

TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY ĐÔ THỊ BẰNG MÔ HÌNH HYDRO

*PTS. Lã Thanh Hà
KS. Trần Bích Nga
Viện Khí tượng Thủy văn*

I. Mở đầu

Trong vài chục năm trở lại đây cùng với sự phát triển nhanh chóng kỹ thuật và công cụ tính toán, một số lượng lớn các mô hình toán thủy văn thủy lực đã được giới thiệu để tính toán chất và lượng dòng chảy đô thị. Trong số đó những mô hình được áp dụng rộng rãi là SWMM, HEC - 1, QQS, KOSIM, SMUS, TR-(20) HYSTEM - EXTRAN. Mỗi một mô hình có tính năng, tác dụng khác nhau nhưng đa số đều bị hạn chế bởi khả năng tính toán cho các lưu vực đô thị lớn, phức tạp, đặc biệt đối với các đô thị có diện tích ngoại vi (quy hoạch đô thị). Trong các trường hợp như vậy, dòng chảy chung được bao gồm các thành phần dòng chảy từ các diện tích có lớp phủ (lát bê - tông, đá, xi - măng, mái nhà ...) và từ các diện tích tự nhiên (ruộng, vườn, công viên ...). Việc tính toán chi tiết các thành phần dòng chảy tạo cơ sở khoa học vững chắc cho thiết kế cải tạo, quy hoạch hệ thống thoát nước, xác định cao độ mặt bằng đô thị (quy hoạch nền) và quản lý vận hành hệ thống này.

Để thỏa mãn những yêu cầu trên cần phải xây dựng được mô hình miêu tả chi tiết các quá trình vật lý của quan hệ mưa - dòng chảy, trong đó đặc biệt chú ý phân tích tình hình mặt đệm, cụ thể:

- *Cấu trúc bề mặt* : Phân chia lưu vực thành các diện tích bộ phận có những đặc tính thủy văn, thủy lực riêng biệt.

- *Hệ thống thoát nước* : Gồm các dạng mặt cắt khác nhau, cách bố trí các điểm nối, nút, ga thu, các công trình phụ trợ như ao, hồ, trạm bơm...

- *Các biên ngoài* : Tác động của hệ thống sông ngòi, thủy triều biển ...

Ngoài ra, mô hình thích ứng được tất cả các dạng điều kiện vào như trận mưa đơn, chuỗi các trận mưa rời rạc trong một thời gian (ví dụ : các trận mưa liên tục trong một năm) nào đó.

Cho đến nay trên thế giới cũng chỉ có một số lượng không nhiều mô hình thỏa mãn được những yêu cầu trên đây, trong đó có hai mô hình SWMM và HYDRO hiện đang nghiên cứu khai thác ở nước ta.

Về mô hình SWMM, chúng tôi đã có dịp giới thiệu [1] một cách tổng quát và đang nghiên cứu khai thác cải tiến cho phù hợp với điều kiện nước ta trong một đề tài nghiên cứu đã được duyệt. Nhằm đi sâu thêm một bước nghiên cứu khoa học thủy văn đô thị ở nước ta và mở rộng khả năng tính toán dòng chảy cả về chất và lượng cho nhiều kiểu, dạng đô thị Việt Nam chúng tôi giới thiệu tiếp mô hình HYDRO, trong đó nêu rõ hơn khả năng áp dụng, kết quả áp dụng ở một lưu vực cụ thể.

II. Cơ sở khoa học - Thuật toán mô hình HYDRO

Mô hình HYDRO thuộc loại mô hình thủy văn tất định mô phỏng tổng hợp quá trình mưa dòng chảy từ lúc bắt đầu mưa đến khi kết thúc quá trình dòng chảy tại mặt cắt khống chế. Mô hình do W.F. Geiger và A. Roedder xây dựng từ năm 1986 theo đơn đặt hàng của Viện môi trường nước đô thị - Đại học tổng hợp Essen (CHLB Đức). Qua thực tế áp dụng cho nhiều khu vực đô thị ở Châu Âu, mô hình đã được cải tiến nhiều lần. Thế hệ mới nhất được sử dụng tại Việt Nam là HYDRO 2.1 (11 - 1993).

