

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH QUAN NIỆM MƯA RÀO - DÒNG CHẢY ĐỂ ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG HOẠT ĐỘNG CỦA CON NGƯỜI ĐẾN DÒNG CHẢY LŨ

TS Dương Văn Khánh - Cục Mạng lưới, Tổng cục Khí tượng Thủy văn

1. Đặt vấn đề

Trong vài thập kỷ gần đây, thiên tai hạn hán, lũ lụt xảy ra ở khắp mọi nơi với phạm vi qui mô ngày càng lớn, sự thiệt hại ngày càng nhiều, nguyên nhân 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 làm thay đổi các đặc trưng của môi trường cũng như làm biến đổi khí hậu và thời tiết, đây là vấn đề có tính thời sự cao được thế giới và trong nước đặc biệt quan tâm, nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng hoạt động của con người đến chế độ dòng chảy cũng như xây dựng các chính sách trong việc qui hoạch, quản lý, điều tra tài nguyên nước để hạn chế các thảm hoạ của môi trường. Những vấn đề này chỉ có thể giải quyết bằng sử dụng các mô hình toán thủy văn.

2. Mô hình WMS

Mô hình WMS (Watershed Modeling System) là một chương trình tổng hợp, phát triển và hiện đại phục vụ tốt 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.

3. Xây dựng và phát triển bản đồ số hoá lưu vực nghiên cứu

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.

Phần mềm GIS (ArcINFO) và modul GIS của WMS được áp dụng cho việc xây dựng dữ liệu số hoá của lưu vực và được sử dụng tiếp theo để xác định các tham số địa vật lý của lưu vực [4] những cơ sở số liệu này gồm:

a/ Mô hình địa hình kỹ thuật số dựa vào qui tắc TIN (Triangulate Irregular Network - hệ thống tam giác bất qui tắc) [14] 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 sinh dòng chảy và tính toán các đặc trưng hình học của các lưu vực bộ phận;

b/ Bản đồ đất sử dụng và bản đồ thổ nhưỡng dạng SCS (Soil Conservation Service) được số hoá dựa vào bản đồ địa hình tỷ lệ 1:25.000 và bản đồ thổ nhưỡng tỷ lệ 1:300.000. Các loại bản đồ số hoá này được sử dụng sau này để xác định hệ số CN (curve number) và lượng mưa tổn thất cho lưu vực Zagodzdonka [13, 16] (Banasik 1994; Chormanski et al. 1989; Khanh et al 1999).

Tất cả thông tin và số liệu cần thiết của lưu vực Zagodzdonka được tìm kiếm và thu thập để xây dựng sơ đồ tính toán, đồng thời cũng là cơ sở để WMS chia lưu vực Zagodzdonka thành 3 lưu vực con là Wygoda, Czarna và Plachty Stare.

Quá trình tính toán theo các bước dưới đây:

- Tính dòng chảy cho lưu vực con Wygoda,
- Diễn toán đường quá trình từ Wygoda đến Czarna,
- Tính dòng chảy cho lưu vực con Czarna,
- Tổ hợp đường quá trình dòng chảy lũ tại Czarna,
- Diễn toán đường quá trình tổ hợp từ Czarna đến Plachty Stare,
- Tính dòng chảy cho lưu vực Plachty Stare,
- Tổ hợp đường quá trình dòng chảy lũ tại Plachty Stare,
- Diễn toán đường quá trình tổ hợp từ Czarna đến Plachty Stare.

4. Sơ đồ tính toán đề xuất và nội dung thực hiện

Các bước cơ bản để áp dụng Mô hình HEC-1 1981 như sau:

- + Xác định tổng lượng mưa,
- + Xác định lượng mưa hiệu quả bằng phương pháp SCS,
- + Chuyển lượng mưa hiệu quả bằng phương pháp Wackermann,
- + Diễn toán và tổ hợp đường quá trình lũ bằng phương pháp Muskingum và Modified Puls.

