

Ax. Scurgerea de suprafață și migrarea contaminanților

Introducere	2
1. Modelul conceptual al procesului de formare a scurgerii de suprafață	3
1.1. Modelul spațial	3
1.2. Modelul parametric	4
1.3. Modelul energetic	5
2. Evaluarea cantitativă a scurgerii de suprafață	6
2.1. Debitul scurgerii	6
2.1.1. Metoda rațională	6
Modele de estimare a timpului de concentrare	8
Timp de concentrare modelul Kirpich	8
APLICATIE Kirpich	8
Timp de concentrare modelul Giandotti	8
APLICATIE Giandotti	8
Timp de concentrare modelul NRCS / SCS (TR-55)	9
APLICATIE NRCS / SCS	10
APLICATIA metoda rațională	11
2.1.2. Metoda coeficientului de scurgere ψ	12
APLICATIE metoda coeficientului de scurgere ψ	12
2.1.3. Metoda Serviciului de Conservare a Solului (SCS-CN)	13
APLICATIE metoda SCS-CN	14
2.1.4. Metoda empirică Horton	17
APLICATIE cu metoda empirica HORTON	18
2.2. Viteza scurgerii pe versant	20
2.2.1. Modelul Manning	20
2.2.2. Modelul Chezy	22
2.2.3. Modelul empiric pentru viteza de scurgere pe versant	23
APLICATIE pentru calculul vitezei scurgerii pe versanți	24
Concluzii	25
BIBLIOGRAFIE	28

Introducere

Scurgere de suprafață/scurgere rapidă este un proces hidrologic complex, de mare interes în **Hidrogeologia aplicată pentru mediu**. Componentă a **scurgerii directe**, alături de scurgerea hipodermică, **scurgerea de suprafață** susține energetic migrarea **contaminanților miscibili cu apa**, la suprafața terenului.

Pentru a putea aprecia rolul scurgerii de suprafață în poluarea mediului este necesară cunoașterea caracteristicilor cantitative ale acesteia:

- **debitul** scurgerii de suprafață (existența acestuia!!!)
- **viteza** scurgerii de suprafață.

Scurgerea de suprafață este un bun “vehicul” pentru contaminanții miscibili cu apa numai dacă debitul ei este diferit de zero. Dacă precipitațiile declanșează o scurgere de suprafață, contaminanții solubili în apă prezenți pe suprafața topografică, vor fi antrenați prin procesul de advecție și dispersie mecanică pe direcția scurgerii, direcție paralelă cu linia de cea mai mare pantă a suprafeței topografice. **Debitul** scurgerii de suprafață permite evaluarea cantității de contaminant transportat, iar **viteza**, forma și ritmul de extindere în timp a zonei contaminate.

Modelele elaborate de estimarea a migrării contaminanților la suprafața versanților se bazează pe modele hidrologice și de transport al poluanților care descriu scurgerea de suprafață, infiltrația și procesele de eroziune–transport–depunere.

Într-o primă aproximare, **maximală**, forma și extinderea la suprafață a zonei poluate de o sursă poligonală cu geometrie cunoscută (**Fig.1**) se poate stabili pe baza:

- **modelului conceptual** al procesului de formare a scurgerii de suprafață;
- **evaluarea cantitativă** a scurgerii de suprafață (debit, viteză).

Scurgerea de suprafață este un bun “vehicul” pentru

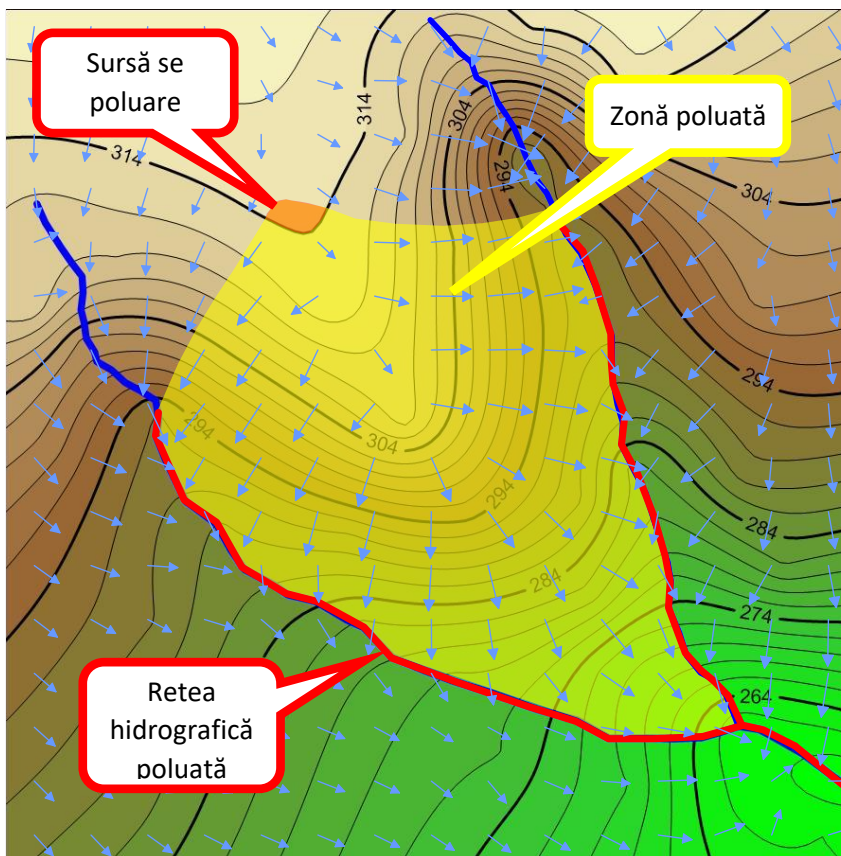


Fig.1. Zona de impact a unei surse de poluare pe suprafața topografică

1. Modelul conceptual al procesului de formare a scurgerii de suprafață

Conceptualizarea procesului complex de formare a scurgerii de suprafață presupune:

- identificarea și schematizarea **spațiului** în care are loc scurgerea rapidă
- caracterizarea **parametrică** a spațiului care determină desfășurarea scurgerii rapide
- formalizarea **energiei** care susține scurgerea rapidă

1.1. Modelul spațial

Scurgerea de suprafață reprezintă apa din precipitații care nu se infiltrează și se deplasează pe suprafața topografică din interiorul unui **bazin hidrografic**, fiind una din principalele surse de alimentare a râurilor din acel bazin.

Suprafața bazinului hidrografic este delimitată de linia de cumpănă a apelor de suprafață care unește punctele cu cea mai înaltă cotă dintre două bazine hidrografice (**Fig.1.1.**). Schematizarea formei bazinului hidrografic se bazează pe harta topografică sau echivalentul 3D al acesteia: modelul numeric al terenului (**Fig.1.2.**) .

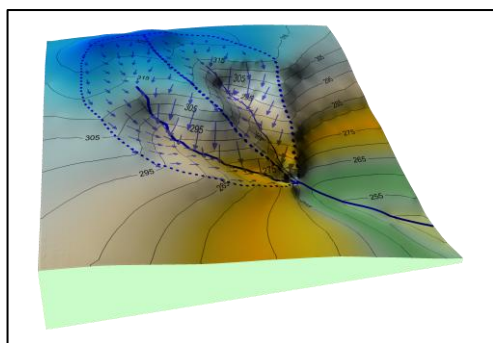


Fig.1.2. Modelul 3D al bazinului hidrografic

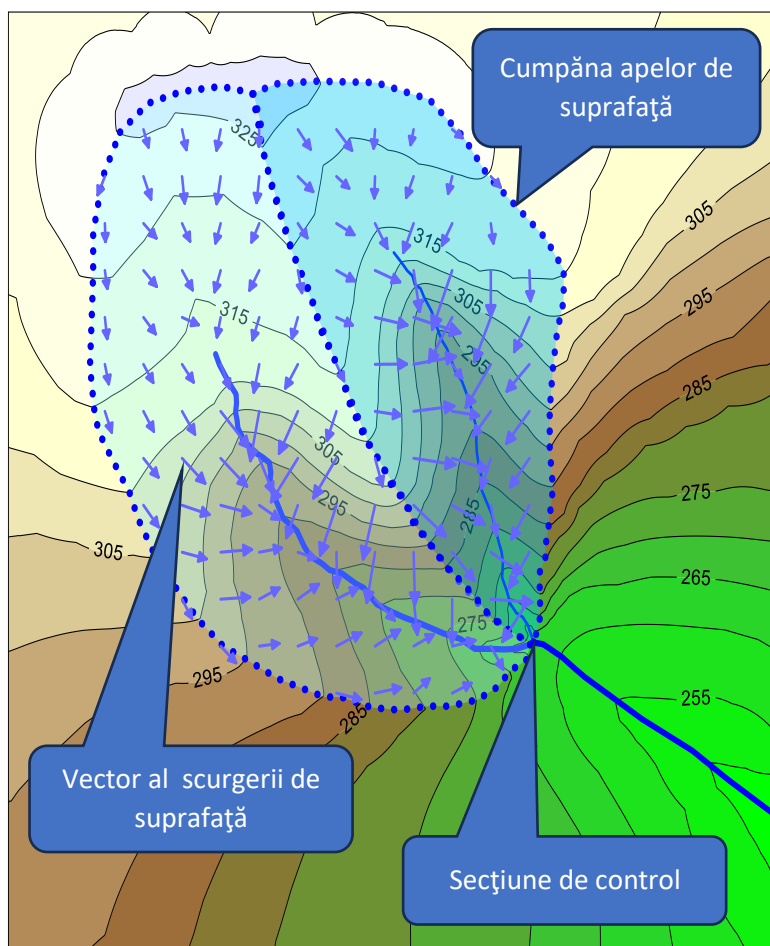


Fig.1.1. Bazinele hidrografice a două cursuri de apă

Suprafața bazinului hidrografic se asociază secțiunii de control, se măsoară în plan orizontal și este exprimată în funcție de mărimea acesteia în km² sau în ha.

