

QUẢN LÝ LƯU VỰC BẰNG HỆ THỐNG MÔ HÌNH

TS. Dương Văn Khánh

Cục Mạng lưới - Tổng cục Khí tượng Thủy văn

Lời giới thiệu: Trong những năm gần đây lũ quét xảy ra liên tục ở rất nhiều nơi trong nước cũng như trên thế giới. Đây là một vấn đề có tính thời sự cao và được quan tâm đặc biệt không những chỉ ở nước ta mà ở nhiều nơi trên thế giới. Nguyên nhân chính là do hoạt động khai thác sử dụng các điều kiện tự nhiên của lưu vực nhằm chuyển hoá thành các giá trị kinh tế đang diễn ra mạnh mẽ, cộng với việc qui hoạch và quản lý thực sự chưa có tính định hướng cao đã phá vỡ cân bằng sinh thái của môi trường, làm thay đổi các đặc trưng của môi trường cũng như làm biến đổi khí hậu và thời tiết.

Lưu vực sông là một hệ thống động lực, trong đó quá trình hình thành và phát triển dòng chảy diễn ra một cách liên tục. Nghiên cứu mô phỏng dòng chảy hình thành trên lưu vực trong các điều kiện thay đổi của lưu vực là vấn đề cần được đặt ra để nghiên cứu và phân tích đánh giá sự thay đổi chế độ dòng chảy do hoạt động kinh tế của con người gây ra theo phương pháp phân tích hệ thống, từ đó xây dựng các chiến lược quản lý lưu vực có tính toàn diện và lâu dài. Cụ thể là thay đổi giá trị của các tham số đầu vào mô hình (input) như lượng mưa, địa hình lưu vực, các nhân tố mặt đệm, độ che phủ lưu vực và các đặc tính vật lý của đất đai, kết quả nhận được (output) của hệ thống là dòng chảy ở mặt cắt cửa ra. Các tham số input mô hình đại diện cho từng lưu vực bộ phận (hệ thống con) - tham số địa vật lý của lưu vực cùng với các đặc trưng khí tượng thủy văn (Wiezik 1995). Xác định tham số đầu vào mô hình là công việc quan trọng nhất đòi hỏi nhiều công sức và độ chính xác cao nhất, nghiên cứu phân tích sự phát triển và truyền dịch của sóng lũ trong sông và trên lưu vực là một vấn đề quan trọng trong nghiên cứu thủy văn từ quan điểm quản lý lưu vực. Điều tra khảo sát có định hướng nhằm mục đích nhận thức các quá trình riêng rẽ liên quan đến quá trình hình thành lũ, mô tả sự hình thành và cố gắng mô hình hoá chúng. Mô hình phát triển với sự mô tả đơn giản hoá hệ thống thực của lưu vực cho phép xác định các phản ứng của lưu vực về lượng mưa như là một xung lực (impulse) đầu vào. Phương pháp mô hình mô phỏng có thể điều tra tất cả sự thay đổi kể cả sự thay đổi của môi trường và khí hậu trên lưu vực, đồng thời xem xét sự ảnh hưởng của nó đối với dòng chảy lũ. Bài báo này mô tả về sự áp dụng chương trình hệ thống mô hình lưu vực WMS, bao gồm sự kết hợp của kỹ thuật hệ thống thông tin địa lý GIS và mô hình HEC-1.

1. Giới thiệu về mô hình WMS

Mô hình WMS (Watershed Modeling System) là một phần mềm hoàn chỉnh tổng hợp phát triển và tiến bộ cho việc phân tích nghiên cứu quá trình thủy văn được viết bởi một nhóm kỹ sư của "Engineering Computer Graphics Laboratory of Brigham Young University" hợp tác với "U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station". Đây là sự kết hợp giữa mô hình HEC-1 (Hydrological Engineering Centre - US) nổi tiếng và hệ thống thông tin địa lý GIS (Geographical Information System). Kỹ thuật GIS được sử dụng để xác định cơ sở dữ liệu số hoá bao gồm bản đồ địa hình địa mạo của hệ thống sông suối, dạng đất đai (Soil type) và đất sử dụng (Land use), chia lưu vực thành các lưu vực con và xác định các tham số không gian địa vật lý đại diện cho từng lưu vực bộ phận cũng như của cả lưu vực. Đây là bước đầu tiên phục vụ việc xác định biểu đồ quá trình lũ.