Trước tiên, xác định tần suất mưa, thời đoạn mưa, cường độ mưa và dạng đường phân phối mưa, tần suất mưa 1%, 5%, 10% với thời đoạn mưa là 24 h được sử dụng để tính toán mô phỏng tiếp theo. Giá trị tổng lượng mưa được xác định theo Banasik (1983) và bản đồ Atlas thủy văn của Ba Lan. 2 dạng phân phối mưa được sử dụng là phân phối mưa đồng nhất (Uniform) và phân phối dạng SCS-II.

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, [16 17, 18], lượng mưa hiệu quả là đối tượng của hệ số CN phụ thuộc thổ nhưỡng, thảm phủ, đất sử dụng, điều kiện lượng ẩm của lưu vực,... (Hawkins 1985, Chow 1964) [2, 15]. 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 đất sử dụng, thổ nhưỡng của chương trình WMS.

Lượng mưa hiệu quả trên lưu vực tính toán được chuyển đổi thành dòng chảy trực tiếp bởi mô hình Wackerman [20]. 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 [8]. 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 và được xác định bởi các công thức kinh nghiệm của Thiele và Ignar [12, 19].

$$K_1 = a_1 \cdot \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{b_1}; \quad K_2 = a_2 \cdot \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{b_2}; \quad \beta = a_3 \cdot \left[\frac{L}{\sqrt{I}} \right]^{b_3} \quad (3)$$

Trong đó:

L - Độ dài lưu vực từ điểm xa nhất ở thượng nguồn tới mặt cắt cửa ra (km),

I - Độ dốc giữa 2 điểm,

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,

$a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3$ - Hệ số kinh nghiệm.

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, ...,

t - Thời gian bắt đầu của IUH,

U(t) - Giá trị của IUH cho bể chứa 1 và 2.

Giá trị lưu lượng đơn vị tức thời IUH gây ra bởi một đơn vị lượng mưa hiệu quả trong thời gian Δt trên lưu vực diện tích F với sự chuyển dịch mưa rào — dòng chảy được xác định theo công thức:

$$h_t = F / 3.6 \cdot \overline{U}_t = F / 7.2 (U_t + U_{t+1}) \quad (5)$$

Trong đó:

h_t - Giá trị đường lưu lượng đơn vị,

U_t, U_{t+1} - Giá trị đường lưu lượng đơn vị đối với bể chứa 1 và 2,

F - Diện tích lưu vực (km²),

1/3,6 - Hệ số đơn vị.

Tính toán dòng chảy trực tiếp từ lượng mưa hiệu quả và đường lưu lượng đơn vị theo công thức sau:

$$Q_p(i) = \sum_{j=1}^{\min(i,n)} h_k \Delta H_j \quad k = i - j + 1; i = 1, 2, \dots, m+n-1 \quad (6)$$

Phương pháp Muskingum được áp dụng cho việc truyền lũ trong sông giữa các tuyến đo (Routing of flood 1960). Phương pháp Modified Puls được áp dụng để diễn toán đường quá trình lũ qua hồ chứa [5] (Viessman et al 1977; Raudkivi 1979; Bedient, Huber 1989).

5. Kiểm chứng mô hình

Kiểm chứng mô hình cho phép xác định chất lượng mô hình bằng việc so sánh giá trị đầu ra của lưu vực với hệ thống lưu vực thực và xác định khả năng áp dụng thực tế, tính mềm dẻo và linh hoạt của mô hình (Ozga-Zielinska 1976). Kiểm chứng mô hình được thực hiện theo 2 cách:

a) Mô hình Wackermann được thử nghiệm để kiểm chứng khả năng biến đổi mưa rào sang dòng chảy. Số liệu 3 trận lũ tại 3 mặt cắt của lưu vực Zagozdzonka được sử dụng để tính toán, như vậy có 9 lượng dòng chảy trực tiếp được xác định từ số liệu thực đo đem so sánh với lượng dòng chảy trực tiếp được xác định từ mô hình Wackermann.

Các phương pháp xác định các tham số của mô hình Wackermann (β , K_1, K_2) được xác định từ các phương pháp sau:

- Tối ưu hoá theo thuật toán dò tìm của Rosenbrock 1960,
- Công thức kinh nghiệm của Thiele [19],
- Công thức kinh nghiệm của Ignar [12].

Kết quả tính toán được kiểm chứng theo [7] qua hệ số tương quan đặc biệt R_s [11].