1.2. Modelul parametric

Modelul parametric al spațiului în care are loc procesul scurgerii de suprafață condiționează **mecanismele**, de o mare diversitate care determină apariția scurgerii de suprafață:

- depășirea capacității de infiltrarea solului de intensitatea precipitațiilor se produce la ploi torențiale pe soluri compacte, argiloase sau în zone cu crustă impermeabilă la suprafață.
- solul este deja saturat și nu mai poate primi apă, chiar dacă intensitatea ploii este mică: în zone cu nivelul hidrostatic al acviferelor freatice aflat la mică adâncime, pe versanți unde apa infiltrată se acumulează în profunzime și iese la zi în zone mai joase, după perioade lungi de ploi.
- apa infiltrată în părțile superioare ale versantului se deplasează subteran și iese la suprafață mai jos (scurgerea prin exfiltrație), generând scurgere, fiind favorizată de: straturi impermeabile la adâncime mica și structuri litologice înclinate spre aval.
- topirea bruscă a zăpezii mai ales pe sol înghețat, deoarece solul înghețat nu permite infiltrarea apei rezultate la creșterea rapidă a temperaturii și topirea accelerată.
- diverse etape de concentrare (scurgerea concentrată pe microforme) prin: scurgerea difuză (peliculă subțire de apă, uniform), scurgerea în șiroaie (apa se organizează în mici canale liniare), scurgerea în ravene (canale adânci, cu eroziune puternică).

Modelul parametric presupune evaluarea a tuturor **factorilor** care determină dacă și câtă apă de ploaie se transformă în scurgere superficială și nu se infiltrază sau se reține în sol:

- caracteristici ale **precipitațiilor**:
 - cantitate totală
 - intensitate
 - durată a evenimentului
- caracteristici ale **solului**, exprimate prin:
 - **textură**:
 - soluri nisipoase determină infiltrație mare și scurgere redusă
 - soluri argiloase determină infiltrație mică și scurgere intensă
 - **structură și grad de compactare**:
 - sol lucrat/agricol determină infiltrație scăzută temporar
 - sol necompactat determină infiltrație ridicată
 - **umiditate în stare inițială**:
 - sol uscat determină infiltrație mai mare la început
 - sol umed/saturat determină infiltrație aproape zero
- **topografie a versantului** parametrizată prin:
 - pantă: crește viteza de scurgere și reduce timpul de infiltrație
 - lungime a versantului: versanți lungi determină acumulare de apă și debit mai mare
 - formă a versantului:
 - concav determină colectarea apei
 - convex determină scurgere mai dispersată
- **acoperire cu vegetație** care reduce scurgerea prin:
 - interceptarea directă a precipitațiilor,
 - creșterea rugozității suprafeței (scade viteza),
 - creșterea infiltrației prin prezența rădăcinilor (zonele cu păduri sau pajiști dense au scurgeri mult reduse față de terenurile arate sau goale).

- **utilizare a terenului** care afectează scurgerea de suprafață semnificativ:
 - urbanizare, drumuri, suprafețe pavate determină infiltrare zero și scurgere maximă
 - teren agricol lucrat în pantă determină scurgere mare
 - teren cu benzi de iarbă / terase determină scurgere redusă
- **structură geologică** care poate modific scurgerea prin:
 - prezența straturilor impermeabile superficiale determină scurgere maximă
 - prezența straturilor permeabile superficiale determină infiltrare maximă și scurgere minimă

NOTA. Caracteristicile modelului parametric, în funcție de metoda de estimare a scurgerii superficiale, sunt sintetizate în diverși coeficienți de natură empirică:

- timpul de concentrare (t_c) utilizat în metoda rațională ([paragraful 2.1](#))
- coeficientul curbei de scurgere (CN) utilizat în metoda Soil Conservation Service ([paragraful 2.2](#))
- modelul infiltrației ($f(t)$) utilizată în metoda empirică Horton ([paragraful 2.3](#))
- coeficientul de scurgere (ψ) utilizat în metoda coeficientului de scurgere ([paragraful 2.4](#))

1.3. Modelul energetic

Forma de energie care susține scurgerea superficială este energia **potențială gravitațională** pe care o are apa când se află la o anumită cotă, energie care se transformă în energie cinetică la mișcarea apei. Modelul distribuției energiei potențiale în bazinul hidrografic este harta cu linii de egală cotă a suprafeței terenului (modelul numeric al terenului; **Fig. 1.1.** și **Fig. 1.2.**).

Deplasarea apei în scurgerea superficială se reprezintă grafic prin vectori care indică (**Fig. 1.3.**):

- **direcția de curgere:** perpendicular pe liniile de egală cotă a suprafeței terenului
- **sensul de curgere:** de la cote mari spre cote mai mici.

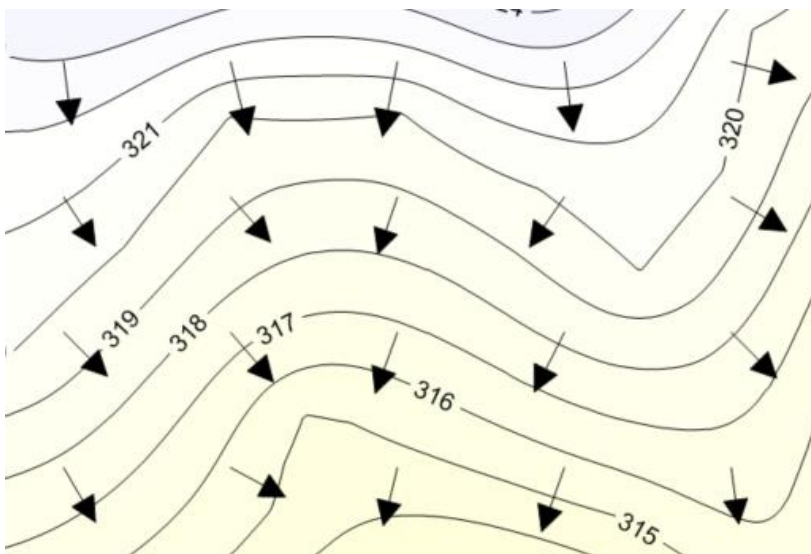


Fig. 1.3. Direcția și sensul scurgerii de suprafață

2. Evaluarea cantitativă a scurgerii de suprafață

Evaluarea cantitativă a scurgerii de suprafață/scurgerii rapide este realizată pe suportul **modelului conceptual al procesului** a cărui adecvare/corectitudine determină valoarea incertitudinii care afectează rezultatele evaluării. **Modelele matematice** utilizate pentru evaluarea cantitativă a scurgerii directe și scurgerii rapide sunt de natură empirică, cu reprezentativitate restrânsă, calibrate pe date experimentale obținute din bazine hidrografice pilot de diverse extinderi. Rezultatele modelării matematice a scurgerii de suprafață sunt:

- **debitul** scurgerii de suprafață;
- **viteza** scurgerii de suprafață.

2.1. Debitul scurgerii

Debitul scurgerii superficiale reprezintă cantitatea de apă care se deplasează la suprafața terenului într-o anumită perioadă de timp, după precipitații (ploaie, topirea zăpezii etc), atunci când nu toată apa se infiltrează în sol. Pentru evaluarea **debitului/volumului scurgerii directe** pot fi utilizate:

- metoda rațională
- metoda Serviciului de Conservare a Solului
- metoda empirică Horton
- metoda coeficientului de scurgere ψ

2.1.1. Metoda rațională

Metoda rațională se bazează pe ipoteza că **debitul maxim** al **scurgerii directe** (scurgere de suprafață+scurgere hipodermică) se atinge atunci când durata aversei (t) este egală cu **timpul de concentrare** (t_c).

Timpul de concentrare, la scurgerea de suprafață este intervalul de timp dintre începutul unei ploi și momentul în care apa din punctul cel mai îndepărtat al bazinului hidrografic ajunge la secțiunea de ieșire (ex. un canal, o rigolă, un podeț). Pe scurt, timpul de concentrare: este timpul necesar ca **întreg bazinul** să contribuie la debitul de scurgere în punctul analizat și este determinat de: lungimea traseului de scurgere, panta terenului, rugozitatea suprafeței (asfalt vs. teren natural), gradul de urbanizare, tipul solului. Dacă ploaia este **mai scurtă** decât timpul de concentrare nu contribuie tot bazinul la formarea debitului scurgerii iar dacă este **mai lungă** decât timpul de concentrare debitul nu mai crește peste cel corespunzător timpului de concentrare.

