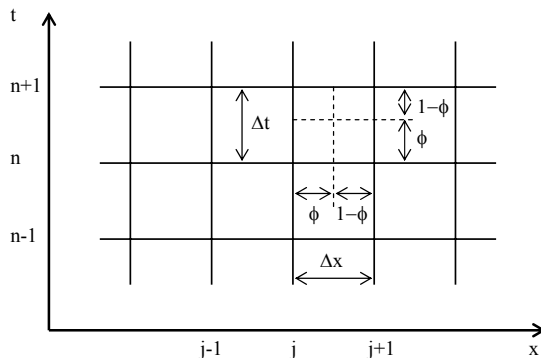
$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{2A^2} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0 \quad (2)$$

Trong đó:

- x là biến không gian, t là biến thời gian.
- A là diện tích mặt cắt ngang dòng chảy.
- Q là lưu lượng.
- h là chiều sâu dòng chảy.
- S<sub>0</sub> là độ dốc đáy.
- β là hệ số hiệu chỉnh động lượng do sự phân bố không đều của vận tốc trên mặt cắt ngang.
- S<sub>f</sub> là độ dốc thủy lực. S<sub>f</sub>=Q|Q|/K<sup>2</sup>  
K=(A\*R<sup>2/3</sup>)/n là môđul lưu lượng
- q là lưu lượng đơn vị (tính trên 1m dài) của dòng chảy biên.

### 2.2 Phương trình sai phân cho từng đoạn sông nằm giữa 2 mặt cắt:

Trong bước thời gian Δt và bước không gian Δx nằm giữa 2 mặt cắt j và j+1, theo sơ đồ Preissmann một hàm f bất kỳ được sai phân theo sơ đồ sau:



Hình 2.1.1

$$f = \theta[\psi f_{j+1}^{n+1} + (1-\psi)f_{j+1}^{n+1}] + (1-\theta)[\psi f_{j+1}^n + (1-\psi)f_j^n] \quad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \psi \frac{f_{j+1}^{n+1} - f_{j+1}^n}{\Delta t} + (1-\psi) \frac{f_j^{n+1} - f_j^n}{\Delta t} \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \psi \frac{f_{j+1}^{n+1} - f_j^{n+1}}{\Delta x} + ((1-\psi) \frac{f_{j+1}^n - f_j^n}{\Delta x}) \quad (5)$$

Trong đó:

- f<sup>n+1</sup> và f<sup>n</sup> là các giá trị tương ứng tại thời điểm t + Δt và t.

- θ là trọng số ổn định tính toán 0.5 ≤ θ ≤ 1.

Hệ phương trình trên được giải cùng với các điều kiện biên thượng lưu và hạ lưu của mạng lưới kênh, những chỗ hợp lưu và ở những chỗ có công trình như cống, cầu, đập tràn trên sông. Phương pháp giải là phương pháp sai phân hữu hạn theo sơ đồ ẩn của Preissman.

## 3. TÍNH TOÁN CHUYỂN TẢI BÙN CÁT VÀ BIẾN ĐỔI ĐÁY

### 3.1 Phương trình tổng quát

Phương trình diễn tả chuyển tải bùn cát 1D là phương trình:

$$\frac{\partial (AC_{tk})}{\partial t} + \frac{\partial Q_{tk}}{\partial x} + \frac{1}{L_s} (Q_{tk} - Q_{t^*k}) = q_{tk} \quad (6)$$

Trong đó:

- C<sub>tk</sub> là nồng độ bùn cát trung bình trên mặt cắt ngang của loại cỡ hạt k.
- Q<sub>tk</sub> là lưu lượng chuyển tải bùn cát thực của loại cỡ hạt k.
- Q<sub>t<sup>\*</sup>k</sub> là khả năng chuyển tải bùn cát của cỡ hạt loại k hay còn gọi là suất chuyển tải bùn cát ở trạng thái bão hòa.
- L<sub>s</sub> là chiều dài thích nghi của sự chuyển tải bùn cát không cân bằng.
- q<sub>tk</sub> là lưu lượng bùn cát đơn vị (tính trên 1m dài vào/ra từ bờ).

