

CURS II

Modelarea scurgerii în bazine hidrografice

Modelarea scurgerii lichide pe versanții bazinului hidrografic

Modalități de cercetare a scurgerii pe versanți

Versanții asigură scurgerea apei sub influența gravitației, vegetației, a tipului de sol, în cadrul unor sisteme de colectare care converg spre albiile ravenelor sau a cursurilor de apă permanente. Formele scurgerii pe versanți:

- scurgere în pânză (lamelară) – rezultat - eroziunea decapantă – dacă suprafața rocii sau a solului este foarte netedă
- sub formă de pârâiașe (șiroiri) – rezultat - eroziunea tranșantă - leagă între ele diverse zone umplute cu apă, dacă terenul este accidentat.

O poziție intermediară între scurgerea pe versant sau scurgerea prin albie o ocupă scurgerea în microrigole (ogașe) - șanțuri puțin adânci, care fragmentează pantele dealurilor cu un sistem de brazde lungi, paralele. Teoretic, se consideră că suprafața versanților nu are un sistem de canale bine dezvoltate.

Un model complex al unui bazin hidrografic pentru problemele de eroziune cuprinde trei elemente esențiale: modelul bazinului hidrografic (modelare topologică), modelul mecanismului fenomenelor de eroziune și modelul matematic de calcul a rezultatelor proceselor erozionale (de exemplu, debitele lichide și solide în secțiunea de ieșire din bazinul hidrografic), așa cum se vede în figura 1 [Fleming et al, 1984].

Variabilele care intervin în descrierea curgerii pe versanți [Stanciu, 2002; Freeze, 1972], spre deosebire de cele folosite în descrierea curgerii în canale sau râuri, sunt mult mai greu de definit în mod precis, iar folosirea unei metode hidraulice simple pentru calculul elementelor curgerii și caracteristicilor ei este însoțită de multe dificultăți. Curgerea pe versant este atât nepermanentă, cât și spațial variată, deoarece se formează și se amplifică din cauza ploii și se diminuează prin infiltrație și reținerea apei de vegetație sau în depresiunile puțin adânci ale suprafeței versantului, fiecare dintre ele fiind constante în raport cu timpul și poziția în plan. Regimul de curgere poate fi laminar, de tranziție sau turbulent. Adâncimile de curgere pot fi sub sau peste adâncimea critică, iar regimul de curgere poate fi lent sau rapid. Față de aceste condiții curgerea poate deveni instabilă ori poate conduce la formarea de unde de rostogolire sau unde de ploaie - cum mai sunt numite. Acțiunea impactului picăturilor de apă asupra pânzei de apă în mișcare complică și mai mult problema curgerii pe versant.