Timpul de concentrare determină **debitul maxim de scurgere**, se folosește la **dimensionarea canalelor, rigolelor, drenajelor, podețelor** și este esențial în **metoda rațională**:

$$Q_{max} = C \cdot i \cdot A$$

unde:

- Q_{max} : debit maxim [m^3/s]
- C : coeficient de scurgere [–]
 - Presupunem un bazin:
 - teren natural + zone agricole

- urbanizare redusă
- Valori uzuale:
 - pădure: 0,15–0,30
 - agricol: 0,30–0,50
 - urban: 0,60–0,90
- i : intensitatea medie a aversei [L/(s·ha)] se obține din curba IDF (I-intensitate; D-durată; F-frecvență; **Fig.2.1.**):

$$i(t, T) = \frac{a_T}{(t + b_T)^{c_T}}$$

în care:

- $t = t_c$ [minute]
- T : perioada de repetabilitate care depinde de importanța obiectivului:
 - drum local: $T=5-10$ ani
 - canal pluvial: $T=10-20$ ani
 - zonă urbană important: $20-50$ ani
- a_T, b_T, c_T : coeficienți zonali care depind de zona pluviometrică (câmpie, deal, munte) și de perioada de repetabilitate (T):
 - $a_T \sim T$
 - $b_T \approx \text{const}$
 - $c_T \in (0,6 - 0,9)$
 - Exemplu de IDF (I-intensitate; D-durată; F-frecvență) pentru **zonă de deal** cu $T=10$ ani, $a_T = 1000$; $b_T = 20$; $c_T = 0,75$:

$$i(t, T) = \frac{1000}{(t + 20)^{0,75}}$$

- A : suprafața bazinului [ha] < 200-300 ha, iar pentru suprafețe mai mari se recomandă pentru estimare a debitului maxim metode hidrografice (SCS-CN, Nash etc.)

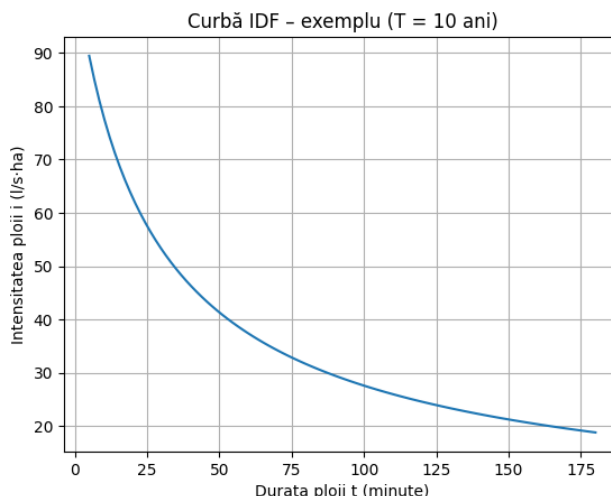


Fig.2.1. Model de curbă Intensitate Durată Frecvență (IDF)

NOTA. În România, coeficienții a_T, b_T, c_T provin din **STAS 9470/1973, NP 074/NP 133**, anexele cu curbe IDF regionalizate hărți cu tabele pentru zone climatice și perioade de repetabilitate (**STAS 9470 73 Hidrotehnica Ploi Maxime Intensitati Durate Frecvente**). Pentru fiecare din cele 19 zone pluviometrice în care este împărțit teritoriul României de stabilesc prin studii statistice: grafice IDF sau coeficienții a_T, b_T, c_T .

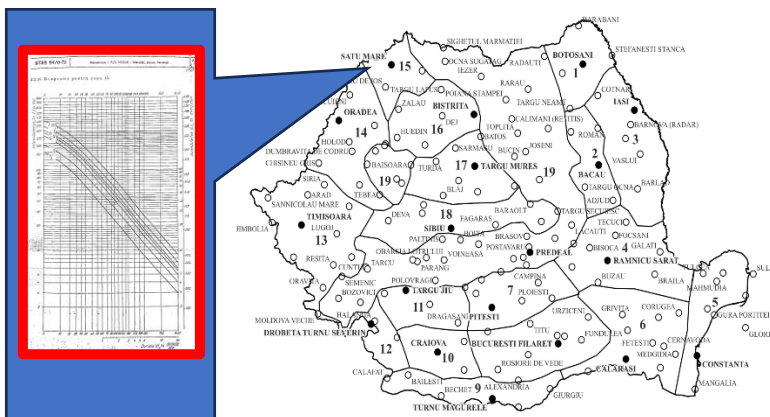


Fig. 2.2. Zonele climatice și un exemplu de curbă IDF pentru zona climatică 15 ([2]; **STAS 9470/1973**)

Modele de estimare a timpului de concentrare

Modelele de estimare a timpului de concentrare sunt adaptate caracteristicilor parametrice și spațiale ale bazinelor hidrografice.

Timp de concentrare modelul Kirpich

Foarte folosit pentru bazine mici, naturale, cu pante mai mari, valorile estimate ale timpului de concentrare sunt mai mici decât cele reale:

$$t_c = 0,0195 \cdot \frac{L^{0,77}}{H^{0,385}}$$

unde:

- t_c : timpul de concentrare (minute)
- L : lungimea maximă a traseului de scurgere (m)
- H : diferența de nivel pe traseu (m)

APLICATIE Kirpich

Evaluarea timpului după care întreaga suprafață a bazinului hidrografic contribuie la debitul de ieșire:

- $L = 800$ m
- $H = 20$ m

$$t_c = 0,0195 \cdot \frac{L^{0,77}}{H^{0,385}} = 0,0195 \cdot \frac{800^{0,77}}{20^{0,385}} \approx 1,06 \text{ minute}$$

Timp de concentrare modelul Giandotti

Foarte folosită în Europa (inclusiv RO), bună pentru **bazine mici-medii**, cursuri naturale, teren parțial urbanizat.

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H}}$$

unde:

- t_c : timpul de concentrare [ore]
- A : suprafața bazinului [km²]
- L : lungimea cursului principal [km]
- H : diferența de nivel [m]

APLICATIE Giandotti

Evaluarea duratei până când întregul bazin hidrografic contribuie la formarea debitului maxim de ieșire:

- $A = 2,25$ km²
- $L = 3,0$ km
- $H = 120$ m

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H}} = \frac{4 \cdot \sqrt{2,25} + 1,5 \cdot 3,0}{0,8 \cdot \sqrt{120}} = 1,20 \text{ ore} \approx 72 \text{ minute}$$

Timp de concentrare modelul NRCS / SCS (TR-55)

Modelul pentru calculul timpului de concentrare este adecvat zonelor urbane deoarece ține cont de tipul suprafeței.

NOTA. Semnificația acronimelor modelului:

- Serviciul de Conservare a Solului (Soil Conservation Service-**SCS**) a fost o agentie din Departamentul Agriculturii al Statelor Unite (United States Department of Agriculture -**USDA**) care în 1994 a devenit Serviciul de Conservare a Resurselor Naturale (Natural Resources Conservation Service-**NRCS**).
- **TR-55**: Technical Release Number 55, ghidul tehnic Urban Hydrology for Small Watersheds care conține: metoda coeficientului curbei de scurgere (**CN**), calculul timpului de concentrare, metode de calcul al debitului maxim, aplicații pentru bazine urbane mici.

Timpul de concentrare (t_c), în modelul NRCS / SCS este separat în trei componente:

$$t_c = t_{foaie} + t_{concentrata} + t_{canal}$$

unde:

- t_{foaie} : **curgere în foaie** (sheet flow) – pe suprafața terenului, valabilă maxim 30 m (TR-55 impune această limită):

$$t_{foaie} = \frac{0,007 \cdot (n \cdot L)^{0,8}}{P_2^{0,5} \cdot S^{0,4}}$$

unde:

- t_{foaie} : timp [minute]
- n : coeficient Manning (asfalt: 0,015; gazon tuns: 0,24; teren natural: 0,30–0,40)
- L : lungime curgere foaie [m]
- P_2 : cantitatea totală de precipitații de o durată de 24 h [mm], cu perioada de repetabilitate $T=2$ ani
- S : panta terenului [m/m]
- $t_{concentrata}$: **curgere concentrată** (shallow concentrated flow) – rigole, șanțuri mici [min]

$$t_{concentrata} = \frac{L}{60 \cdot V}$$

unde:

- $t_{concentrata}$ [min]
- V : viteza curgerii concentrate [m/s] pe:
 - suprafață nepavată: $V = 16,1 \cdot S^{0,5}$
 - suprafață pavată: $V = 20,3 \cdot S^{0,5}$
- S : panta [m/m]
- t_{canal} : **curgere în canal** – albie, conductă, canal betonat : $t_{canal} = \frac{L}{60 \cdot V}$

unde:

- t_{canal} : [min]
- L : lungimea canalului [m]

APLICATIE NRCS / SCS

Calculul timpului de concentrare cu cele trei componente:

- curgere foaie:
 - $L_1=25$ m
 - $n=0,30$
 - $S=0,02$
 - $P_2=50$ mm

$$t_{foaie} = \frac{0,007 \cdot (n \cdot L)^{0,8}}{P_2^{0,5} \cdot S^{0,4}} = \frac{0,007 \cdot (0,3 \cdot 25)^{0,8}}{50^{0,5} \cdot 0,02^{0,4}} \approx 3,2 \text{ minute}$$

- curgere concentrată:
 - $L_2=150$ m
 - $S=0,02$
 - suprafață nepavată

$$V = 16,1 \cdot S^{0,5} = 16,01 \cdot 0,02^{0,5} = 2,27 \text{ m/s}$$

$$t_{concentrata} = \frac{L}{60 \cdot V} = \frac{150}{60 \cdot 2,27} \approx 1,1 \text{ min}$$

- curgere în canal:
 - $L_3=300$ m
 - $n=0,013$
 - $S=0,02$
 - $R=0,05$ m

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0,013} \cdot 0,05^{\frac{2}{3}} \cdot 0,02^{\frac{1}{2}} = 1,5 \text{ m/s}$$

$$t_{canal} = \frac{L}{60 \cdot V} = \frac{300}{60 \cdot 1,5} = 3,3 \text{ min}$$

- timpul total de concentrare:

$$t_c = t_{foaie} + t_{concentrata} + t_{canal} = 3,2 + 1,1 + 3,3 = 7,7 \text{ minute}$$

APLICATIA metoda rațională

Care este debitul maxim al scurgerii directe generate de un bazin cu suprafața totală $A=5$ ha, din care 60% este impermeabil și 40% este permeabilă, la o precipitație cu intensitate $i=50$ mm/oră, știind că pentru zona permeabilă coeficientul de scurgere este 0,3 iar pentru cea impermeabilă 0,9 (**Fig.2.3.**)?