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;

b) Để đánh giá và kiểm chứng sự thực hiện của mô hình HEC-1 và khả năng tính toán dòng chảy lũ tại mặt cắt cửa ra của lưu vực, các tính toán khác được làm đối với các tần suất xuất hiện mưa giả định là 1%, 5% và 10%, số liệu input đối với mô hình HEC-1 là các giá trị CN của 3 lưu vực con. Các giá trị CN này được xác định từ điều kiện thực tế và lượng ẩm trung bình của lưu vực. Hai dạng đường phân phối mưa của tổng lượng mưa là dạng đường phân phối đồng nhất (hình chữ nhật) và đường phân phối dạng SCS - II. Giá trị đỉnh lũ tính toán được đem so sánh với giá trị đỉnh lũ xác định theo phương pháp phân tích thống kê của Kaczmarek (1970). Dùng phương pháp Kaczmarek dựa vào dạng phân phối đường tần suất Pearson-III, tính toán dòng chảy cho lưu vực Zagozdzonka của Ciepielowski (1995). Kết quả cho thấy sự khác nhau của các đường quá trình lũ tăng lên khi tần suất mưa càng bé, đối với tần suất 1% thì giá trị tính toán cho kết quả hợp lý và chấp nhận tốt. Với tần suất 5% và 10%,

kết quả có sai khác nhưng vẫn nằm trong phạm vi sai số cho phép và kết quả thu được từ dạng phân phối mưa theo SCS-II tốt hơn dạng phân phối mưa đồng nhất. Dạng phân phối mưa SCS-II sẽ được sử dụng để tính toán tiếp theo trong phân tích độ nhạy cảm của mô hình HEC-1.

6. Mô phỏng tính toán

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 thông qua sự thay đổi các tham số được lựa chọn của mô hình.

Tính toán sự nhạy cảm của mô hình được thực hiện với ba tần suất xuất hiện mưa và giá trị thay đổi của tham số CN phụ thuộc độ che phủ bề mặt lưu vực, theo điều kiện thay đổi đất sử dụng và các nhóm thổ nhưỡng của lưu vực, ngoài ra còn phụ thuộc vào điều kiện độ ẩm lưu vực và sai số cho phép trong việc xác định nhóm thổ nhưỡng. Bản đồ số hoá của thổ nhưỡng và sự che phủ lưu vực được sử dụng trong những tính toán này như rừng, thảo nguyên, đồng cỏ, cây 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 của phương pháp SCS 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).

Sau khi kiểm chứng và tính toán độ nhạy cảm của mô hình, tính toán mô phỏng được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng hoạt động của con người đến dòng chảy lũ thông qua các hoạt động:

- Chính trị dòng sông,
- Thay đổi bề mặt lưu vực (chủ yếu là thay đổi diện tích rừng).

Hai dạng kiểm soát lũ là đắp đê và xây dựng hồ chứa.

Các tham số của phương pháp Muskingum được giả định thay đổi để phản ánh sự ảnh hưởng bởi công trình đê trên hai đoạn sông từ Wygoda đến Czarna và từ Czarna đến Plachty Stare. Sự thay đổi dòng chảy này là thay đổi nhỏ, có thể do diện tích của lưu vực con Plachty Stare (38km^2) lớn hơn nhiều so với lưu vực Wygoda-Czarna (18km^2).

Tiếp theo giả định tồn tại hồ chứa tại Plachty Stare với 3 trạng thái làm việc của công trình thủy điện được xem xét:

- Cửa đập và đường hầm xả lũ đóng cửa,
- Cửa đập mở và đường hầm xả lũ đóng cửa,
- Cửa đập và đường hầm xả lũ mở cửa.

Phân tích kết quả mô phỏng đối với các tình huống làm việc của đập chỉ ra rằng biện pháp hồ chứa có tác dụng cắt giảm đáng kể đỉnh lũ ở hạ lưu (từ 8,8% đến 37,4% đối với các tình huống làm việc của đập). Sự giảm đỉnh lũ lớn nhất khi cửa đập và đường hầm mở. Sự giảm đỉnh lũ nhỏ nhất trong trường hợp cửa đập mở và đường hầm đóng. Với tần suất mưa 1%, đường quá trình lũ bị ảnh hưởng mạnh nhất (hình 2).