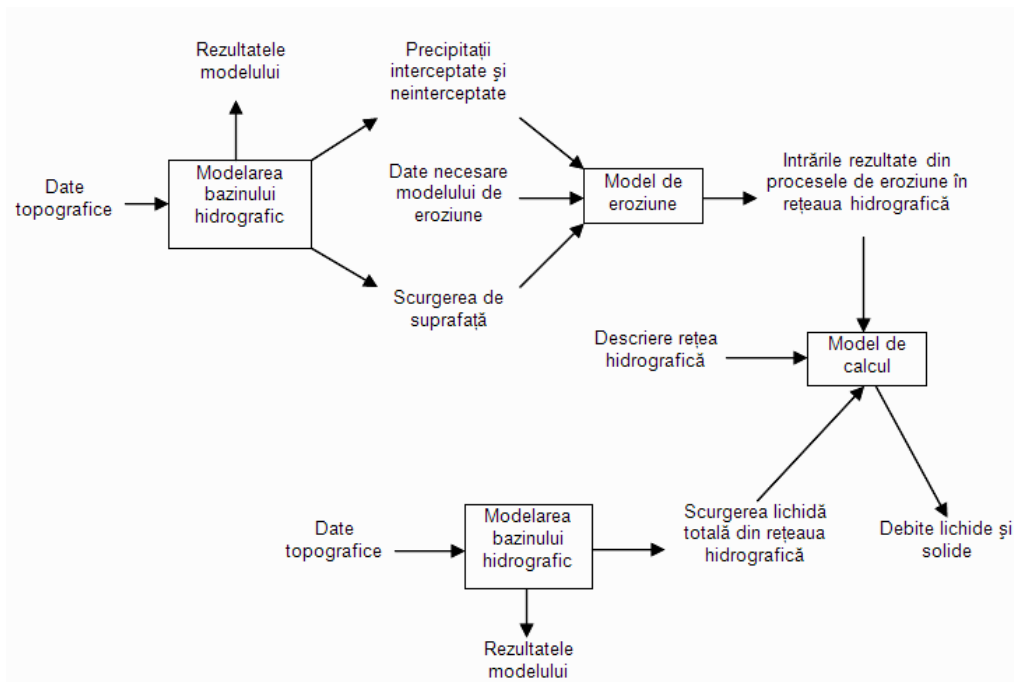


Fig.1 Modelul bazinului hidrografic (după Fleming, 1984)

Pe o suprafață plană de genul celor pavate sau betonate, sau în canale din laborator, lama de apă de-a lungul direcției de curgere are mici variații în adâncime, iar pentru versanții naturali este posibil ca mare parte a suprafeței să se constituie ca suprafață de reținere a apei în timpul curgerii pe versant. Totuși, iregularitățile topografice care apar pe versant direcționează cea mai mare parte a stratului de apă într-o curgere laterală concentrată. Concentrarea masei de apă de-a lungul versantului conduce la apariția curgerii pe toată suprafața, reprezentată printr-o rețea de rigole și ogașe. Concentrările laterale ale curgerii sunt cele care cauzează formarea ravenelor în timp. În funcție de lungimea versantului, pentru cele mai multe curgeri, numărul Reynolds în mod normal rămâne în regimul considerat ca mișcare laminară, ceea ce în realitate nu este adevărat datorită perturbațiilor produse de căderea picăturilor de ploaie și influenței iregularităților topografice.

Caracteristicile hidraulice ale mișcării pe versanți depind de foarte mulți factori, care includ intensitatea și durata precipitațiilor (inclusiv topirea zăpezii și a gheții) textura și tipul de sol - capacitatea de infiltrație, condiția de umiditate inițială - densitatea și tipul de vegetație și topografia versantului. Caracteristicile geomorfometrice sau capacitățile scurgerii de pe versant ca agent al peisajului sunt în general dependente de caracteristicile hidraulice; o descriere simplă a hidraulicii scurgerii de pe versanții naturali nu este posibilă, deoarece parametrii hidraulici variază rapid în timp și spațiu.

Din cele arătate mai sus rezultă că este necesară efectuarea de observații detaliate în teren asupra scurgerii de pe versant în mai multe puncte și utilizarea acestora pentru obținerea parametrilor hidraulici ai scurgerii. De asemenea,

experimentările în laborator sunt necesare pentru cunoașterea efectelor fiecărei variabile asupra procesului scurgerii, în vederea depistării dificultăților de transfer direct pentru cazurile din teren.

În figura 2 se prezintă mecanismul transformării ploii în scurgerea dintr-un curs de apă pentru un versant dintr-un bazin hidrografic mic. Sunt prezentate cele trei componente ale scurgerii: scurgerea de suprafață de pe versant, care trebuie să străbată întreaga suprafață a bazinului pentru a ajunge în albia râului, scurgerea de subsuprafață (hipodermică) din stratul de sol din vecinătatea suprafeței bazinului (aprox. 15-20 cm) și scurgerea subterană de adâncime.

În figura 3 se prezintă hidrograful scurgerii dintr-un râu, cu cele trei componente ale scurgerii: scurgerea de suprafață, scurgerea de subsuprafață și scurgerea subterană. Fiecare din cele trei componente variază de la bazin la bazin, în funcție de caracteristicile de sol, vegetație, pantă sau geologie.

Scopul cercetărilor este folosirea datelor cunoscute (caracteristicilor ploilor dependente de timp și spațiu) în modelele matematice ale căror date de ieșire vor fi:

- hidrograful scurgerii de suprafață
- distribuția în timp și spațiu a adâncimii și vitezei de scurgere, precizarea suprafețelor parțiale de contribuție și distribuția umidității solului.