HYDRO là mô hình lưu vực mô tả quan hệ mưa - dòng chảy theo 3 giai đoạn kế tiếp nhau : giai đoạn hình thành dòng chảy, giai đoạn tập trung dòng chảy mặt và quá trình vận chuyển dòng chảy trong hệ thống tiêu thoát nước thành phố.

1. Giai đoạn hình thành dòng chảy

Mục đích cơ bản của giai đoạn này là xác định được lượng mưa hiệu quả cho từng thời đoạn tính toán Δt . Lượng mưa hiệu quả là phần lượng mưa còn lại sau khi đã trừ tổn thất do thấm vào đất, lượng bốc hơi và tổn thất do diễn trùng. Theo phương trình cân bằng, lượng mưa hiệu quả được xác định:

$$PEF(t) = N(t) - VP(t) - F(t) - W(t) \quad (1)$$

Trong đó:

- PEF - lượng mưa hiệu quả,
- N - lượng mưa rơi,
- VP - lượng bốc hơi bề mặt,
- W - lớp nước diễn trùng.

Theo Euler (1989), thành phần bốc hơi VP ngày tính theo phương trình:

$$VP(mm) = 1,58 + (0,96 + 0,0033 \cdot i) \cdot \sin[2\pi/365 \cdot (i - 148)] \quad (2)$$

với i là ngày tính theo năm thủy văn

- $i = 1$ - ngày đầu tiên (ngày 1 tháng 11),
- $i = 365$ - ngày cuối cùng (ngày 31 tháng 10),
- VP - lượng bốc hơi ngày thứ i (mm).

Lượng trữ $W(t)$ rất khó xác định cho lưu vực đô thị nên thành phần này đánh giá qua điều tra và sau đó được hiệu chỉnh qua mô hình.

Như vậy, trong phương trình (1) chỉ còn phải xác định thành phần $F(t)$ để tính toán lượng mưa sinh dòng chảy PEF.

Dựa trên cơ sở về mối quan hệ giữa cường độ thấm của đất và cường độ mưa, PESCHKE (1983), LA THANH HA (1990) [2] đã xây dựng và cải tiến mô hình thấm hai giai đoạn SMINF thay cho mô hình thấm HORTON trong HYDRO nguyên bản.

Nội dung cơ bản của SMINF là xác định phương trình đường cong thấm $f(t)$ [4] cho hai giai đoạn của quá trình thấm: giai đoạn bão hòa và giai đoạn sau bão hòa để xác định thành phần $F(t)$ trong phương trình (1). Trong SMINF, đường cong thấm $f(t)$ được định nghĩa:

$$\lceil PI(t) \text{ với } t \leq t_s$$

$$f(t) = \lfloor f(t) \text{ với } t > t_s \quad (3)$$

Với $PI(t)$ - cường độ mưa tại thời điểm t ,

t_s - thời điểm bão hòa của đất.

Theo (3), đường cong thấm từ lúc bắt đầu mưa đến thời điểm bão hòa chính là cường độ mưa rơi. Trong giai đoạn sau bão hòa đường cong thấm $f(t)$ là hàm số phụ thuộc vào các đặc tính của đất và trạng thái độ ẩm của đất dưới dạng [3]:

$$f(t) = k_s/2 \{ 1 + 1/2 [A^2/4 + A.B + F_s^2]^{-1/2} . (A + 2B) \} \quad (4)$$

Trong đó:

F_s - tổng lượng thấm tính đến thời điểm bão hòa,

$$A = k_s (t - t_s)$$

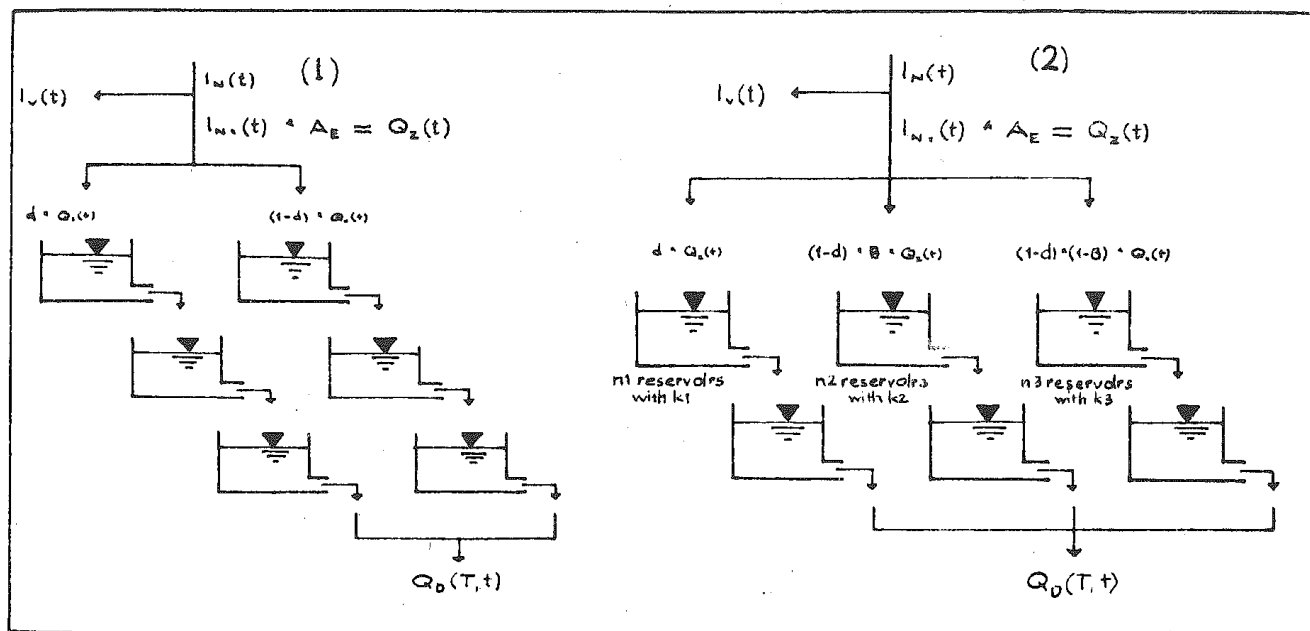
$$B = k_s^2 + 2n\Psi$$

n - hệ số độ rỗng của đất, Ψ - thế hút trên mặt ẩm.

2. Mô hình dòng chảy mặt

Sự tập trung dòng chảy là quá trình chảy của lượng mưa hiệu quả PEF trên bề mặt dốc đô thị. Điểm tập trung của dòng chảy là cửa vào hệ thống thoát nước như ga thu, hàm ếch ... HYDRO sử dụng lý thuyết hệ thống bể chứa tuyến tính của NASH (1957) để tính toán dòng chảy, trong đó bề mặt đô thị được phân chia thành hai loại diện tích kênh hóa (sewered area) và diện tích tự nhiên (natural area).

Phần diện tích kênh hóa được mô phỏng thành hai hệ thống bể chứa còn ở phần diện tích tự nhiên có 3 hệ thống bể chứa tương ứng (hình 1)



Hình 1. Hệ thống bể chứa cho phần diện tích kênh hóa (1) và diện tích tự nhiên (2)

Dòng chảy ra từ mỗi hệ thống bể chứa được tính theo hàm truyền (đường đơn vị $h(t)$ tương ứng) và tổng hợp các dòng chảy ra từ các hệ thống này là dòng chảy tập trung vào các điểm nhận nước của mỗi loại diện tích. Phương trình tính toán có dạng:

$$Q(t) = \left(\sum_{i=1}^m \frac{1}{k_i (n_i - 1)!} \cdot \left(\frac{t}{k_i} \right)^{n_i - 1} \cdot e^{-\frac{t}{k_i}} \right) \cdot \frac{A}{3,6} \cdot \text{PEF}(t) \quad (5)$$

trong đó:

n_i - số bể chứa trong một hệ thống tích,

k_i - hằng số tích của hệ thống đã cho,

m - số hệ thống tích,

A - diện tích thu nước,

PEF - mưa hiệu quả,

3,6 - trị số đổi đơn vị.