Phương trình trên là phương trình tổng quát, có thể áp dụng cho bùn cát đáy, lơ lửng hoặc cho tổng lưu lượng phụ thuộc vào công thức tính suất chuyển tải bùn cát và chiều dài L<sub>s</sub>.

Trong mô hình này không phân biệt giữa bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng và xem như đó là vật liệu đáy. Q<sub>tk</sub> sẽ bằng tổng lượng bùn cát đáy và bùn cát lơ lửng.

Sự biến dạng đáy do cỡ hạt loại K gây ra được quyết định bởi:

$$(1 - p') \frac{\partial A_{bk}}{\partial t} = \frac{1}{L_s} (Q_{ik} - Q_{r^*k}) \quad (7)$$

Trong đó:  $p'$  là độ rỗng của vật liệu,  $\partial A_{bk}/\partial t$  là tốc độ biến dạng đáy đáy cỡ hạt loại K gây nên.

Hệ phương trình trên kết hợp với các điều kiện biên như nồng độ bùn cát đầu vào cùng với điều kiện ban đầu (các đặc trưng của bùn cát, độ rỗng bùn cát đáy, dữ liệu vật liệu bờ: độ rỗng vật liệu, lực dính, góc ma sát). Phương pháp giải là phương pháp sai phân hữu hạn theo sơ đồ dạng hiện của Preissman.

### 3.2 Các biểu thức kinh nghiệm áp dụng cho mô hình chuyển tải bùn cát

Bốn biểu thức kinh nghiệm tính chuyển tải bùn cát tổng cộng (bùn cát lơ lửng + bùn cát đáy) được đưa vào trong mô hình chuyển tải bùn cát 1D: Garbrecht et al (1995), Wu et al (2000), Ackers và White (1973), Engelund và Hansen (1967). Người sử dụng sẽ tùy trường hợp mà chọn lựa biểu thức thích hợp khi tính chuyển tải bùn cát.

## 4. MÔ HÌNH SẠT LỞ BỜ SÔNG

Đáy sông bị xói lở làm chiều cao bờ sông tăng lên và sự xói lở gần chân bờ làm cho bờ dốc hơn, cả hai quá trình này làm cho bờ sông trở nên mất ổn định. Một khi tiêu chuẩn mất ổn định bị vượt qua thì khối đất bờ sông bị trượt và đỉnh bờ lùi sâu vào đất liền.

### 4.1 Xói bờ

Tốc độ xói lở ngang bờ được tính theo công thức kinh nghiệm của Arulananden et al (1980) và được sử dụng trong mô hình và Darby & Thorne (1996):

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{r}{\gamma_s} \left( \frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right) \quad (9)$$

Trong đó:

- $dn/dt$  là tốc độ xói lở bờ (m/min)
- $\tau = \gamma_s R S$  là ứng suất cắt ở chân bờ.
- $\tau_c$  là ứng suất tới hạn cho xói lở bờ.
- $r$ : tốc độ xói lở ban đầu được xác định bởi:

$$r = 0.0223 \tau_c \exp(-0.13 \tau_c) \quad (10)$$

Trong khoảng thời gian  $\Delta t$ , khoảng cách xói lở bờ theo phương ngang được xác định:

$$\Delta W_i = \left[ \theta \left( \frac{dW}{dt} \right)_j^{n+1} + (1 - \theta) \left( \frac{dW}{dt} \right)_j^n \right] \Delta t \quad (11)$$

Khối lượng xói lở:

$$V_e = \frac{1}{2} \Delta n \left( 2 - \frac{\min[h_t, H]}{h_t} \right) \min[h_t, H] \quad (12)$$

$h_t$  là chiều sâu của dòng chảy từ chân bờ tới bề mặt.

Vật liệu từ xói bờ được xử lý trực tiếp như bùn cát chảy vào cạnh sườn.