Dezvoltarea modelării matematice a procesului de scurgere pe versanți a determinat și dezvoltarea bazei de date referitoare la acest proces. Observațiile în timp real sunt necesare nu numai pentru obținerea de informații de intrare corecte în modelele matematice, ci și pentru verificarea unor concepte teoretice.

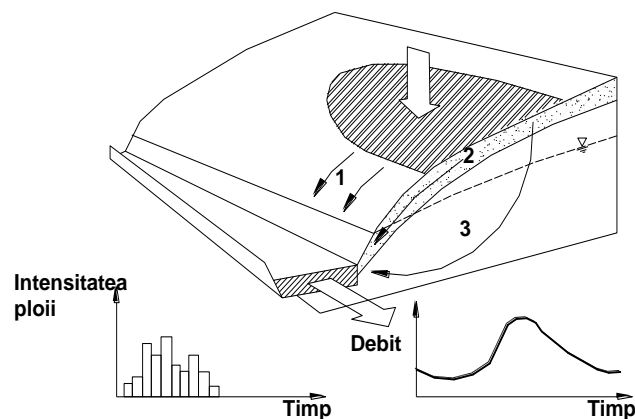


Fig.2 Mecanismul transformării ploii în scurgerea dintr-un curs de apă pentru un versant dintr-un bazin hidrografic mic (după Freeze, 1972)

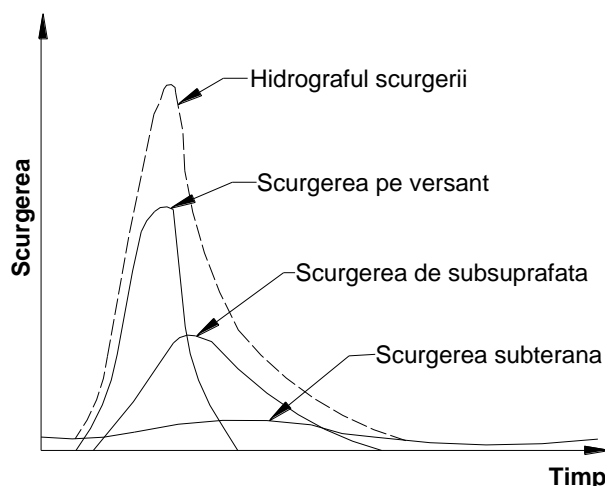


Fig. 3 Componentele principale ale scurgerii din râu (după *Stanciu, 2002*)

Modelarea matematică a scurgerii lichide pe versanți

Pentru a defini în totalitate un model matematic pentru scurgerea de pe versanți trebuie cunoscute [*Stanciu, 2002*]:

1. mărimea și forma domeniului scurgerii;
2. ecuațiile scurgerii în interiorul domeniului;
3. condițiile la limită în jurul frontierei domeniului scurgerii și distribuția lor spațială și temporală;
4. condițiile inițiale și distribuția lor spațială;
5. distribuția spațială și temporală a parametrilor hidraulici și hidrologici care controlează scurgerea;
6. metoda matematică necesară obținerii soluției.

Scurgerea pe versant este dependentă de timp, iar tratarea ei ca o scurgere cu regim permanent nu conduce la soluția căutată.

O posibilitate de grupare a modelelor matematice ale scurgerii pe versanți este:

1. Modele ale scurgerii de subsuprafață de tranziție, bidimensionale din mediul poros, saturat – nesaturat, eterogen și izotrop
2. Modele ale scurgerii lamelare în strat subțire de pe suprafața versantului tratată unidimensional și bidimensional cu intrări în sistem variabile în timp și spațiu
3. Modele ale scurgerii din albia râului care drenează versantul.

O altă posibilitate de grupare a modelelor matematice este:

- modele de scurgere pe versant convergente (figura 4)
- modelul de scurgere Wooding (figura 5)
- modelul cu secțiunea compusă (figura 6)
- modelul cascadă (figura 7).