3. Mô hình dòng chảy trong hệ thống

HYDRO sử dụng phương pháp Kalinin - Miljukov (1958) để tính toán dòng chảy không ổn định trong hệ thống tiêu thoát chung trên cơ sở coi mỗi đoạn kênh là tập hợp các đoạn sông đặc trưng (hình 2). Đoạn sông đặc trưng có vai trò tương tự như một bể chứa theo lý thuyết của Nash. Do

vậy, dòng chảy ra từ mỗi đoạn kênh cũng được tính toán theo hàm truyền $h(t)$ với các thông số như sau:

$$n = \frac{1}{L} \quad (6)$$

$$\text{với } L = \left(\frac{Q}{\Delta H} \right)_{\text{on định}} \quad \text{và } k = \bar{L} \cdot B(H_{\text{on định}}) \cdot \left(\frac{\Delta H}{\Delta Q} \right)_{\text{on định}} \quad (7)$$

ở đây:

n - số đoạn sông đặc trưng ,

1 - chiều dài đoạn kênh,

L - chiều dài đoạn kênh đặc trưng,

k - hằng số tích của đoạn sông đặc trưng,

$(\Delta Q/\Delta H)_{\text{on định}}$ - độ dốc quan hệ $Q - H$ chảy ổn định tại mặt cắt dưới,

$Q_{\text{ổn định}}$ - lưu lượng chảy ổn định tại mặt cắt dưới,

$B(H_{\text{ổn định}})$ - chiều rộng mặt cắt ngang tại trạm dưới ở mực nước ổn định.

Quan hệ (7) biểu thị rằng thông số k phụ thuộc vào sự biến đổi lưu lượng Q và mực nước H . Do vậy, trong thực tế tính toán người ta có thể lập quan hệ giữa trị số này với $(\Delta Q/\Delta H)$ là độ dốc quan hệ $H - Q$ hoặc chọn giá trị trung bình hóa $\bar{k}$. Cả hai cách chọn này đều được tự động hóa trong chương trình tính HYDRO.

Sau khi các thông số đã hoàn toàn xác định, phương trình tính toán lưu lượng tại mặt cắt dưới của mỗi đoạn kênh như sau:

$$Q_{o,t+1} = Q_{o,t} + C_1 \cdot (Q_{i,t} - Q_{o,t}) + C_2 \cdot (Q_{i,t+1} - Q_{i,t}) \quad (8)$$