### 4.2 Xói đáy

Tổng diện tích biến đổi của đá  $A_{b,j+1}$  đã được tính ở mô dul vận chuyển bùn cát. Từ đó ta sẽ tính được độ biến đổi cao độ của đáy lòng dẫn  $A_{b,j+1} / B_{\text{đáy}}$  (13)

### 4.3 Sự trượt bờ:

Trượt phẳng được thừa nhận trong mô hình trượt bờ, Hệ số an toàn:

$$f_s = \frac{F_r}{F_D} \quad (14)$$

$F_s, F_d$  là lực chống trượt và lực gây trượt :

$$F_d = W_t \sin \beta = \frac{\gamma_s}{2} \left( \frac{H^2 - y_d^2}{\tan \beta} - \frac{H^2}{\tan \alpha} \right) \sin \beta \quad (15)$$

$$F_r = \frac{(H - y_d)C}{\sin \beta} + \frac{\gamma_s}{2} \left( \frac{H^2 - y_d^2}{\tan \beta} - \frac{H^2}{\tan \alpha} \right) \cos \beta \tan \phi \quad (16)$$

Trong đó:  $W_t$  là trọng lượng của khối đất.

$C$  hệ số cố kết (Kpa)

$\phi$  là góc ma sát.

$\alpha$  : góc nghiêng của bờ

$\beta$  là góc gây trượt

$$\beta = \frac{1}{2} \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{H}{H'} (1 - K^2) \tan \alpha \right] + \phi \right\} \quad (17)$$

## 5. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH VÀO THỰC TẾ

### 5.1 Các dữ liệu đầu vào cơ bản của mô hình

#### 5.1.1 Dữ liệu địa hình:

- Mặt cắt ngang của sông tại các nút: được xác định từ tọa độ của các điểm nút tạo nên mặt cắt ngang sông (tọa độ của điểm bao gồm khoảng cách từ một điểm mốc bất kỳ nằm ở bờ trái và cao độ).

- Chiều dài đoạn sông giữa 2 nút

- Hệ số ma sát của đoạn sông: có thể khai báo khác nhau cho đáy kênh, bờ trái và bờ phải.

#### 5.1.2 Dữ liệu dòng chảy:

- Điều kiện dòng chảy đầu vào: theo dạng chuỗi dòng chảy theo thời gian

- Điều kiện dòng chảy tại biên hạ lưu : theo chuỗi cao độ của mực nước theo thời gian.

#### 5.1.3 Dữ liệu về bùn cát:

- Các đặc trưng của bùn cát

- Dữ liệu bùn cát chảy vào tại thượng nguồn : theo chuỗi lưu lượng bùn cát chảy vào theo thời gian.

- Dữ liệu vật liệu đáy: độ rỗng

- Dữ liệu vật liệu bờ: độ rỗng vật liệu, lực dính, góc ma sát.

#### 5.1.4 Các dữ liệu khác:

- Bước thời gian

- Chọn công thức tính chuyển tải bùn cát và các thông số tương ứng.

## 5.2 Giới thiệu vị trí và nội dung nghiên cứu

Trong phần này, chương trình máy tính được áp dụng cho một đoạn sông thực tế là sông Lại Giang ở Bình Định.

### 5.2.1 Giới thiệu khái quát về vị trí địa lý sông Lại Giang

- Bình Định là một tỉnh duyên hải thuộc miền Trung Việt Nam. Lưu vực sông Lại Giang nằm ở rìa phía đông giải Trường Sơn trải dài ra đến biển Đông thuộc địa phận phía Bắc tỉnh Bình Định được giới hạn bởi:

+ Phía Nam giáp huyện Phù Mỹ, với lưu vực sông La Tinh và lưu vực sông Châu Trúc.

+ Phía Bắc giáp tỉnh Quảng Ngãi với lưu vực sông Vệ.

+ Phía Tây giáp huyện Vĩnh Thạnh với lưu vực sông Côn.

+ Phía Đông giáp biển Đông và với lưu vực sông Xương.

Sông Lại Giang bắt nguồn từ các dãy núi cao phía Đông dãy Trường Sơn có đỉnh cao từ 900-1000 m. Sông Lại Giang gồm hai nhánh sông lớn: sông An Lão và sông Kim Sơn:

- Sông An Lão dài khoảng 75 km bắt nguồn từ vùng núi cao của dãy Trường Sơn. Sông An Lão chảy theo hướng Bắc Tây Bắc – Nam Đông Nam đến Năng An (xã Ân Tín – Huyện Hoài Ân) , chảy theo hướng Tây – Đông và nhập với sông Kim Sơn thành dòng chính – sông Lại Giang .