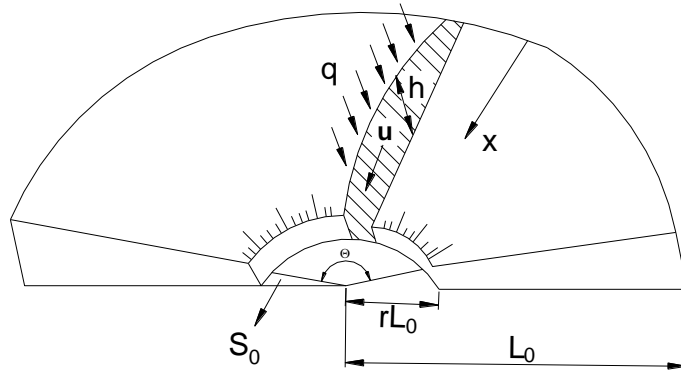


Fig.4 Modele de scurgere pe versant convergente (după Stanciu, 2002)

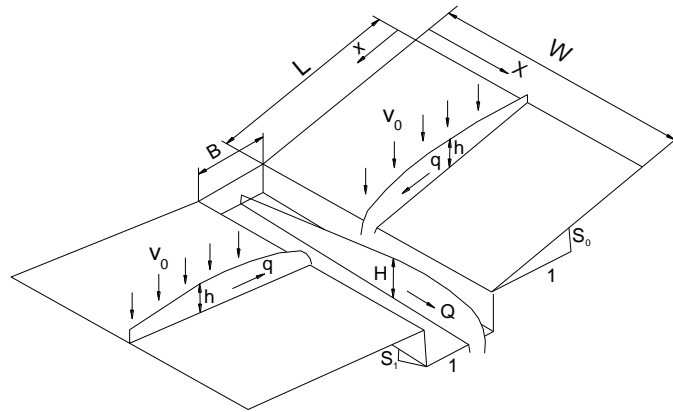


Fig.5 Modelul de scurgere Wooding (după Șerban et al, 1989)

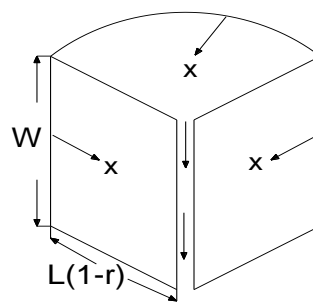


Fig.6 Modelul cu secțiunea compusă (după Stanciu, 2002)

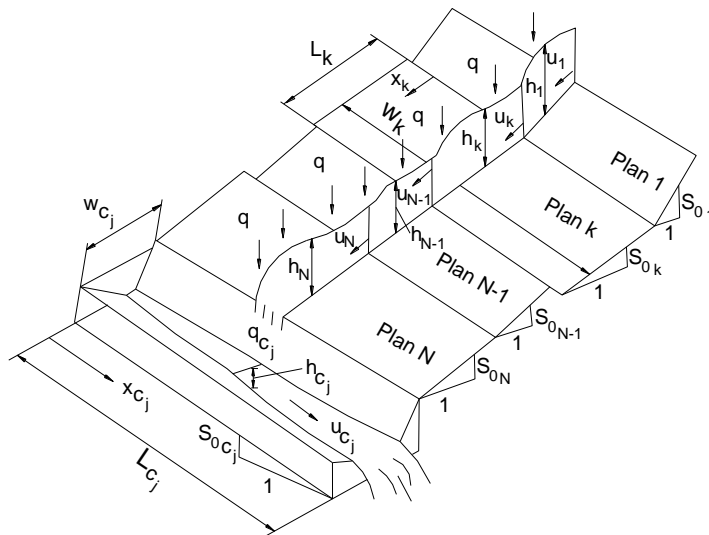


Fig.7 Modelul cascadă (după Stanciu, 2002)

Semnificația notațiilor:

q – debitul la baza versantului, pe unitatea de lățime a acestuia; h – adâncimea apei pe versant; u – viteza de filtrație; S₀ – panta versantului; L₀ – lungimea versantului; r – gradul de convergență; θ – unghiul interior; B – lățimea canalului de colectare; H – adâncimea medie a apei în albie; Q – debitul în secțiunea de ieșire; V₀ – volumul apei acumulate pe versanți; L – lungimea versantului; S₁ – panta canalului de colectare; W – lățimea versantului, respectiv lungimea albiei.