Datele problemei:

- suprafață totală a bazinului:
 - $A = 5 \text{ ha} = 50000 \text{ m}^2$
- suprafața impermeabilă:
 - $A_1 = 50000 \cdot \frac{60}{100} = 30000 \text{ m}^2$
- coeficientul de scurgere pentru impermeabil:
 - $C_1 = 0,9$
- suprafața permeabilă:
 - $A_2 = 50000 \cdot \frac{40}{100} = 20000 \text{ m}^2$
- coeficientul de scurgere pentru permeabil:
 - $C_2 = 0,3$
- intensitatea ploii:
 - $i = 50 \frac{\text{mm}}{\text{oră}} = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{oră}}$

Etapele de prelucrare:

1)Calculul debitului maxim pentru zona impermeabilă:

$$Q_1 = C_1 \cdot i \cdot A_1 = 0,9 \cdot 0,05 \frac{\text{m}}{\text{oră}} \cdot 30000 \text{ m}^2$$

$$= 1350 \frac{\text{m}^3}{\text{oră}}$$

2)Calculul debitului maxim pentru zona permeabilă:

$$Q_2 = C_2 \cdot i \cdot A_2 = 0,3 \cdot 0,05 \frac{\text{m}}{\text{oră}} \cdot 20000 \text{ m}^2 = 300 \frac{\text{m}^3}{\text{oră}}$$

3)Calculul debitului maxim pentru toată suprafața $A = 50000 \text{ m}^2$

$$Q_{\max} = Q_1 + Q_2 = 1350 \frac{\text{m}^3}{\text{oră}} + 300 \frac{\text{m}^3}{\text{oră}} = 1650 \frac{\text{m}^3}{\text{oră}} = 0,458 \frac{\text{m}^3}{\text{secundă}}$$

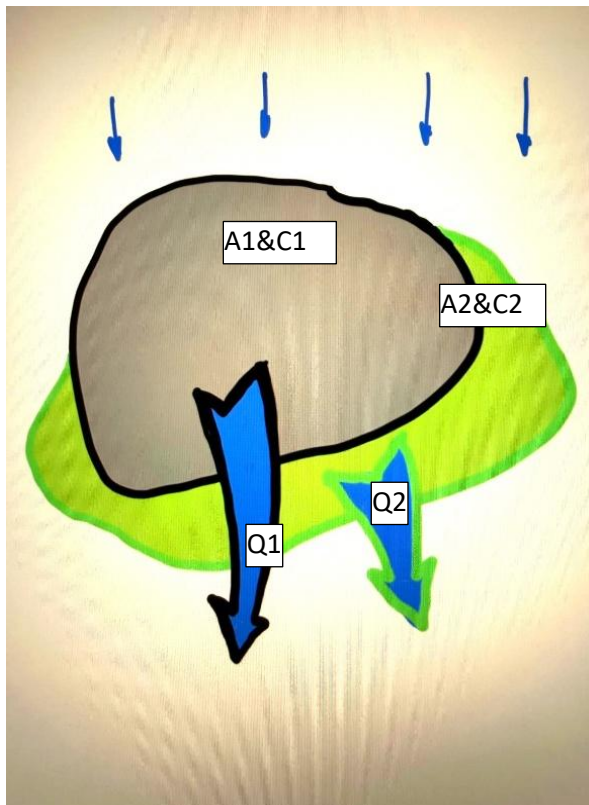


Fig.2.3. Aplicație metoda rațională pentru estimarea debitului maxim al scurgerii directe

2.1.2. Metoda coeficientului de scurgere ψ

Metoda coeficientului de scurgere este o **metodă similară cu metoda rațională, simplificată**, utilizată frecvent în calcule hidrologice **preliminare**, deoarece presupune relații directe între intensitatea precipitațiilor și scurgerea de suprafață. **Rezultatele sunt orientative** deoarece nu țin seama de procesele de infiltrare în detaliu. Modelul de estimare al scurgerii de suprafață (formula rațională) este:

$$Q_s = \psi \cdot i \cdot A$$

unde:

- Q_s – debitul scurgerii de suprafață [mm]
- i – intensitatea precipitațiilor [L/(s·ha)]
- ψ – coeficientul de scurgere [-] care reprezintă raportul dintre volumul de apă scurs la suprafață și volumul total al precipitațiilor căzute pe un bazin:

$$\psi = \frac{V_s}{V_p}$$

unde:

- V_s – volumul scurgerii de suprafață
- V_p – volumul precipitațiilor

Valorile posibile ale coeficientului de scurgere ψ sunt cuprinse în intervalul [0; 1] și depind de: tipul solului, panta terenului, gradul de permeabilitate, acoperirea vegetală, gradul de urbanizare:

- pădure deasă: ψ : 0.05 – 0.20
- pajiști naturale: ψ : 0.10 – 0.30
- teren agricol: ψ : 0.20 – 0.50
- sol argilos: ψ : 0.40 – 0.70
- zone urbane pavate: ψ : 0.70 – 0.95
- acoperișuri, asfalt, beton: ψ : 0.90 – 1.00

Pentru suprafețe mixte, valoarea coeficientului mediu al scurgerii de suprafață se determină ca o medie aritmetică ponderată cu extinderea tipului de suprafață:

$$\psi_{med} = \frac{\sum \psi_i \cdot A_i}{\sum A_i}$$

unde:

ψ_i – coeficientul de scurgere al tipului de suprafață "i"

A_i – aria tipului de suprafață "i"

APLICATIE metoda coeficientului de scurgere ψ

Să se determine coeficientul mediu de scurgere (ψ_m) și debitul maxim de scurgere (Q), la o avară cu intensitatea $i = 90$ litri/s·ha, pentru un bazin mic cu suprafața $A = 25$ ha, alcătuit din:

- 40% zonă urbanizată ($\psi_1 = 0,75$)
- 35% teren agricol ($\psi_2 = 0,35$)
- 25% zonă împădurită ($\psi_3 = 0,20$)

Rezolvare

1) Calculul suprefețelor parțiale:

- $F_1 = 0,40 \cdot 25 = 10 \text{ ha}$
- $F_2 = 0,35 \cdot 25 = 8,75 \text{ ha}$
- $F_3 = 0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ ha}$

3) Calculul coeficientului mediu de scurgere ψ_m

$$\psi_{med} = \frac{\sum \psi_i \cdot A_i}{\sum A_i} = \frac{(0,75 \cdot 10) + (0,35 \cdot 8,75) + (0,20 \cdot 6,25)}{25} = 0,47$$

4) Calculul debitului maxim de scurgere Q

$$Q = \psi_{med} \cdot i \cdot A = 0,47 \cdot 90 \cdot 0,25 = 1057,5 \frac{L}{sec} \approx 1,06 m^3/sec$$

2.1.3. Metoda Serviciului de Conservare a Solului (SCS-CN)

Foarte folosită în hidrologie aplicată, metoda **SCS-CN** ia în principal în considerare efectul **utilizării terenului** asupra **scurgerii directe** generate de un eveniment de precipitație, determinând volumul de apă care contribuie la formarea scurgerii rapide, după scăderea pierderilor prin infiltrație, interceptare vegetală și retenție inițială. În practică, **surgerea directă** estimată prin metoda SCS-CN este, în majoritatea aplicațiilor, asimilată **scurgerii superficiale** produse de ploaie.

$$h_s = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S}$$

unde:

- (h_s): scurgerea directă [mm],
- (P): precipitația totală [mm], $P > 0,2 \cdot S$
- (S): potențialul maxim de reținere, dependent de [mm]:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

- CN: coeficientul curbei de scurgere [-] care depinde esențial de tipul de sol, utilizarea terenului și condițiile de umiditate antecedentă, pentru care există trei variante de aproximare recomandate de **SCS** folosite și în România:
 - **CN I – sol uscat:**
 - au fost puține sau deloc precipitații înainte de ploaia analizată
 - solul este uscat, cu infiltrație mare
 - apare frecvent în perioade secetoase

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,281 - 0,01281 \cdot CN_{II}} \quad (1)$$

- **CN II – condiții medii (standard)** este valoarea de bază, preluată din **tabele SCS (Soil Conservation Service – SUA: Tabelele A.3.1., A.3.2., A.3.3.)** folosite și în România pentru:
 - sol cu **umiditate normală**
 - nu au existat nici secete, nici ploi abundente recente

○ **NOTA.** Majoritatea calculelor hidrologice pornesc de la **CN II** stabilit din tabelele standard **SCS: Tabelele A.3.1., A.3.2., A.3.3..**

- **CN III – sol umed / saturat:**
 - au existat **ploi semnificative în zilele anterioare**
 - solul este **aproape saturat**
 - infiltrația este mică, scurgerea este mare
 - tipic pentru **viituri și inundații**

$$CN_{III} = CN_{II} \cdot e^{0.00673 \cdot (100 - CN_{II})} \quad (2)$$

APLICATIE metoda SCS-CN

Să se evalueze **scurgerea directă** pentru un bazin hidrografic cu suprafața $A = 18 \text{ ha}$ cu sol de tip B, cu următoarele caracteristici (**Tabelul A3.1.**):

- tip de sol: moderat permeabil
- textură predominantă: lutos-nisipos, lutos
- capacitate de infiltrare: medie (3,8-7,6 mm/oră)
- tendință de scurgere: mica

Versantul este cultivat, panta 10%, precipitație totală **P=40 mm** cu o durată **t=2 ore**.