Sự phát triển kinh tế trên lưu vực làm thay đổi đáng kể sự che phủ bề mặt lưu vực. Việc chặt phá rừng và đô thị hoá là những sự thay đổi thường dễ thấy 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. 4 trường hợp về sự thay đổi che phủ bề mặt lưu vực được tính toán với 3 mức của tần suất mưa 1%, 5% và 10%.

Kịch bản tính toán mô phỏng sự phá hủy rừng trên lưu vực và thay đổi phần diện tích rừng bị phá hủy thành:

- a) Đất canh tác,
- b) Trồng cỏ để chăn nuôi,
- c) Đất đai thành cần cỗi không trồng trọt được,
- d) Trồng cây lương thực, thực phẩm.

Trước tiên với 40% diện tích rừng bị phá hủy và cuối cùng là toàn bộ diện tích rừng trên lưu vực bị phá hủy (25km^2 diện tích rừng trong tổng số 56km^2 diện tích sinh nước của lưu vực); một vài kịch bản mô phỏng xem xét phân tích, đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi rừng ở thượng du và hạ du của lưu vực sông đối với dòng chảy lũ cũng được xem xét và so sánh với điều kiện thực tế của lưu vực sông cũng như trong trường hợp rừng che phủ cả lưu vực.

Kết quả tính toán mô phỏng trên hình 3 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 du của lưu vực (Wygoda, Czarna — 18km^2) sẽ cắt giảm đỉnh lũ mạnh hơn rừng định vị ở hạ du của lưu vực (Plachty Stare — $38,05\text{km}^2$).

7. Kết luận

- Thuật toán tính toán đề xuất trên đây cho phép tính toán ảnh hưởng hoạt động của con người đến dòng chảy lũ cũng như xác định dòng chảy lũ với tần suất mưa thiết kế trên một lưu vực nhỏ không có số liệu quan trắc. Thuật toán này dựa vào quá trình biến đổi mưa thành dòng chảy với sử dụng lượng mưa hiệu quả được xác định theo phương pháp SCS và phương pháp đường lưu lượng đơn vị của Wackermann dựa trên cơ sở 2 lớp bể chứa song song tuyến tính.

- Phương pháp tính toán đã sử dụng chương trình WMS để tính toán dòng chảy lũ trên lưu vực với sự kết hợp của các công nghệ thông tin tiên tiến như:

+ Phát triển mô hình số hoá địa hình để phác thảo và tính toán các tham số đặc trưng của lưu vực và các lưu vực con,

+ Sử dụng các đặc trưng của hệ thống thông tin địa lý để xác định các tham số của mô hình với các tham số không gian của các loại thổ nhưỡng và đất sử dụng.

- Kết quả tính toán đã khẳng định mô hình nhạy cảm mạnh với sự thay đổi của tham số CN, mô hình cho phép mô hình hoá sự ảnh hưởng của các hoạt động của con người đến dòng chảy lũ qua sự thay đổi của tham số CN;

- Phân tích sự thay đổi diện tích rừng trên lưu vực chỉ ra khả năng của lưu vực trong việc hình thành dòng chảy, đồng thời cũng khẳng định một vấn đề là rừng ở thượng du của lưu vực sẽ cắt giảm đỉnh lũ mạnh hơn rừng định vị ở hạ du của lưu vực;

- Hồ chứa ở mặt cắt cửa ra của lưu vực có ảnh hưởng đáng kể đến việc cắt giảm đỉnh lũ cho hạ lưu đập;

- Cơ sở số hoá địa hình của lưu vực cho phép khống chế, quan trắc sự thay đổi của lưu vực, đánh giá tác động qua lại và phát triển lưu vực của các tham số mô hình WMS cũng như việc trình bày, mô phỏng tượng của kết quả thu được.