Mô hình HEC-1 là mô hình mô phỏng quá trình thủy văn trong mùa lũ. Mô hình chuyển hoá quá trình mưa thành quá trình dòng chảy trên từng lưu vực bộ phận, sau đó là quá trình diễn toán lũ trong sông thiên nhiên và hồ chứa. Lượng mưa hiệu quả được xác định bằng phương pháp SCS, hệ số CN (Curve Number) được xác định tính toán tối ưu hoá để xác định lượng mưa hữu hiệu - dòng chảy trực tiếp. Dòng chảy tại mặt cắt cửa ra của lưu vực được xác định bằng mô hình quan niệm, đường lưu lượng đơn vị được xác định bằng phương pháp Wackermann, trong đó các tham số của phương pháp Wackermann được xác định từ các công thức kinh nghiệm. Biểu đồ lũ tại mặt cắt cửa ra của lưu vực là sự tổ hợp của dòng chảy tràn trên các bề mặt lưu vực bộ phận đến mạng lưới sông suối, sau đó được diễn toán trong sông đến mặt cắt cửa ra bằng phương pháp Muskingum. Kiểm chứng kết quả tính toán dựa vào các tiêu chuẩn đánh giá sai số so với số liệu quan trắc. Áp dụng mô hình HEC-1 ngoài việc kiểm chứng mô hình tiếp theo là mô phỏng dòng chảy trên lưu vực trong các điều kiện thay đổi các tham số tác động đến dòng chảy như thổ nhưỡng, thảm phủ, diện tích đất canh tác, tốc độ đô thị hoá (bê tông hoá) với các tần suất mưa phân phối khác nhau.

2. Ứng dụng mô hình WMS

Mô hình WMS được áp dụng, kiểm chứng và mô phỏng các hoạt động kinh tế của con người ảnh hưởng đến sự thay đổi của quá trình lũ cho một lưu vực canh tác nông nghiệp — Lưu vực sông Zagozdzonka nằm ở vùng Radom, ở bên nhánh trái của sông Wisla ở trung tâm của Ba Lan, phía nam Warszawa với diện tích lưu vực khoảng 100km².

Số liệu trên toàn bộ lưu vực được xác định một cách liên tục theo không gian bởi mô hình thuật số hoá địa hình DTM (Digital Terrain Modeling) cùng với các biểu đồ thủy văn, bản đồ thổ nhưỡng và bản đồ che phủ đất đai. Trên cơ sở DTM cùng với số liệu thủy văn có được mô hình WMS tự động tính toán chia lưu vực thành các lưu vực bộ phận và tự động tính toán các tham số địa hình của từng lưu vực con.

Phần mềm GIS (ArcINFO) và modul GIS của WMS được áp dụng cho việc xây dựng dữ liệu số hoá của lưu vực và tiếp theo được sử dụng để xác định các tham số vật lý của lưu vực (Chormanski et al 1998), cơ sở số liệu bao gồm:

a) Mô hình địa hình kỹ thuật số dựa vào qui tắc TIN (Triangulate Irregular Network) hệ thống tam giác bất qui tắc (Meijerink et al 1994) đạt được từ bản đồ địa hình và bản đồ hệ thống mạng lưới sông suối tỷ lệ 1:10.000. Mô hình này là cơ sở xác định và phác hoạ đường biên giới của lưu vực, xác định diện tích các lưu vực bộ phận, phân diện tích lưu vực không tham gia dòng chảy và tính toán các tham số địa vật lý của các lưu vực bộ phận (hình 1, hình 2).

b) Bản đồ che phủ và sử dụng đất (Land Use) và bản đồ phân loại đất đá được số hoá dựa vào bản đồ địa hình tỷ lệ 1/25.000 và bản đồ thổ nhưỡng tỉ lệ 1/300.000. Các loại bản đồ này được sử dụng để xác định hệ số CN và lượng mưa tổn thất (Rallison và Miller 1981. National Engineering Handbook 1985).