Cuantificarea scurgerii de pe versant

Scurgerea de pe versant este definită ca deplasarea apei pe suprafața solului, cunoscută și sub denumirea de scurgere în pânză datorită grosimii foarte mici a stratului de apă, ea apare în orice bazin hidrografic, dar la scări diferite. Un prim pas în cuantificarea acestui fenomen este determinarea lungimii versantului pentru care poate să apară scurgerea [Stanciu, 2002; Bâcov, 1978]. Una dintre metodele de estimare a lungimii medii a scurgerii de pe versant a fost propusă de Horton (1945):

$$L_v = \frac{1}{2D_d} \quad (1)$$

unde L_v în metri, iar D_d este densitatea de drenaj definită astfel:

$$D_d = \frac{\sum L_r}{F} \quad (2)$$

în care $\sum L_r$ este suma lungimilor cursurilor de apă bine dezvoltate în km, iar F este suprafața de drenaj a bazinului hidrografic (în km²).

În activitatea practică de calcule hidrologice se folosesc și următoarele formule:

- pentru suprafețe cu mai multe talveguri:

$$L_v = \frac{1000F}{1,8 \sum L_r} \quad (3)$$

- pentru suprafețe cu doi versanți și un singur talveg (unde L este lungimea talvegului măsurată în km);

$$L_v = \frac{500F}{L} \quad (4)$$

- pentru suprafețe cu un singur versant:

$$L_v = \frac{1000F}{L} \quad (5)$$

Pentru scurgerea pe versanți naturali (neamenajați), Horton (1945) a postulat existența unei condiții de scurgere mixtă, adică suprafețele cu scurgere turbulentă alternează cu suprafețe pe care au loc scurgeri laminare. Adâncimea de scurgere pentru condițiile de stare permanentă poate fi determinată folosind formula pentru mișcări cu suprafața liberă în canale. Pentru scurgerea turbulentă, adâncimea poate fi determinată prin combinarea ecuației de continuitate:

$$q = DV \quad (6)$$

cu ecuația Manning:

$$V = \frac{1}{n} D^{0,67} S^{0,50} \quad (7)$$

unde: q - debitul pe unitatea de lățime (m³/s/m); D - adâncimea medie (m); V - viteza medie (m/s); n - coeficientul de rezistență Manning; S – panta (m/m).

În toate calculele, adâncimea medie este presupusă a fi echivalentul razei hidraulice deoarece secțiunea transversala a scurgerii de pe versant este foarte întinsă și puțin adâncă. Combinând ecuațiile (6) cu (7) se obține:

$$q = \frac{1}{n} S^{0,5} D^{1,67} \quad (8)$$

Pentru scurgerea laminară, adâncimea se poate determina cu o formă a formulei Poiseuille:

$$q = \frac{g \cdot S \cdot D^3}{3\nu} \quad (9)$$

unde g este accelerația gravitațională ($9,81\text{m/s}^2$), iar ν este vâscozitatea cinematică (m^2/s).

Pentru scurgerea uniformă, scurgerea pe versant este similară cu scurgerea într-o secțiune de râu, deoarece adâncimile sunt constante de-a lungul pantei.

Considerând aportul din ploaie prin suprafața liberă, deci creșterea debitului spre baza versantului, metodologia de analiză este similară cu hidraulica scurgerii din albie cu aport lateral. În acest caz modelul folosit într-o secțiune de râu poate fi dezvoltat și pentru versant, considerând că datele sunt disponibile la baza versantului.

Suprafața bazinului hidrografic este un sistem fizic complicat cu intrări stohastice. Elementul de bază al scurgerii directe de pe suprafața bazinului, este suprafața cu scurgere superficială (scurgerea de pe versant) care se drenează în cursul de apă ca aport lateral.

Scurgerea de pe versant apare atunci când intensitatea ploii sau a topirii zăpezii depășește capacitatea de infiltrație a suprafeței solului. Scurgerea de pe versant este generată de excesul forțelor gravitaționale care depășesc forțele dezvoltate de iregularitățile suprafeței și tensiunile de suprafață. Această scurgere începe ca o scurgere în pânză subțire, în continuare se canalizează în mici canale care merg unul în altul și astfel se formează domeniul scurgerii. De obicei acest concept este folosit pentru interpretarea fizică a simulării scurgerii de pe versant prin intermediul unor rezervoare liniare sau canale liniare.