- Sông Kim Sơn dài khoảng 64km bắt nguồn từ vùng núi phía Đông Trường Sơn, chảy theo hướng Tây Nam – Đông Bắc đến Lại Khánh thì nhập với sông An Lão thành dòng chính - sông Lại Giang.

Sông Lại Giang (dòng chính) dài khoảng 18 km tính từ ngã ba hợp lưu An Lão- Kim Sơn đến cửa sông An Lão. Sông Lại Giang chảy theo hướng Tây Nam– Đông Bắc và đổ ra biển đông qua cửa An Lão.

### 5.2.3 Nhận xét kết quả

- Nồng độ bùn cát ở thời điểm ban đầu  $t=0$ , ở thượng nguồn cao, hạ nguồn bé, nhưng sau một thời gian, nồng độ bùn cát ở hạ lưu tăng cao, lớn hơn cả ở thượng nguồn. Điều này phù hợp với thực tế, bởi vì ở thời điểm ban đầu,

lượng nước lũ chưa về đến hạ lưu nên hạ lưu có nồng độ thấp.

- Tại các vị trí là điểm cực đại trên đường cong diễn biến nồng độ bùn cát dọc sông thì đoạn sông phía sau sát vị trí đó đáy có xu hướng bồi lắng và ngược lại.

- Nếu đoạn trước có xu hướng bồi lắng thì đoạn sông phía sau có xu hướng bị xói hoặc ngược lại (xảy ra cặp đôi một).

- Tại các đoạn sông có bờ dốc đứng ( thường ở những đoạn sông cong hoặc gần sát đoạn sông cong), xu thế xói bờ và sạt lở bờ tăng cao. Tuy nhiên, trong mô hình này không xét đến yếu tố cong của sông.

- Mô hình không phân biệt bờ lồi, bờ lõm mà sự xói bờ với tốc độ 2 bờ khá cân bằng.

- Sự biến đổi đáy lòng dẫn, ngoài phụ thuộc vào yếu tố dòng chảy, còn rất phụ thuộc vào nồng độ bùn cát trong sông.

- Tại các mặt cắt sông co hẹp, xu hướng sạt lở tăng cao (mặt cắt số 30).

- Tại các điểm là điểm cực đại của đồ thị phân bố vận tốc dọc sông có xu hướng xói đáy, tại các điểm cực tiểu đáy có xu hướng bồi lắng.

## 6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Mô hình CCHE1D là công cụ tốt để mô phỏng dự báo quá trình diễn biến lòng sông trong điều kiện hiện tại ở Việt Nam. Mô hình này có nhiều ưu điểm: số liệu đầu vào đơn giản, giải bài toán có kể đến các ảnh hưởng của các công trình thủy lợi trên sông như cầu, cống, đập ngăn nước,... có thể áp dụng nhiều công thức trong mô hình giúp người sử dụng có thể lựa chọn công thức phù hợp với thực tế...

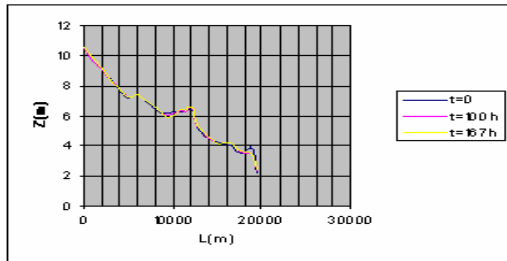
Tuy nhiên, mô hình cũng cần được bổ sung và cải tiến thêm, nhất là vấn đề dòng chảy không ổn định ở vùng triều.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