Từ bản đồ địa hình được số hoá, WMS chia lưu vực Zagozdzonka thành ba lưu vực bộ phận là Wygoda, Czarna và Plachty Stare. Mô hình WMS kiểm chứng cho hệ thống của các lưu vực con bởi đường quá trình dòng chảy mặt được xác định cho ba vị trí tuyến đo trên.

Lượng mưa thực đo được chia thành lượng mưa hiệu quả và lượng mưa tổn thất. Lượng mưa hiệu quả được xác định bằng phương pháp SCS (Soil Conservation Service), theo phương pháp SCS (Rallison, Miller 1981, SCS 1964, SCS 1985), lượng mưa hiệu quả là đối tượng của hệ số CN (Curve Number) phụ thuộc thổ nhưỡng, thảm phủ, đất sử dụng, điều kiện lượng ẩm của lưu vực,... (Hawkins 1985, Chow 1964, Banasik, Ignar 1985, 1988, Ozga-Zielinska, Brzezinski 1994). CN thay đổi từ 0 đến 100 và nó liên quan đến lượng trữ lớn nhất của lưu vực S (mm) bởi công thức:

$$S = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (1)$$

Lượng mưa hiệu quả được xác định theo công thức:

$$H = \frac{(P - 0.2 \cdot S)^2}{(P + 0.8 \cdot S)} \quad (2)$$

Trong đó H: Lượng mưa hiệu quả (mm),

S: Lượng trữ lớn nhất (mm),

P: Tổng lượng mưa (mm).

Giá trị các tham số của phương pháp SCS đối với các trường hợp tính toán khác nhau được xác định từ các bản đồ số hoá thảm phủ thổ nhưỡng do chương trình WMS.

Từ giả định là lượng dòng chảy lũ ở mặt cắt cửa ra là tương đương với lượng mưa hiệu quả trên lưu vực, mô hình đường lưu lượng đơn vị Wackerman (1981) được sử dụng để diễn toán mưa rào dòng chảy cho các lưu vực con. Mô hình Wackermann gồm 2 lớp bể chứa song song tuyến tính, mỗi lớp gồm 2 hồ chứa (trường hợp đặc biệt của mô hình Diskin 1964), tham số mô hình của mỗi lưu vực con được xác định tự động từ đặc tính địa hình địa mạo của các lưu vực con với sự giúp đỡ của kỹ thuật GIS. Các tham số của mô hình Wackermann β , K_1 , K_2 phụ thuộc chủ yếu vào độ dốc và độ dài của lưu vực được xác định từ các phương pháp sau:

a, Tối ưu hoá theo thuật toán đồ tìm của Rosenbrock 1960.

b, Công thức kinh nghiệm của Thiele và Ignar (Thiele, Euler 1981, Ignar 1993).

$$K_1 = a_1 \cdot \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{p_1}; \quad K_2 = a_2 \cdot \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{p_2}; \quad \beta = a_3 \cdot \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{p_3} \quad (3)$$

Giá trị lưu lượng đơn vị tức thời IUH gây ra bởi một đơn vị lượng mưa hiệu quả được xác định theo công thức sau:

$$U_t = \beta \left[\frac{t}{k_1^2} \right] \cdot e^{-\frac{t}{k_1}} + (1 - \beta) \left[\frac{t}{k_2^2} \right] \cdot e^{-\frac{t}{k_2}} \quad (4)$$

Trong đó:

1, 2 .. Chỉ số cho bể chứa 1, 2, ..