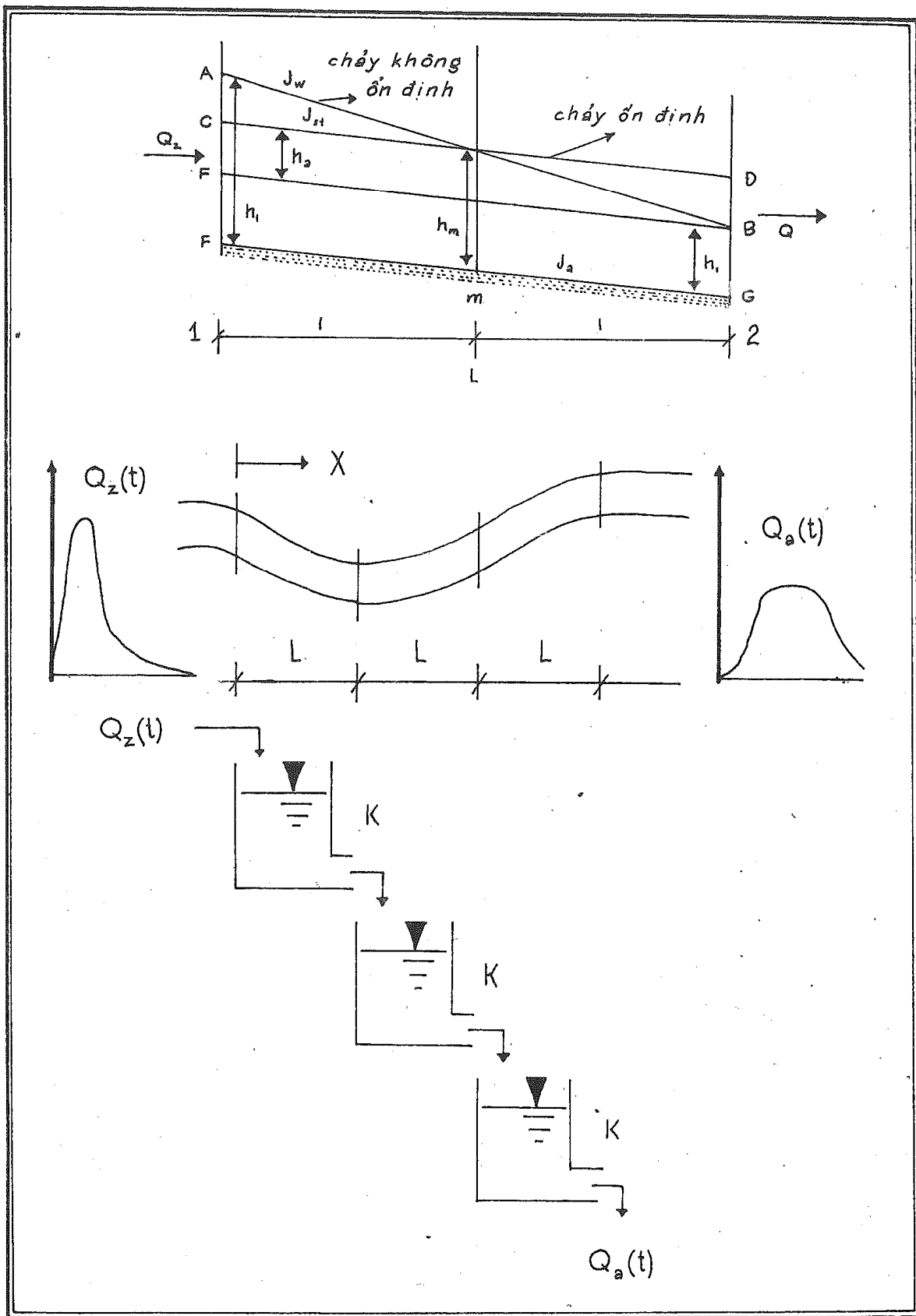
$$\text{với : } C_1 = 1 - e^{-\Delta t/k} \quad \text{và} \quad C_2 = 1 - (k/\Delta t) \cdot C_1$$

trong đó : i (input)- chỉ số biểu thị lưu lượng vào,

o (output)- chỉ số biểu thị lưu lượng ra,

Δt - thời đoạn tính toán,

$t, t+1$ - đầu và cuối thời đoạn tính toán.



Hình 2. Hệ thống bậc tích tuyến tính là tập hợp đoạn sông đặc trưng L của một chiều dài sông theo phương pháp Kalinin - Miljukov.

III. Cấu trúc chương trình tính toán

Chương trình tính được viết bằng ngôn ngữ TURBO - PASCAL 7.0 với khoảng 65.000 dòng lệnh. Chương trình thực hiện (.EXE) chiếm khoảng 300 Kb và sử dụng được trên máy vi tính có các chỉ tiêu kỹ thuật tối thiểu như:

- Bộ nhớ cơ sở 640 Kb
- Dung tích đĩa cứng 10Mb
- Các đĩa mềm 1,2 và 1,44 Mb
- Hệ điều hành MS - DOS 5.0
- Có bộ xử lý toán học

Số liệu vào để chạy chương trình được bố trí trong bốn hệ thống. Mỗi hệ thống bao gồm các file chứa các thông tin riêng, cụ thể:

Hệ thống mô tả cấu trúc lưu vực gồm các file mô tả phân chia diện tích, đặc tính lưu vực; hệ thống cống ngầm; hệ thống kênh, mương với dạng hình học bất kỳ; với công trình xả nước thải...