Etapele de prelucrare

1) Estimarea coeficientului curbei de scurgere CNII:

- în funcție de **utilizarea terenului (Tabelul A.3.2.)**:
CNII=69
- în funcție de **umiditatea antecedentă (Tabelul A3.3.)**:

- Sol uscat, umiditate scăzută:

- $CNII = 69 - 69 \cdot 10 / 100 = 62,1$
- $CNII = 69 - 69 \cdot 20 / 100 = 55,2$

$$CNII_{umiditate\ scazuta} \in [55,2 - 62,1]$$

- Sol umed, aproape saturat:

- $CNII = 69 + 69 \cdot 10 / 100 = 75,9$
- $CNII = 69 + 69 \cdot 20 / 100 = 82,8$

$$CNII_{umiditate\ ridicata} \in [75,9 - 82,8]$$

- în funcție de **umiditate**, cu formulele (1) și (2) pentru:

- sol uscat:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.281 - 0.01281 \cdot CN_{II}} = \frac{69}{2.281 - 0.01281 \cdot 69} = 49,4$$

- sol umed/saturat:

$$CN_{III} = CN_{II} \cdot e^{0.00673 \cdot (100 - CN_{II})} = 69 \cdot e^{0.00673 \cdot (100 - 69)} = 85,0$$

2)Calculul parametrului S pentru trei variante ale coeficientul curbei de scurgere:

- sol uscat: $CN_I = 49,4$
 - $S_I = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{49,4} - 254 = 260,17$
- sol în condiții medii (standard): $CN_{II} = 69$
 - $S_{II} = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{69} - 254 = 114,12$
- sol umed/saturat: $CN_{III} = 85$
 - $S_{III} = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{85} - 254 = 44,82$

3)Determinarea pierderilor inițiale pentru cele trei variante:

- sol uscat:
 - $I_{a_I} = 0,2 \cdot S_I = 0,2 \cdot 260,17 = 52,03 \text{ mm}$
- sol în condiții medii (standard):
 - $I_{a_{II}} = 0,2 \cdot S_{II} = 0,2 \cdot 114,12 = 22,82 \text{ mm}$
- sol umed/saturat:
 - $I_{a_{III}} = 0,2 \cdot S_{III} = 0,2 \cdot 44,82 = 8,96 \text{ mm}$

4)Calculul scurgerii directe:

- sol uscat, la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $I_{a_I} = 52,03 \text{ mm}$: $P = 40 \text{ mm} < I_{a_I}$ rezultă că (nu avem scurgere directă):
 - $h_{S_I} = 0 \text{ mm}$
- sol în condiții medii (standard), la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $I_{a_{II}} = 22,82 \text{ mm}$: $P = 40 \text{ mm} > I_{a_{II}}$ rezultă că:
 - $h_{S_{II}} = \frac{(P-I_{a_{II}})^2}{P-I_{a_{II}}+S_{II}} = \frac{(40-22,82)^2}{40-22,82+114,12} = 2,25 \text{ mm}$
- sol umed/saturat, la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $I_{a_{III}} = 8,96 \text{ mm}$: $P = 40 \text{ mm} > I_{a_{III}}$ rezultă că:
 - $h_{S_{III}} = \frac{(P-I_{a_{III}})^2}{P-I_{a_{III}}+S_{III}} = \frac{(40-8,96)^2}{40-8,96+44,82} = 12,70 \text{ mm}$

5)Calculul volumului scurgerii directe pentru suprafața bazinului hidrografic $A=18 \text{ ha}$:

- sol uscat, la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $V_I = h_{S_I} \cdot A = 0 \text{ mm} \cdot 18 \text{ ha} = 0 \text{ m}^3$
- sol în condiții medii (standard), la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $V_{II} = h_{S_{II}} \cdot A = 2,25 \text{ mm} \cdot 18 \text{ ha} = 404,50 \text{ m}^3$
- sol umed/saturat, la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $V_{III} = h_{S_{III}} \cdot A = 12,70 \text{ mm} \cdot 18 \text{ ha} = 2285,48 \text{ m}^3$

5)Debitul mediu pe durata aversei:

- sol uscat, la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de $T=2 \text{ ore}$:
 - $Q_I = \frac{V_I}{T} = \frac{0 \text{ m}^3}{2 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sec}} = 0 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$
- sol în condiții medii (standard), la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:
 - $Q_{II} = \frac{V_{II}}{T} = \frac{404,50 \text{ m}^3}{2 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sec}} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$
- sol umed/saturat, la o precipitație totală $P=40 \text{ mm}$ cu o durată de 2 ore:

$$\circ \quad Q_{III} = \frac{V_{III}}{T} = \frac{2285,48 \text{ m}^3}{2 \cdot 60 \cdot 60 \text{ sec}} = 0,32 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

6) Interpretare și concluzii practice

- pe 18 ha de versant, o ploaie de 40 mm în 2 ore produce:
 - pe un sol uscat, un volum de apă: $V_I = 0 \text{ m}^3$ toată apa infiltrându-se
 - pe un sol în condiții medii (standard), un volum de apă: $V_{II} = 404,50 \text{ m}^3$
 - pe un sol umed, un volum de apă $V_{III} = 2285,48 \text{ m}^3$
- debit mediu pe durata ploii, important pentru dimensionarea șanțurilor, rigolelor sau a sistemelor locale de colectare este:
 - pe un sol uscat, un volum de apă: $Q_I = 0 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$, toată apa infiltrându-se
 - pe un sol în condiții medii (standard), un volum de apă: $Q_{II} = 0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$,
 - pe un sol umed, un volum de apă $Q_{III} = 0,32 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$

NOTA. Creșterea coeficientului curbei de scurgere (CN) determină creșterea rapidă a **debitului** scurgerii directe/superficiale în timp ce vegetația mai densă pe versanți reduce semnificativ valoarea acestuia.

Tabelul A.3.1. Grupurile hidrologice de sol				
Grup	Tip de sol	Textură predominantă	Capacitate de infiltrație	Tendință la scurgere
A	Nisipos, pietros, foarte permeabil	Nisip, pietriș	Mare (>7,6 mm/h)	Foarte mică
B	Moderat permeabil	Lutos–nisipos, lutos	Medie (3,8–7,6 mm/h)	Mică
C	Argilos–lutos, compact	Lutos–argilos	Redusă (1,3–3,8 mm/h)	Medie–mare
D	Argilos greu, impermeabil, cu pânză freatică ridicată	Argilă, soluri compacte	Foarte redusă (<1,3 mm/h)	Mare

Tabelul A.3.2. Acoperirea terenului și valorile tipice pentru CN (AMC II) în condiții de umiditate medie anterioară				
Tip de utilizare / acoperire teren	Grup A	Grup B	Grup C	Grup D
Pădure, sol bine protejat	30	55	70	77
Pajiște naturală, iarbă deasă	39	61	74	80
Pajiște rară, pășune degradată	49	69	79	84
Teren agricol lucrat (arătură)	68	79	86	89
Teren agricol cu culturi permanente (pomi, vii)	45	66	77	83
Teren urban, zone pavate (100%)	98	98	98	98
Teren urban, grădini, peluze	49	69	79	84
Soluri goale / fără vegetație	77	86	91	94

Tabelul A.3.3. Corecția în funcție de umiditatea antecedentă			
Condiție	Descriere	Simbol	Corecție tipică CN
AMC I	Sol uscat, umiditate scăzută	uscat	CN scade cu 10–20%
AMC II	Umiditate medie (condiție standard)	medie	valoare din tabele
AMC III	Sol umed, aproape saturat	umed	CN crește cu 10–20%

NOTA. Corecțiile CNI și CNIII reprezintă **relații empirice de tip statistic**, introduse pentru a adapta valoarea CNII la diferite condiții antecedente de umiditate ale solului, pe baza observațiilor experimentale. Ele provin din analiza statistică a **măsurătorilor de scurgere** pe bazine experimentale. Coeficienții numerici (2.281, 0.01281, 0.00673) sunt **rezultatul calibrărilor statistice, nu au semnificație fizică directă**. În general, pe măsură ce solul este mai impermeabil, CN are valoare mai mare, scurgere de suprafață este mai mare și infiltrarea este mai mică.

2.1.4. Metoda empirică Horton

Metoda empirică Horton este utilizată în modelări hidrologice simple, pentru studii preliminare de drenaj, în bazine hidrografice mici unde **infiltrația este factorul predominant**. Metoda ignoră rolul pantei suprafeței topografice, utilizarea terenului, starea inițială de umiditate și complexitatea precipitațiilor.

Rata infiltrației scade în timp pe parcursul unei averse, de la o valoare inițială mare (f_0) la una finală (f_c) (aproape constantă). Scurgerea de suprafață apare atunci când intensitatea ploii depășește capacitatea de infiltrație a solului. Pentru scurgerea de tip infiltrație-depășită:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t}$$

unde:

- f_0 : capacitatea inițială de infiltrație, [mm/h]
- f_c : capacitatea finală (de saturație), [mm/h]
- k : coeficient de scădere Horton [1/h]
- t : timpul de la începutul aversei [h]

Determinarea scurgerii de suprafață se face pe **intervale de timp**:

- dacă intensitatea ploii $i(t) \leq f(t)$ *nu apare scurgere de suprafață*
- dacă $i(t) > f(t)$ scurgerea de suprafață este:

$$q(t) = i(t) - f(t)$$

Scurgerea de suprafață se obține prin integrarea diferenței ($q(t)$) pe durata aversei.