K_1, K_2 : Hệ số lượng trữ của bể chứa 1, 2,
 β : Hệ số chia nước cho bể chứa 1 và 2 từ lượng mưa hiệu quả,
 t : Thời gian bắt đầu của IUH,
 $U(t)$: Giá trị của IUH cho bể chứa 1 và 2,
 $a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3$: Hệ số kinh nghiệm để xác định K_1, K_2, β .

Tác giả	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3
Thiele	0,731	0,218	2,02	0,281	2,02	-0,508
Ignar	1,283	0,159	0,893	0,79	1,04	-0,403

Phương pháp Muskingum được áp dụng cho việc truyền lũ trong sông giữa các tuyến đo (Routing of flood 1960). Kiểm chứng mô hình được thực hiện bằng việc so sánh giữa giá trị thực đo và giá trị tính toán của dòng chảy mặt nhờ hệ số tương quan đặc biệt R_s của Delleur, Sarma và Rao 1973.

$$R_s = \left[\frac{2 \sum_{i=1}^N Q_{o(i)} \cdot Q_{c(i)} - \sum_{i=1}^N (Q_{c(i)})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{o(i)})^2} \right]^{1/2} \quad (5)$$

Trong đó:

$Q_{o(i)}$: Giá trị dòng chảy thực đo thứ i (m^3/s),

$Q_{c(i)}$: Giá trị dòng chảy tính toán thứ i (m^3/s),

N : Số giá trị dòng chảy thực đo.

Các tác giả xác định 5 cấp độ của hệ số R_s để đánh giá chất lượng của kết quả tính toán so với thực đo từ đặc biệt tốt (cấp 5) đến kém (cấp 1):

$0,99 \leq R_s < 1$	Đặc biệt tốt	= 5
$0,95 \leq R_s < 1,0$	Rất tốt	= 4
$0,90 \leq R_s < 0,95$	Tốt	= 3
$0,85 \leq R_s < 0,90$	Trung bình	= 2
$0,80 \leq R_s < 0,85$	Kém	= 1

Kết quả tính toán được thể hiện trong bảng 1.

Thời gian đỉnh lũ của hầu hết các trường hợp tính toán đều tương đương với số liệu quan trắc. Đây là kết quả của việc xác định các tham số địa vật lý của các lưu vực con. Các giá trị của hệ số tương quan đặc biệt đối với tất cả các trường hợp đều đạt tốt và rất tốt.

3. Phân tích sự nhạy cảm của mô hình

Sự nhạy cảm của mô hình được phân tích thông qua sự thay đổi các tham số được lựa chọn của mô hình nhằm xác định chất lượng và khả năng của mô hình trong việc mô phỏng sự thay đổi của môi trường sinh thái ảnh hưởng đến dòng chảy lũ.

Tham số CN và phản ứng của nó về sự thay đổi độ che phủ bề mặt lưu vực, đất canh tác (Land use), điều kiện độ ẩm của lưu vực và khả năng sai số có thể trong việc xác định các nhóm thổ nhưỡng được phân tích. Bản đồ số hoá của thổ nhưỡng và sự che phủ lưu vực (hình 1) được sử dụng trong những tính toán này như rừng, thảo nguyên, đồng cỏ, canh tác nông nghiệp trồng ngũ cốc và các loại cây hạt nhỏ. Sự tính toán cho thấy mô hình nhạy cảm cao với sự thay đổi của tham số CN và nó nhấn mạnh tầm quan trọng của việc nghiên cứu phân tích, phân loại thổ nhưỡng vào các nhóm thổ nhưỡng A, B, C, D và xác định giá trị CN của từng loại thảm phủ trong các điều kiện độ ẩm của lưu vực (trước đó 5 ngày có mưa so với thời điểm mưa lũ xuất hiện).