Hệ thống số liệu vào bao gồm các file quá trình mưa, bốc hơi, dòng chảy thực đo (nếu có) để hiệu chỉnh, thẩm tra mô hình.

Hệ thống biểu thị kết quả được lưu trữ trong các file kết quả tính toán lưu lượng, chất lượng nước, thống kê kết quả tóm tắt.

Hệ thống điều khiển chương trình gồm các file mô tả sơ đồ hình thành và quy luật chảy logic trong hệ thống và các thông số điều khiển chương trình.

Ngoài chương trình chính, HYDRO còn có các chương trình phụ độc lập để kiểm tra lập biên bản về các sai sót hoặc các lỗi về hệ thống số liệu đưa vào giúp chương trình chính chạy không bị ngắt quãng.

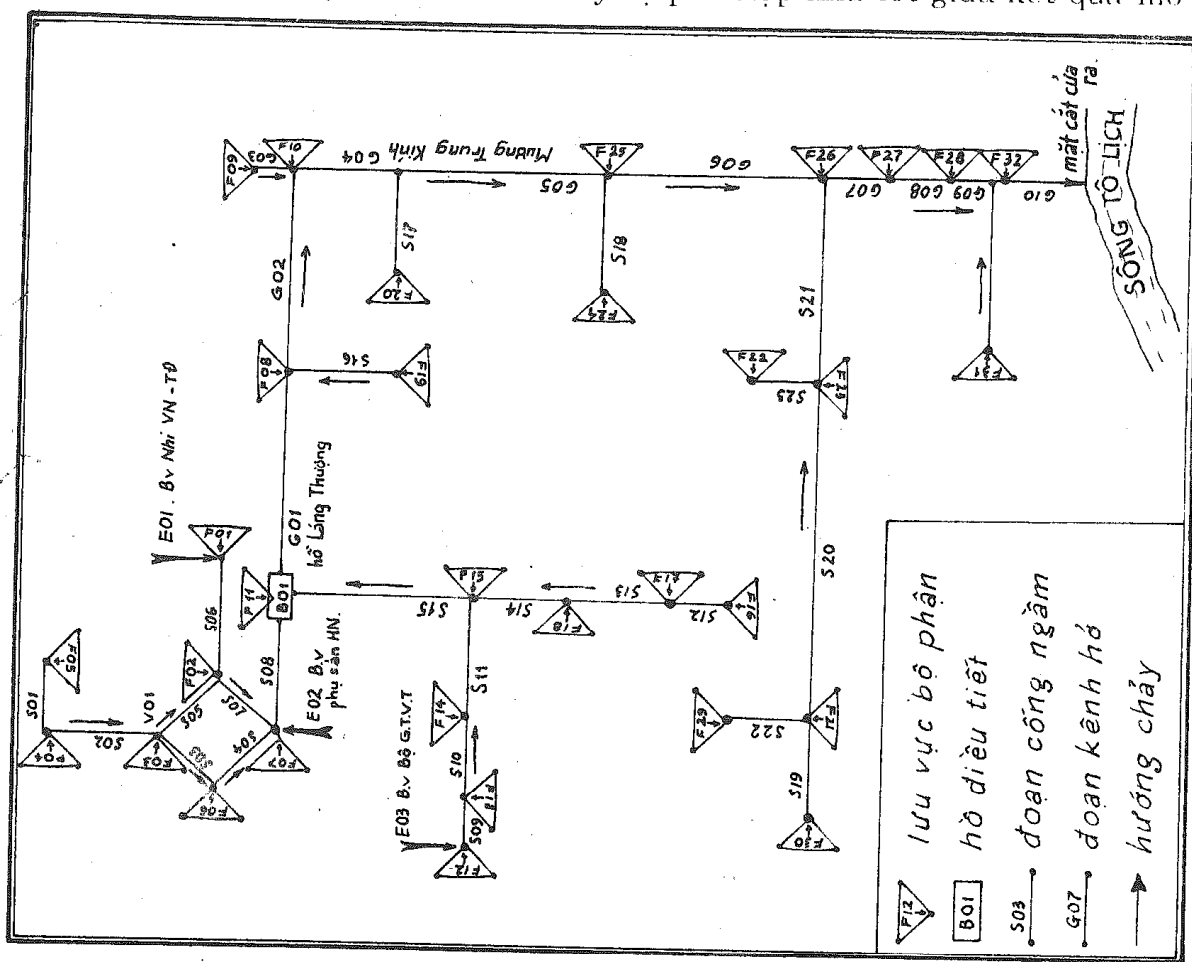
Người sử dụng có thể kiểm tra và hiệu chỉnh kết quả tính toán và thực đo trực tiếp trên màn hình máy vi tính qua một chương trình đặc biệt VIDEO.