Logistica metodei (**Fig.2.4.**):

- se cunosc sau se estimează parametrii: f_0 , $f(t)$, k (empirici)
- se stabilește intensitatea ploii (constantă/variabilă)
- se calculează $f(t)$ pentru fiecare interval
- se compară $f(t)$ cu $i(t)$
- se integrează scurgerea de suprafață pe durata aversei.

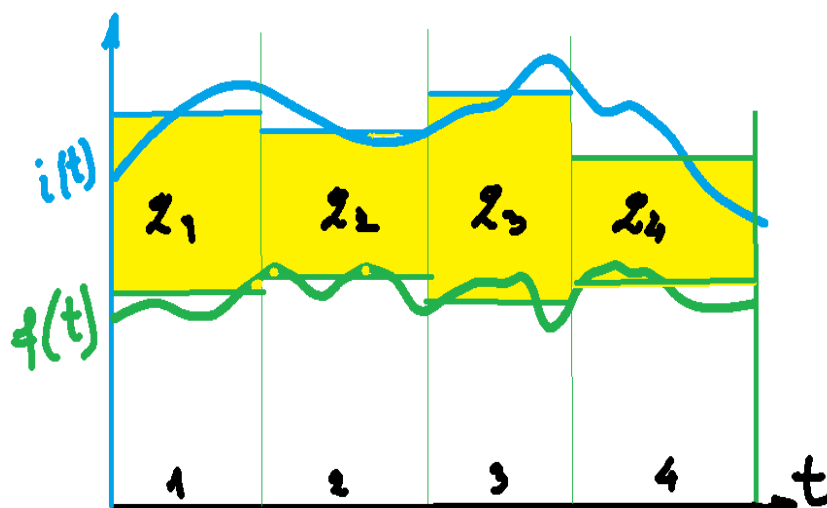


Fig.2.4. Evaluarea scurgerii de suprafață ($q(t)$) pe patru intervale de timp

APLICATIE cu metoda empirica HORTON

Se consideră o avară uniformă cu: intensitate: $i=50$ mm/h cu o durată: $t=2$ h, pe un sol cu $f_0=80$ mm/h, $f_c=15$ mm/h, $k = 1.5$ 1/h. Să se estimeze valoare totală a scurgerii superficiale pe durata aversei.

Etapele de prelucrare

1) Calculul capacității de infiltrație pe durata aversei:

- $t=0: f(0) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-1.5 \cdot 0} = f_c + f_0 - f_c = f_0 = 80 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$
 - $f(0) > i \Rightarrow$ nu există scurgere de suprafață, toată apa din precipitație se infiltrează
- $t=1 \text{ h}: f(1) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} = 15 + (80 - 15) \cdot e^{-1.5 \cdot 1} = 29.5 \text{ mm/h}$
 - $f(1) < i \Rightarrow$ apare scurgere de suprafață
- $t=2 \text{ h}: f(2) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} = 15 + (80 - 15) \cdot e^{-1.5 \cdot 2} = 18.25 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$
 - $f(2) < i \Rightarrow$ apare scurgere de suprafață

2) Determinarea momentului începerii scurgerii (t_s ; Fig.2.5)

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t_s} = i$$

$$t_s = -\frac{1}{k} \cdot \ln \frac{i - f_c}{f_0 - f_c}$$

$$t_s = -\frac{1}{1.5} \cdot \ln \frac{50 - 15}{80 - 15} = 0.41 \text{ h} = 25 \text{ min}$$

3)

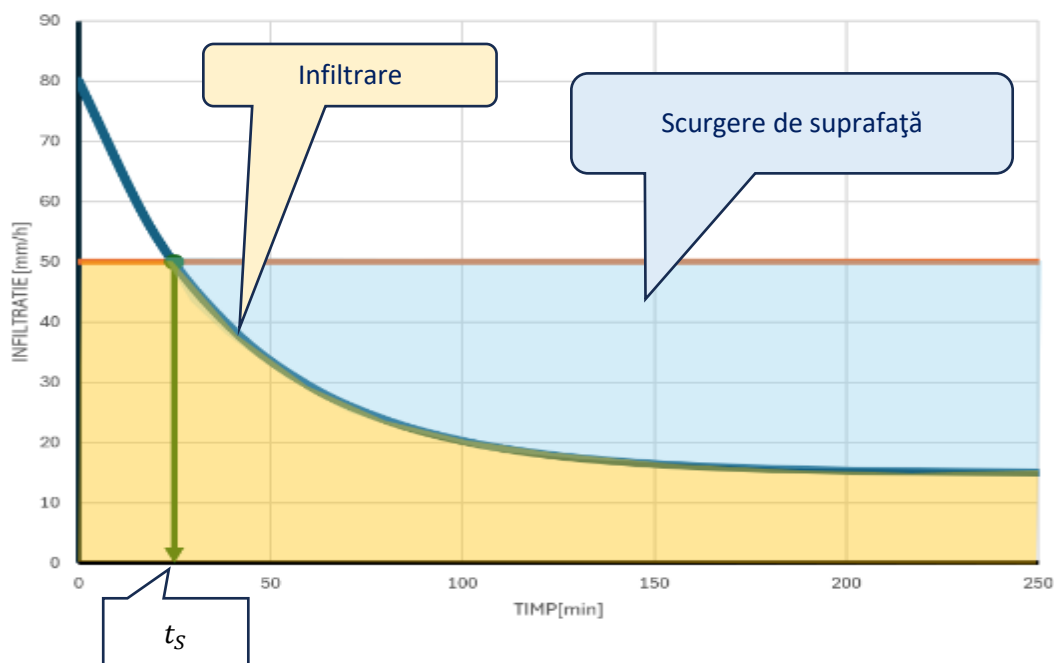


Fig.2.5. Aplicație metoda Horton

Calculul infiltrației totale pe durata aversei

$$F = \int_0^{t_s} i \cdot dt + \int_{t_s}^2 [f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t}] \cdot dt$$

$$F = i \cdot t \Big|_0^{t_s} + f_c \cdot t \Big|_{t_s}^2 - \frac{f_0 - f_c}{k} \cdot e^{-k \cdot t} \Big|_{t_s}^2$$

$$F = 50 \cdot t \Big|_0^{0.41} + 15 \cdot t \Big|_{0.41}^2 - \frac{80 - 15}{1.5} \cdot e^{-1.5 \cdot t} \Big|_{0.41}^2 = 62.62 \text{ mm}$$

4) Calculul scurgerii de suprafață (h_s)

Scurgere de suprafață pe durata $t=2$ h a aversei cu intensitatea constantă $i=50$ mm se calculează cu relația:

$$h_s = P - F = i \cdot t - F$$

unde:

- P -precipitația totală calculate cu relația : $P = i \cdot t$
- F -infiltrația totală pe durata $t=2$ h

Valoarea scurgerii totale pe durate de 2 ore a aversei cu valoarea constantă $i=50$ mm este:

$$h_s = P - F = 50 \cdot 2 - 65.62 = 34.38 \text{ mm}$$

2.2. Viteza scurgerii pe versant

Dacă precipitațiile produc scurgere de suprafață (debitul este mai mare ca zero!!!), este de interes pentru a evalua avansarea în timp a contaminanților solubili în apă, să se estimeze **viteza** de deplasare a apei pe versanți (scurgerea de suprafață).

Modelele matematice utilizate pentru estimarea vitezei scurgerii de suprafață sunt de natură empirică, ca și cele utilizate pentru estimarea debitului. Modele țin seama de **panta terenului, lungimea versantului, rugozitatea suprafeței și intensitatea precipitațiilor**, cele mai utilizate fiind:

- modelul Manning (adaptat pentru scurgeri de suprafață)
- modelul Chezy
- modelul “empiric”

2.2.1. Modelul Manning

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}$$

unde:

v: viteza apei [m/s]

n: coeficient de rugozitate Manning $\left[\frac{s}{m^{\frac{1}{3}}}\right]$ care depinde de utilizarea terenului (Tabelul XX)

R: raza hidraulică $\approx$ adâncimea medie a peliculei de apă [m]

$$R = \frac{A}{P}$$

A: aria secțiunii udate

P: perimetrul secțiunii udate

Pentru scurgerile de suprafață (**peliculare**), **R** se aproximează cu adâncimea peliculei (h) de apă (de obicei câțiva mm):

$$v = \frac{1}{n} \cdot h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}$$

i: panta versantului [-]

NOTA. Alegerea coeficientului Manning presupune o mare atenție la detalii de tipul:

- densitatea și direcția tulpinilor vegetale: a) iarba scurtă favorizează o viteza mai mare (n mic), b) tufele sau copacii reduc viteza de curgere (n mare)
- pentru scurgeri de suprafață (peliculare) viteza este mai mare (n mic) decât pentru curgeri mai adânci de tipul curgerii în canale datorită dispersiei și frecărilor (n mare)
- obstacolele de tipul pietreelor, crengilor etc. reduc viteza de curgere (n mare)
- versantul constituit din suprafețe diferite (pajiște, drum, pădure) obligă calculul unui coeficient mediu ponderat cu suprafețele.
- compactarea/udarea solului crește viteza de curgere (n mic)
- solul uscat și grosier reduce viteza de curgere (n crește)
- dacă nivelul de incertitudine este ridicat se recomandă lucrul cu valorile extreme ale coeficientului pentru a obține un interval de viteze.