4. Tính toán mô phỏng sự thay đổi của lưu vực

Hoạt động kinh tế của con người trên lưu vực gây ra sự thay đổi các điều kiện tự nhiên của lưu vực. Thay đổi sự che phủ trên bề mặt lưu vực là do sự phát triển kinh tế trên diện tích lưu vực. 4 trường hợp về sự thay đổi che phủ bề mặt lưu vực được tính toán với 3 mức của tần suất mưa. Kịch bản tính toán mô phỏng liên quan đến sự phá huỷ rừng trên lưu vực và thay đổi phân diện tích rừng bị phá huỷ thành:

- a, Đất canh tác,
- b, Trồng cỏ,
- c, Đất đai thành cần cỗi không trồng trọt được,
- d, Trồng cây lương thực, thực phẩm,
- e, Phá huỷ 10% diện tích rừng và được thay thế bằng đô thị hoá (tăng diện tích không thấm),
- f, Phá huỷ 10% diện tích rừng và thay thế bằng trồng cỏ,
- g, Toàn bộ diện tích rừng trên lưu vực bị phá huỷ chuyển thành đất canh tác.

Việc chặt phá rừng và đô thị hoá là những sự thay đổi thường dễ quan trắc được nhất. Cả hai vấn đề này đều ảnh hưởng lớn đến quá trình hình thành dòng chảy và làm thay đổi sự giữ nước, điều tiết nước dòng chảy.

Trong bài báo này chúng tôi chỉ đưa ra kết quả của giả thiết 40% diện tích rừng của lưu vực Zagózdzonka bị phá huỷ, tiếp theo là toàn bộ diện tích rừng của lưu vực bị phá huỷ, một vài kịch bản mô phỏng xem xét phân tích, đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi rừng ở thượng lưu và hạ lưu của lưu vực sông đối với dòng chảy lũ và so sánh với điều kiện thực tế của lưu vực sông cũng như trong trường hợp rừng che phủ cả lưu vực. Tính toán mô phỏng với lượng mưa thiết kế 24h dạng phân bố mưa theo SCS bậc 2, với tần suất mưa giả định là 1%, 5%, 10%.

Kết quả tính toán mô phỏng, cho thấy thay đổi diện tích rừng có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình phát triển dòng chảy lũ, việc quản lý nguồn tài nguyên rừng là một công cụ quan trọng trong công việc ngăn chặn lũ. Kết quả tính toán đã đưa ra một lời khẳng định quan trọng về khả năng cắt giảm đỉnh lũ của sự che phủ rừng trên lưu vực (diện tích rừng tăng lên sẽ làm giảm độ lớn của đỉnh lũ), trong các điều kiện cực trị (rừng che phủ toàn bộ lưu vực) đỉnh lũ giảm 53% ứng với tần suất 10%, đỉnh lũ giảm 50% ứng với tần suất mưa 5% và đỉnh lũ giảm 40% ứng với tần suất 1%. Sự tính toán mô phỏng cũng khẳng định một ý kiến là rừng ở thượng nguồn của lưu vực sẽ cắt giảm đỉnh lũ mạnh hơn rừng định vị ở hạ lưu vực.

5. Kết luận và kiến nghị

Việc quy hoạch và quản lý lưu vực là một vấn đề cần được đặt ra lúc này hơn bao giờ hết nhất là trong những năm gần đây lũ quét, lũ bùn đá xảy ra thường xuyên, đây là cơ sở để cắt giảm đỉnh, lượng lũ và nâng cao chất lượng quản lý lưu vực nhằm ngăn chặn lũ quét.

Ứng dụng mô hình WMS để quy hoạch quản lý lưu vực và tính toán dòng chảy lũ là một công nghệ cần được đầu tư nghiên cứu và phát triển, từ đó có cơ sở để đề ra chiến lược phủ xanh đất trống đồi núi trọc (trồng rừng phụ thuộc vào môi trường sinh thái, thổ nhưỡng, loại cây trồng, công nghệ sinh học,... rừng phải được trồng thành nhiều tầng nhiều lớp) để giữ đất, và tăng khả năng giữ nước, điều tiết của lưu vực.