IV. Áp dụng tính toán

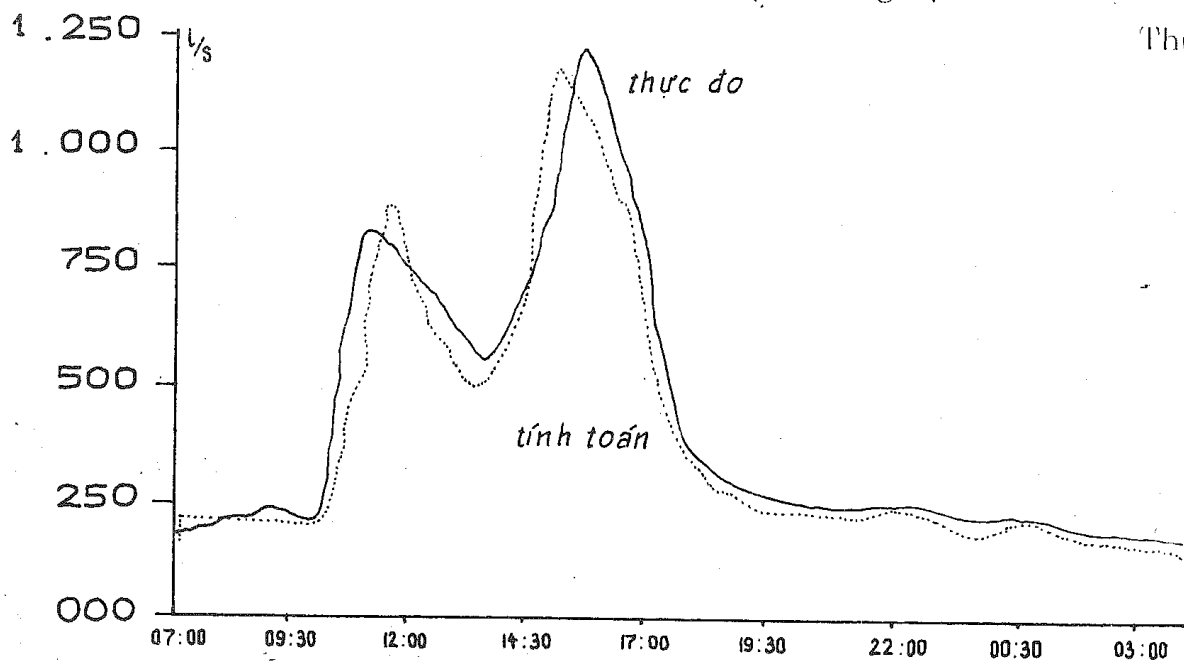
Mô hình HYDRO lần đầu tiên được áp dụng ở nước ta tại khu vực Cầu Giấy - Láng Thượng - nơi đang có tốc độ đô thị hóa khá nhanh ở thành phố Hà Nội. Khu vực có diện tích 117 ha với hệ thống thoát nước chung cho nước mưa và nước thải. Căn cứ vào bản đồ địa hình tỷ lệ 1/2000 và khảo sát bổ sung, lưu vực được phân thành 32 lưu vực bộ phận với diện tích từ 0,5 đến 6,68 ha. Hệ thống thoát nước bao gồm hệ thống cống ngầm, kênh mương hở và một hồ có nhiệm vụ điều tiết nước mưa ban đầu (hình 3). Đây là khu vực kín được bao bọc bởi các đường phố có nền đường cao hơn, toàn bộ nước mưa và nước thải được dẫn tập trung qua mương chính và đổ ra sông Tô Lịch.