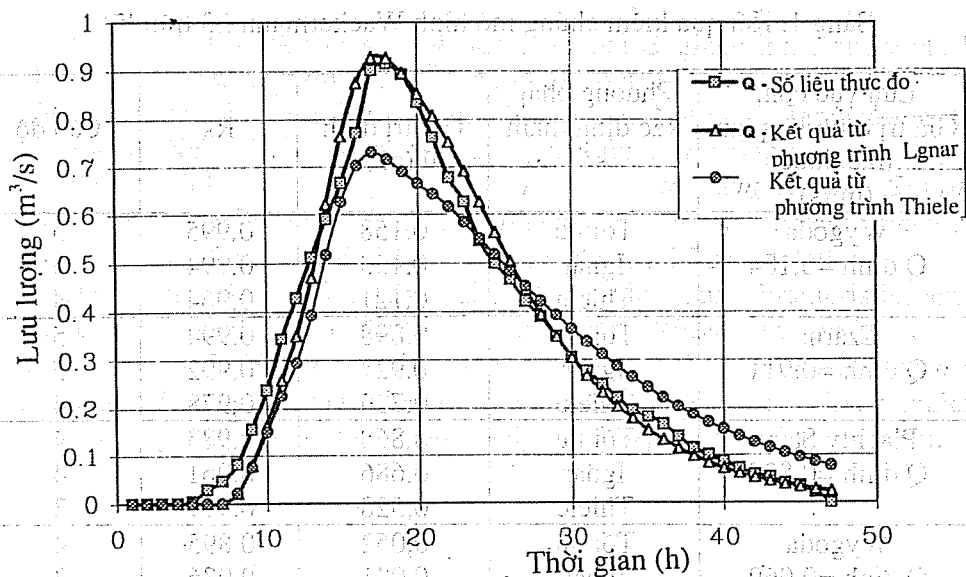
Tài liệu tham khảo

1. Banasik K. (1995): *Model sedymentogramu wezbrania opadowego w malej zlewni rolniczej*. Wyd. SGGW.
2. Banasik K., Ignar S. 1985 *Wplyw metody wyznaczania opadu efektywnego 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 (Watershead 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, *Hand book 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. Dương Văn Khánh, Jaroslaw Chormanski (1999) *Application of WMS package for flood flows modelling in small agricultural watershed*, Rocznik Akademii Rolniczej w Poznaniu- CCCX.
10. Dương 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. Dương Văn Khánh (2/2001) *Quản lý lưu vực bằng hệ thống các mô hình*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, ISSN 0866-8744.
12. Ignar S. (1993): *Metodyka obliczania przepływów wezbraniowych w zlewniach nieobserwowanych* Wyd. SGGW (56 ss.).
13. *National Engineering Handbook* 1985, Section 4: Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Services.
14. 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.
15. Ozga-Zielinska, Brzezinski, 1994 *Hydrologia stosowana*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
16. Rallison R.E., Miller N. 1981. *Past, present and future of SCS runoff procedure*. Int. Symp. on Rainfall-Runoff Modelling. Mississippi State University.

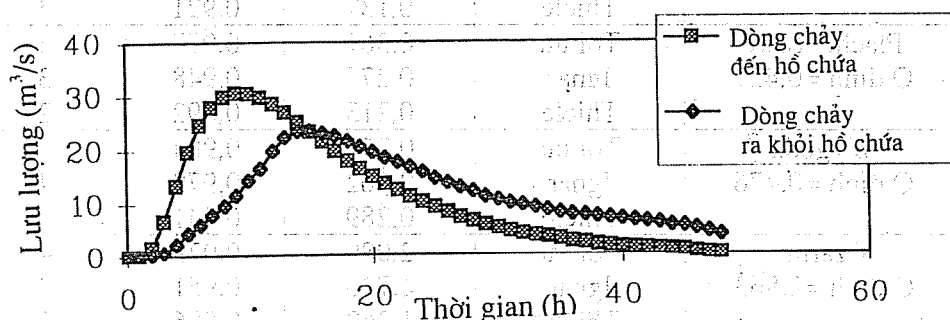
17. Soil Conservation Services 1964 SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
18. Soil Conservation Services 1985, Hydrology, National Engineering Handbook, Section 4, (NEH) U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
19. Thiele F. Euler G., 1981 *Vergleichende Untersuchung zur Ermittlung von Ueberschlagsfunktionen aus Einzugsgebietsgrossen nach verschiedenen Methoden.* Untersuchung für den DVWK- FA Niederschlag-Abflussmodelle.
20. Wackermann R., 1981, Eine Einheitengangleine aus charakteristischen Systemwerten ohne Niederschlag-Abfluss- Messungen. Wasser und Boden, 1.
21. Wiezik B. 1995. *Matematyczny model odpływu ze zlewni o parametrach dyskretnie rozłożonych.* Monitorowanie i modelowanie procesów hydrologicznych w zmieniającym się środowisku. Materiały sympozjum Pionki 4-5 września 1995: 55-62.