Ứng dụng mô hình số hoá địa hình và hệ thống thông tin địa lý (WMS) giúp cho việc phác thảo lưu vực, tự động tính toán các tham số của các lưu vực con hoặc cho cả lưu vực, đây là kỹ thuật có thể sử dụng tốt trong việc qui hoạch và quản lý lưới trạm khí tượng thủy văn cũng như giải quyết bài toán tính toán thủy văn (mô phỏng quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực trong mối quan hệ tương tác với các điều kiện (sản có hay thay đổi như thổ nhưỡng và thảm phủ của lưu vực) của lưu vực.

Trong những năm sắp tới khi kỹ thuật viễn thám và phần mềm ArcView GIS cùng với WMS được ứng dụng ở nước ta, nó sẽ là công cụ tiến bộ, hiện đại phục vụ tốt bài toán mô phỏng tính toán thủy văn, quy hoạch, quản lý lưu vực và có thể sử dụng tốt trong bài toán mô phỏng quá trình hình thành, diễn biến lũ vùng đồng bằng sông Mê-công.

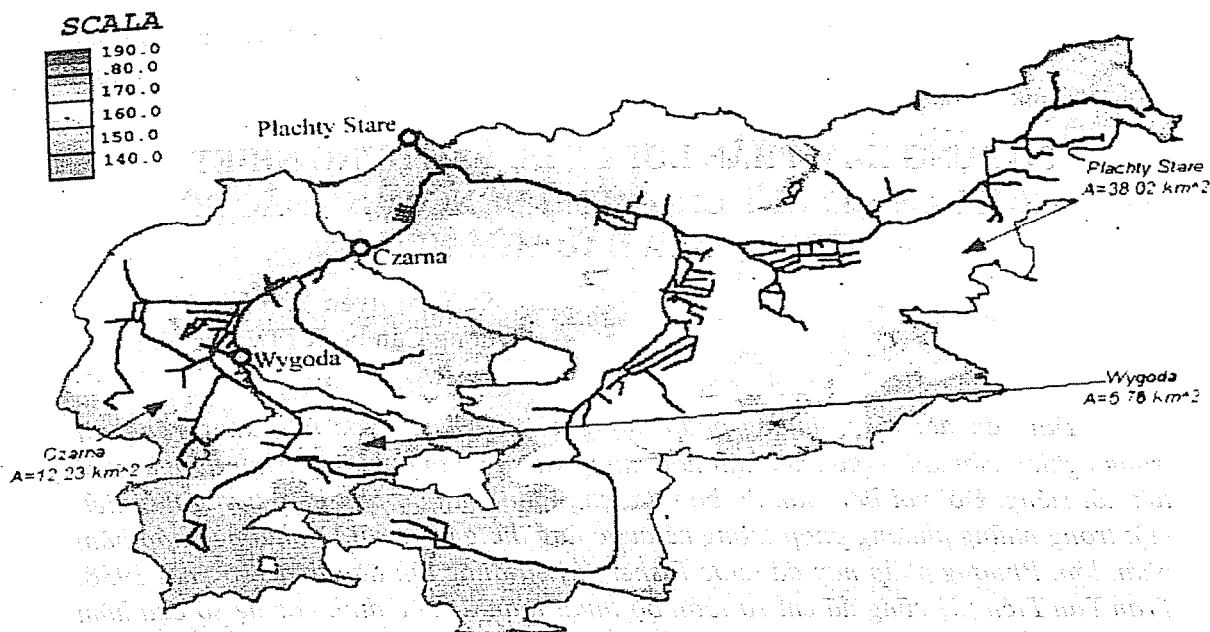
Bảng 1. Kết quả tính toán cho lưu vực sông Zagozdzonka