Chương trình đã tính toán cho 5 trận mưa đơn thực đo (trạm đo mưa tự ghi tại Láng) trong mùa mưa 1993. Hình 4 giới thiệu một kết quả tính toán quá

trình lưu lượng cho trận mưa ngày 12/VII/93 và những kết quả cho 4 trận mưa - dòng chảy còn lại [2] đều cho thấy sự phù hợp khá tốt giữa kết quả mô



Hình 3. Sơ đồ hệ thống tiêu thoát nước khu vực thử nghiệm Cầu Giấy - Láng Thượng



Hình 4. Dòng chảy tính toán và thực đo - trận mưa ngày 12/VII/1993 tại khu vực Cầu Giấy - Láng Thượng

phòng và thực đo. Tuy nhiên, bộ thông số chọn được qua các thử nghiệm này cần phải được hiệu chỉnh bổ sung do biến đổi nhanh chóng bề mặt đô thị và hệ thống thoát nước.

V. Kết luận

Kết quả tính toán thử nghiệm cho thấy mô hình HYDRO có khả năng áp dụng được ở nước ta. Về nguyên tắc, nó có thể áp dụng cho bất kỳ lưu vực đô thị nào có cấu trúc đa dạng về địa hình và hệ thống thoát nước đô thị. Mô hình dễ sử dụng do các file số liệu đã được mã hóa (format), dưới các dạng bảng và sắp xếp các thông tin một cách khoa học do tận dụng được những tiến bộ mới nhất của ngôn ngữ lập trình TURBO - PASCAL 7.0. Chương trình tính toán không những áp dụng cho một lưu vực thoát nước hoàn chỉnh mà còn có thể áp dụng cho các công trình dùng riêng như sân bay, kho, bãi, đường giao thông hay quá trình vận hành của hồ chứa nước đa chức năng ...

Mô hình được xây dựng trên nguyên tắc cân bằng nước lấy phương trình liên tục làm cơ sở nên nếu áp dụng mô hình này cho các khu vực có tác động mạnh mẽ của ảnh hưởng nước vật, chảy ngược, thủy triều sẽ gặp sai số lớn. Trong trường hợp như vậy việc áp dụng mô hình SWMM là thích hợp hơn, tuy nhiên, chi phí thu thập số liệu, thời gian tính toán sẽ tăng gấp nhiều lần.

X HYDRO là một công cụ hữu hiệu trong nghiên cứu cơ cấu quá trình hình thành và chuyển động dòng chảy đô thị và sự thay đổi quan hệ mưa - dòng chảy do đô thị hóa. Trong công tác quy hoạch, thiết kế và cải tạo hệ thống tiêu nước đô thị nó tạo ra những cơ sở khoa học khách quan để thẩm định các phương án, góp phần chọn giải pháp tối ưu và quản lý, vận hành hệ thống này. X

Tài liệu tham khảo

1. Lã Thanh Hà, Đoàn Chí Dũng. Giới thiệu và áp dụng bước đầu bộ chương trình tính SWMM, Tập san KTTV, 10 - 1995.
2. Lã Thanh Hà và ctv. Xác định lượng nước cần tiêu thoát do mưa cho khu vực cục bộ ở thành phố Hà Nội, Đề tài NCKH, Tổng cục KTTV 1992 - 1994.
3. Lã Thanh Hà. Xây dựng một phương pháp để nghiên cứu sự thay đổi quan hệ mưa - dòng chảy do đô thị hóa, Luận án PTS, tiếng Đức, 1990.
4. Lã Thanh Hà, Trần Bích Nga. Áp dụng mô hình thấm hai giai đoạn để xác định lượng mưa hiệu quả cho lưu vực đô thị. Tập san KTTV số 5 (401), 1994./.