Tabelul XX. Coeficienți Manning pentru calculul vitezei scurgerii de suprafață/peliculară		
Tipul de suprafață	Categorii de material	Coeficient Manning (n) $\left[\frac{s}{m^3} \right]$
Pavaj / suprafețe artificiale	Beton neted turnat	0,012 – 0,015
	Beton rugos / placat	0,015 – 0,020
	Asfalt nou, neted	0,011 – 0,014
	Asfalt degradat (crăpat, rugos)	0,015 – 0,020
	Pavaj cu rosturi / dale	0,016 – 0,025
Canale și albi betonate	Canal betonat neted	0,012 – 0,016
	Canal pietruit bine compactat	0,020 – 0,030
Suprafețe urbane (sisteme pluviale)	Canalizare, tuburi netede	0,010 – 0,013
	Trotoar / căi pietonale	0,012 – 0,020
Soluri agricole / teren arat	Sol arat fin (fără brazde mari)	0,030 – 0,050
	Sol arat cu brazde adânci	0,040 – 0,080
	Teren compactat (tractorizat)	0,025 – 0,040
Iarbă / pajiști	Iarbă scurtă, tunsă (densitate mare)	0,010 – 0,020
	Iarbă medie (neîngrijită)	0,020 – 0,030
	Iarbă lungă / ierburări dense	0,030 – 0,060
Pădure / teren acoperit cu resturi vegetale	Pădure deschisă (iarbă și frunze)	0,050 – 0,100
	Pădure densă / măraciniș	0,080 – 0,200
Suprafețe stâncoase / pietroase	Pietriș compact, granule fine	0,020 – 0,035
	Blocuri mari / bolovani	0,040 – 0,100
	Plăci stâncoase netede	0,012 – 0,030
Zone umede (turbă / nămol)	Zăcămintele mici de nămol	0,030 – 0,060
	Tufişuri, stuf, papură	0,050 – 0,200
Zăpadă / gheață	Zăpadă uscată, moale	0,050 – 0,150
	Zăpadă înghețată / ghețuș	0,010 – 0,050
Suprafețe urbane cu obstrucții	Parcare cu gropi / denivelări	0,020 – 0,040
	Stradă cu obstacole (vegetatie)	0,025 – 0,050

2.2.2. Modelul Chezy

Modelul Chezy este recomandat pentru calculul vitezei scurgerii de suprafață în condiții în care curgerea poate fi considerată uniformă și permanentă, iar panta și rugozitatea sunt relativ constante.

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

unde:

v : viteza medie a scurgerii [m/s]

C : coeficientul Chezy [$m^{1/2}/s$]

R : raza hidraulică [m]

I : panta hidraulică [m/m]

Dacă se cunoaște coeficientul Manning (n), relația dintre el și Chezy este:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

Pentru **scurgerea de suprafață pe versanți**, valorile coeficientului Chezy (C) depind de rugozitatea suprafeței, panta, tipul de sol și gradul de acoperire vegetală. În general, pentru scurgeri de suprafață, se folosesc valori empirice derivate din observații cu următoarele observații:

- Pentru **pante mari (>10%)**, valorile efective pot fi ușor crescute (cu 10–20%), deoarece fluxul devine mai turbulent.
- Pentru **pante mici (<2%)**, valorile se pot micșora cu 10–15%.

În practică, valorile pot fi ajustate cu ± 10 –20% în funcție de: gradul de compactare al solului, uniformitatea scurgerii, densitatea vegetației, conținutul de umiditate al solului.

Tabelul XX. Valori orientative pentru coeficientul Chezy				
Nr.	Tip de suprafață / acoperire vegetală	Tip de sol (granulometrie)	Panta (%)	C ($m^{1/2}/s$) recomandat
1	Sol neted, arat recent, fără vegetație	argilos	1–5	10–15
2	Sol neted, arat recent, fără vegetație	nisipos	5–15	15–20
3	Sol ușor denivelat, parțial acoperit cu resturi vegetale	lutos	1–10	15–25
4	Teren agricol nelucrat, brazde sau bulgări	argilos	5–15	20–30
5	Pajiște rară (iarbă joasă, neuniformă)	lutos-nisipos	2–10	25–35
6	Pajiște deasă, iarbă medie (5–15 cm)	lutos	5–20	30–45
7	Pajiște naturală, vegetație înaltă (>20 cm)	lutos-argilos	5–20	40–55
8	Teren forestier – litieră subțire	argilos	5–30	45–60
9	Teren forestier – strat gros de frunze și resturi	lutos	5–30	50–70
10	Teren stâncos sau rocă masivă	-	10–40	60–100
11	Drum pietruit, compact	-	2–10	50–80
12	Drum asfaltat sau betonat	-	0–10	80–100

Tabelul XX. Coeficientul Chezy (C) pentru scurgerea de suprafață		
Tipul suprafeței	Descriere / exemplu	C (m ^{1/2} /s) aproximativ
Sol curat, neted, fără vegetație	suprafață arată, teren agricol proaspăt lucrat	10 – 20
Sol cu mici denivelări, ușor rugos	teren agricol nelucrat, cu bulgări mici	15 – 25
Sol acoperit parțial cu iarbă	pajiști scurte, vegetație rară	20 – 35
Pajiști dense, vegetație medie	iarbă deasă, strat vegetal consistent	30 – 50
Teren forestier, acoperit cu frunze sau resturi	păduri, sol acoperit cu litieră	40 – 60
Suprafețe pavate sau compacte	asfalt, beton, drumuri pietruite	50 – 100
Suprafață stâncoasă	roci, sol foarte dur	60 – 100

2.2.3. Modelul empiric pentru viteza de scurgere pe versant

Dacă pantele sunt reduse, se poate aproxima:

$$v = k \cdot I^m ; (0.1-0.5 \text{ m/s})$$

unde:

i : panta versantului (în zecimal, ex. 10% = 0.10)

k, m: coeficienti empirici ce depind de rugozitate:

Tabelul .XX. Valori orientative pentru coeficienții k și m		
Tip suprafață	k[-]	m[-]
Sol argilos neted	1-3	0.4-0.6
Sol agricol	0.5-2	0.4-0.6
Pajiște	0.3-1	0.4-0.5
Suprafețe urbane	3-10	0.5

APLICATIE pentru calculul vitezei scurgerii pe versanți

Să se compare vitezele scurgerii superficiale calculate cu modelele Manning, Chezy și “modelul empiric”, pentru un versant suficient de lung pentru stabilizarea scurgerii, având următoarele caracteristici:

- panta terenului: $i = 0,5 - 5\%$
- grosimea stratului de apă: $h = 0,02 \text{ m}$
- rugozitatea tipică pentru un teren agricol: $n = 0,035 \left[\frac{s}{m^{\frac{1}{3}}} \right]$
- coeficientul modelului empiric pentru teren agricol: $k=1,5$
- Coeficientul modelului empiric: $m=0,5$

Etapele de prelucrare

1)Calculul vitezei cu modelul Manning:

$$v_{Manning} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i} = \frac{1}{0,035} \cdot 0,02^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}$$

$$= 2,105 \cdot \sqrt{I} \left[\frac{m}{sec} \right]$$

2)Calculul vitezei cu modelul Chezy

$$v_{Chezy} = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} \cdot \sqrt{R \cdot I} = 2,105 \cdot \sqrt{I}$$

3)Calculul vitezei cu modelul empiric:

$$v_{model_empiric} = k \cdot I^m = 1,5 \cdot I^{\frac{1}{2}} = 1,5 \cdot \sqrt{I}$$

4)Calculul și reprezentarea grafică a vitezelor pentru $I = 0,5 - 5\%$ (**Tabelul 2.1, Fig.2.6**).

NOTA. Valorile calculate cu modelul Manning și Chezy sunt sensibil egale, vitezele calculate cu modelul empiric fiind puțin mai mici. Diferențierea valorilor este determinată de alegerea coeficienților empirici (C, k, m).