Trận lũ	Lưu vực con	Giá trị Q đỉnh lũ dòng chảy mặt thực đo		Giá trị Q đỉnh lũ dòng chảy mặt tính toán		Rs	Cấp của Rs
		$Q_{\max}$ (m^3/s)	Thời gian đỉnh lũ (h)	$Q_{\max}$ (m^3/s)	Thời gian đỉnh lũ (h)		
I	Wygoda	0,184	20	0,153	20	0,994	5
	Czarna	0,911	18	0,927	18	0,992	5
	Plachty Stare	0,839	22	0,868	21	0,983	4
II	Wygoda	0,069	10	0,041	10	0,936	3
	Czarna	0,239	10	0,178	10	0,973	4
	Plachty Stare	0,427	11	0,365	11	0,977	4

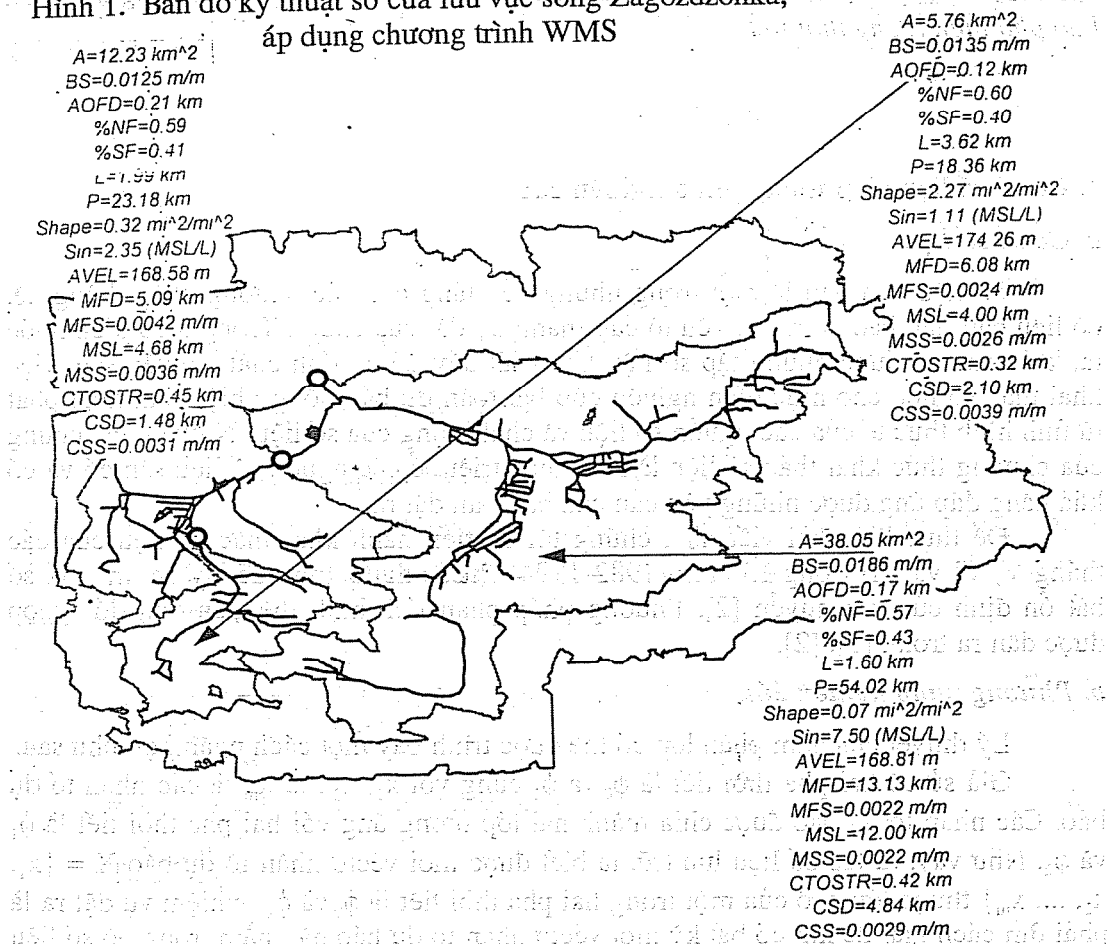
Tài liệu tham khảo

1. Banasik K. (1995): *Model sedymentogramu wezbrania opadowego w malej zlewni rolniczej*. Wyd. SGGW.
2. Banasik K., Ignar S. 1985 *Wplyw metody wyznaczania opadu e fektywnego na parametry modelu Nash malej zlewni rolniczej*. Gosp. Wodna. 4.

3. BOSS WMS 4.1. *User's Manual* (1997).
4. Chormanski J., Duong Van Khanh., Grot T., Ignar S. (1998): *Zastosowanie "Systemu Modelowania Zlewni" (Watershed Modeling System) do badan hydrologicznych.*; Zeszyty Problemowe Postepu Nauk Rolniczych, z. 458 Przyrodnicze i Techniczne problemy gospodarowania wode dla zrównowazonego rozwoju obszarów wiejskich.
5. Chow, V. T. 1964, *Handbook of Applied Hydrology*. McGRAW- Hill Book Company, New York.
6. Corps Of Engineers (1960): *Routing of floods through River Channels*. Engineering Manual 1110-2-1408, US Army, Washington, D.C.
7. Delleur J.W., Sarma R.B.S., Rao A.R. (1973): *Comparison of rainfall- runoff models for urban areas*. J. of Hydr., 18; 3-4.
8. Diskin, M. H. 1964, *A basic study of the linearity of the rainfall - runoff in Watershed*, Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana
9. Duong Văn Khánh, Jaroslaw Chormanski (1999) *Application of WMS package for flood flows modelling in small agricultural watershed*, Rocznik Akademii Rolniczej w Poznaniu- CCCX.