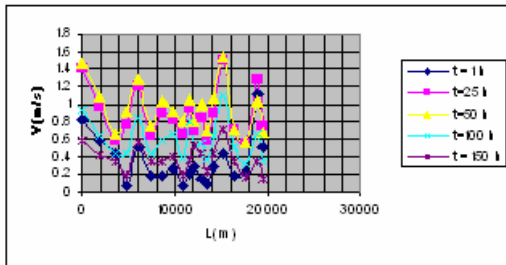
1. Wu W., and Viera A. (2002). “One-Dimensional Channel Network Model – Technical Manual”. USA.
2. Trung tâm nghiên cứu chỉnh trị sông và PCTT - Viện KHTL Miền Nam, “Báo cáo đề tài khảo sát lập báo cáo nghiên cứu quy hoạch chỉnh trị sông vùng xói lở trọng điểm của sông Lại Giang”.
3. Trung tâm nghiên cứu chỉnh trị sông và PCTT - Viện KHTL Miền Nam, “Báo cáo nghiên cứu biện pháp phòng chống lũ lưu vực sông Lại Giang”.

4. Darby S.E. and Thorne C.R. (1996). Development and testing of Riverbank stability analysis. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 122, No. 8, August.
5. Chih Ted Yang. Sediment transport theory and practice. The McGraw-Hill Companies, Inc.

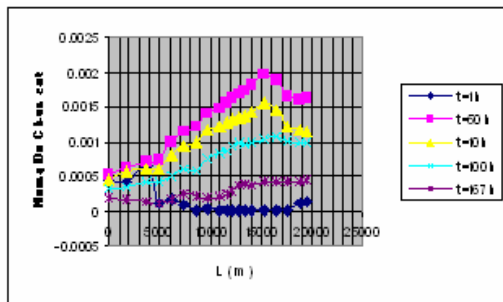
Biểu đồ trắc dọc đáy sông An Lão theo thời gian



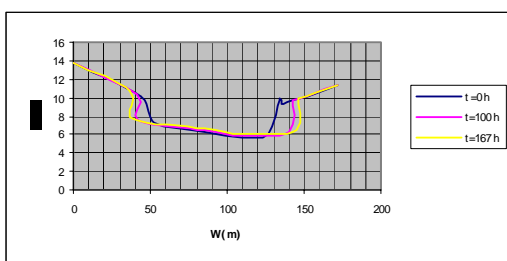
Biểu đồ phân bố vận tốc dọc theo sông An Lão theo thời gian



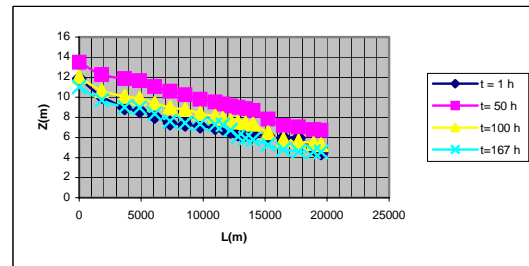
Biểu đồ phân bố nồng độ bùn cát dọc sông An Lão theo t



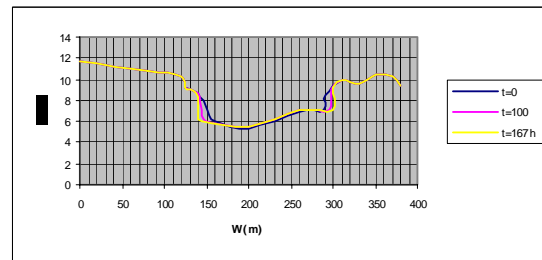
Biểu đồ mực nước dọc sông An Lão theo t



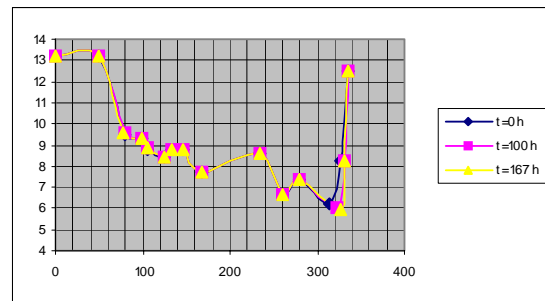
Mặt cắt tại nút 10 theo t



Mặt cắt nút số 12 theo t



Mặt cắt nút số 8 theo t



Mặt cắt nút số 26 theo t