Bảng 1. Kết quả kiểm chứng mô hình Wackermann (3 trận lũ)

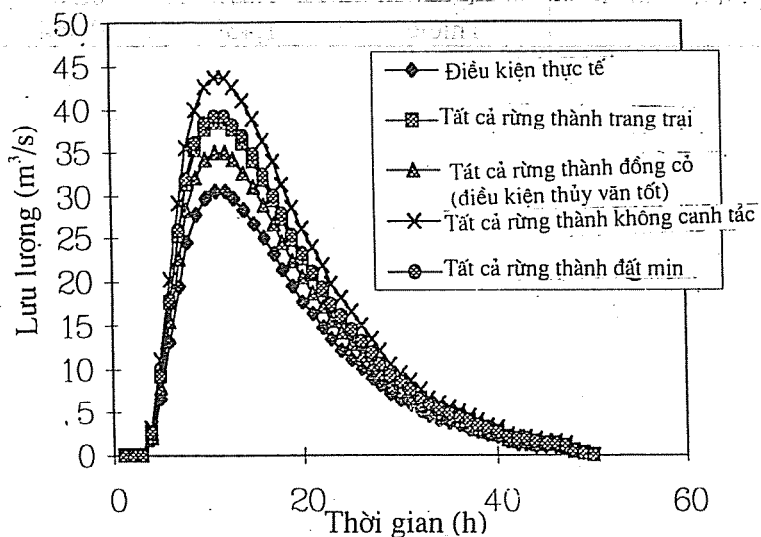
Trận lũ	Lưu vực con, Giá trị đỉnh lũ quan trắc được (m ³ /s)	Phương pháp xác định tham số	Giá trị đỉnh lũ (m ³ /s)	Rs	Cấp độ
Trận lũ 1	Wygoda Q đỉnh =0,184	Tối ưu	0,158	0,995	5
		Ignar	0,153	0,994	5
		Thiele	0,121	0,964	4
	Czarna Q đỉnh =0,911	Tối ưu	0,898	0,994	5
		Ignar	0,927	0,992	5
		Thiele	0,729	0,978	4
	Plachty Stare Q đỉnh =0,839	Tối ưu	0,868	0,983	4
		Ignar	0,686	0,961	4
		Thiele	0,528	0,917	3
Trận lũ 2	Wygoda Q đỉnh =0,069	Tối ưu	0,052	0,895	4
		Ignar	0,041	0,936	3
		Thiele	0,032	0,870	2
	Czarna Q đỉnh =0,239	Tối ưu	0,207	0,986	4
		Ignar	0,177	0,973	4
		Thiele	0,137	0,921	3
	Plachty Stare Q đỉnh =0,427	Tối ưu	0,361	0,977	4
		Ignar	0,277	0,948	3
		Thiele	0,213	0,892	2
Trận lũ 3	Wygoda Q đỉnh =0,476	Tối ưu	0,350	0,984	4
		Ignar	0,362	0,978	4
		Thiele	0,289	0,941	3
	Czarna Q đỉnh =2,863	Tối ưu	2,089	0,979	4
		Ignar	1,740	0,951	4
		Thiele	1,360	0,886	2
	Plachty Stare Q đỉnh =1,897	Tối ưu	1,774	0,995	5
		Ignar	1,875	0,985	4
		Thiele	1,439	0,964	4



Hình 1 - Tính toán dòng chảy trực tiếp bằng phương pháp Wacker mann - tại lưu vực bộ phận Czarna



Hình 2. Các kết quả diễn toán hồ chứa tại Plachty Stare tần suất 1%, các cửa và cống được mở



Hình 3. Mô phỏng sự thay đổi đất sử dụng của lưu vực