10. Duong Văn Khánh (2000) *Application of conceptual rainfall- runoff model for evaluation of human activity influence on flood flows*, Luận án Tiến sĩ, Vacsava, Ba Lan 5/2000.
11. Ignar S. (1993): *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych* Wyd. SGGW (56 ss.). *National Engineering Handbook* 1985, Section 4; Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Services.
12. Meijerink A.M.J., Brouwer de H.A.M, Mannaerts C.M., Venezuela C.R. 1994. *Introduction to the use of Geographic Information Systems for Practical Hydrology* ITC Publ No. 23: 243 ss.
13. Ozga-Zielinska, Brzezinski, 1994 *Hydrologia stosowana*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
14. Rallison R.E., Miller N. 1981. *Past, present and future of SCS runoff procedure*. Int. Symp. on Rainfall-Runoff Modelling. Mississippi State University.
15. Soil Conservation Services 1964 SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
16. Soil Conservation Services 1985, Hydrology, National Engineering Handbook, Section 4, (NEH) U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
17. Thiele F. Euler G., 1981 *Vegleichende Untersuchung zur Ermittlung von Uebringungs funktionen aus einuégbietsgrossen nach verschiedenen Methoden*. Untersuchung fur den DVWK- FA Nide rschlag-Abflussmodelle.
18. Wackermann R., 1981, *Eine Einheitsgangline aus chrakteristischen System werten ohne Niederschlag-Abfluss- Messungen*. Wasser und Boden, 1.
19. Wiezik B. 1995. *Matematyczny model odpływu ze zlewni o parametrach dyskretnie rozlozonych*. Monitorowanie i modelowanie procesów hydrologicznych w zmieniającym sie srodowisku. Materiały sympozjum Pionki 4-5 wrzesnia 1995: 55-62.



Hình 1. Bản đồ kỹ thuật số của lưu vực sông Zagozdzonka, áp dụng chương trình WMS



Hình 2. Các tham số của các lưu vực bộ phận của lưu vực sông Zagozdzonka được tự động tính toán bởi chương trình WMS