Tabelul 2.1. Vitezele scurgerii de suprafață calculate cu modelele Manning, Chezy și empiric pentru $i = 0,5 - 5\%$

I [-]	v_manning [m/s]	v_chezy [m/s]	v_m_empiric [m/s]
0.005	0.149	0.149	0.106
0.010	0.211	0.211	0.150
0.015	0.258	0.258	0.184
0.020	0.298	0.298	0.212
0.025	0.333	0.333	0.237
0.030	0.365	0.365	0.260
0.035	0.394	0.394	0.281
0.040	0.421	0.421	0.300
0.045	0.447	0.447	0.318
0.050	0.471	0.471	0.335

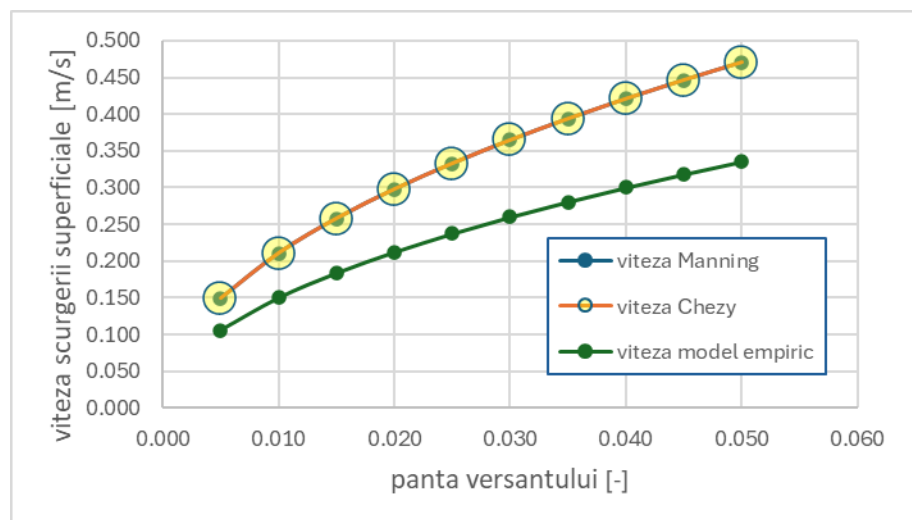
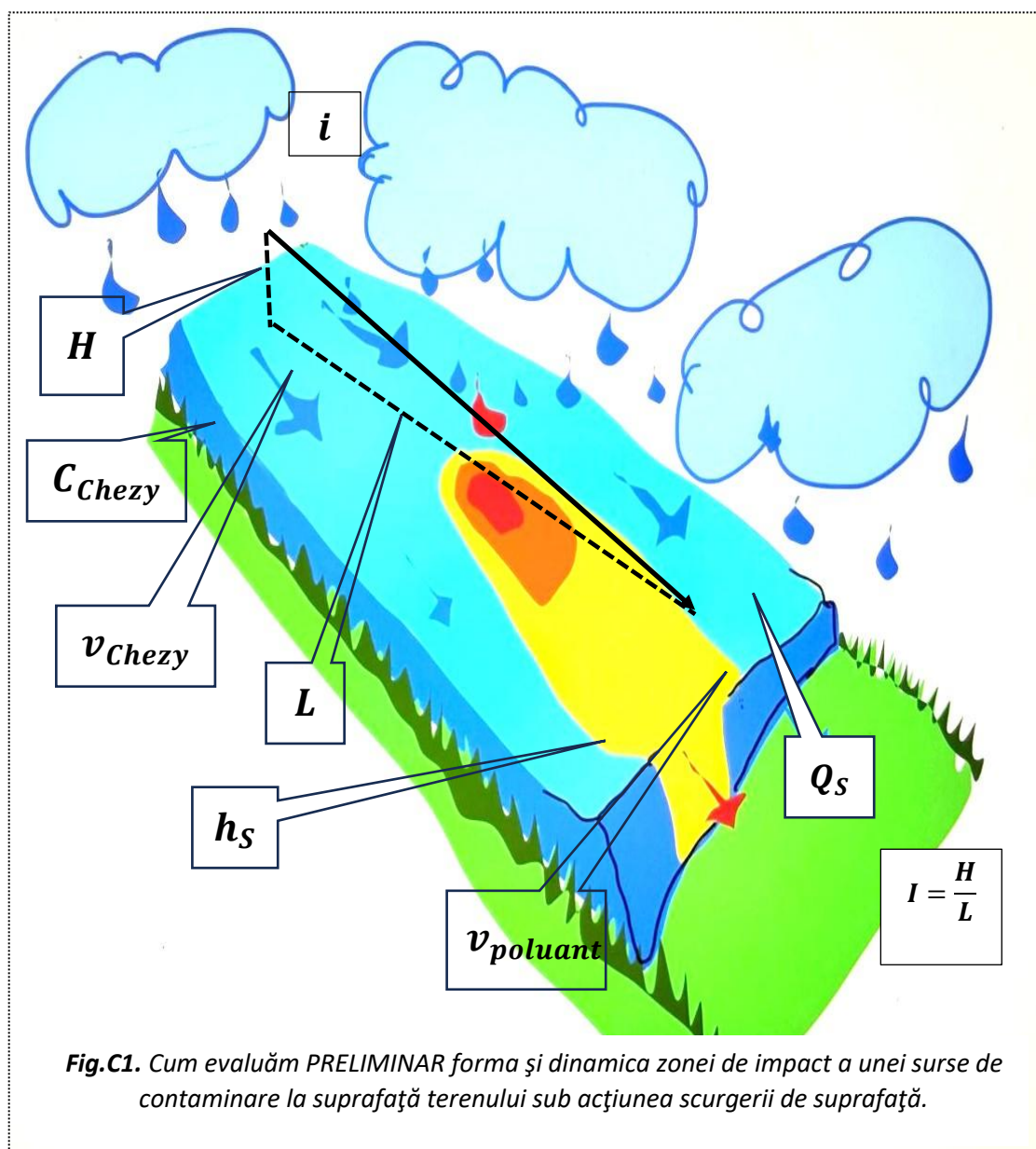


Fig. 2.6. Variația vitezei scurgerii pe versant calculată în funcție de panta versantului, cu modelele Manning, Chezy, empiric.

Concluzii

Migrarea contaminantului pe suprafața topografică este condiționată de **aparitia scurgerii de suprafață**. Elementul declanșator esențial este **precipitația**, caracterizată de o anumită **intensitate** (i), iar rezultatele (grosimea stratului pelicular (h_s), debitul scurgerii (Q_s) și viteza curgerii pe versant (v_{Chezy})) sunt influențate de **panta versantului** (I) și caracteristicile lui (litologie, rugozitate și tip de utilizare, sintetizate în coeficienți empirici (ex.: coeficientul Manning (n), coeficientul Chezy (C_{Chezy}); Fig.XX).

Procese fizico chimice predominante implicate în migrarea contaminanților antrenate de scurgerea de suprafață sunt **advecția** și **dispersia mecanică**, direcția de deplasare a contaminanților (miscibili cu apa) fiind paralelă cu direcția de cea mai mare pantă a suprafeței topografice.



Evaluarea preliminară a dinamicii zonei de impact a unei surse de contaminare superficiale sub acțiunea **scurgerii de suprafață**, se realizează după evaluarea cantitativă a scurgerii de suprafață (**Capitolul 2**), în patru etape:

- construirea **spectrului hidrodynamic al scurgerii de suprafață** și poziționarea **sursei de contaminare** (**Fig.C2**)
- trasea **liniilor de curent "extreme"** (L1, L12) care delimitează extinderea maximă a zonei "contaminabile" la suprafața terenului, până la rețeaua hidrografică (linia de drenaj de cotă minimă a scurgerii de suprafață) din vecinătatea sursei de poluare.
- calculul distanțelor parcurse de scurgerea de suprafață, de-a lungul liniilor de curent din zona contaminată (**Tabelul C1, Fig.C4**)
- trasarea izoconelor de deplasare a contaminantului care indică ritmul de extindere a zonei de impact a sursei de contaminare la suprafața terenului (**Fig.C5**).

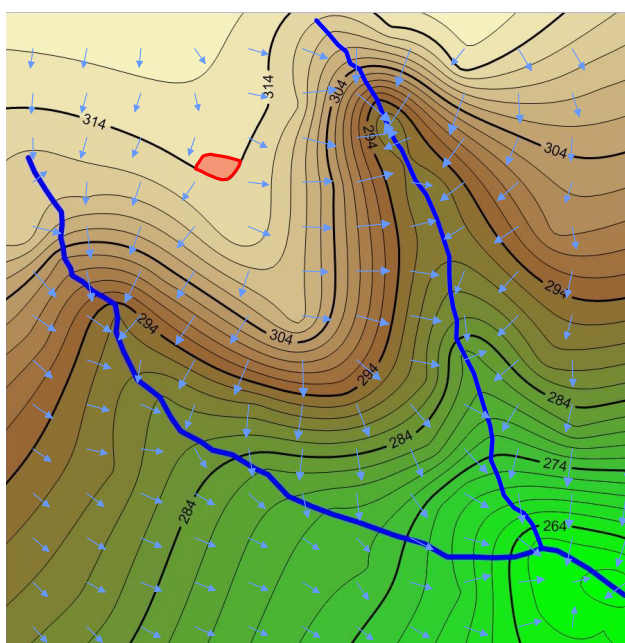


Fig.C2. Spectrul hidrodynamic al curgerii de suprafață și poziția sursei de contaminare.

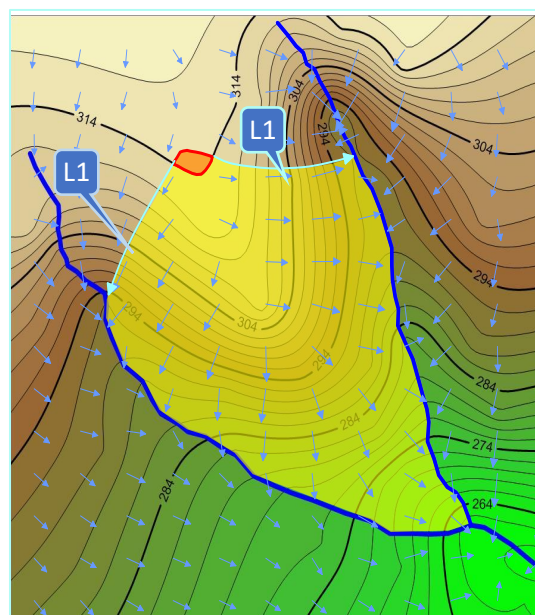
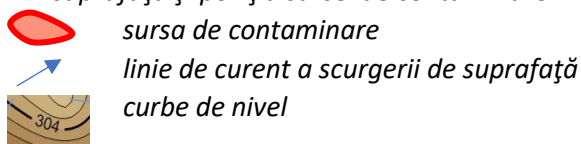


Fig.C3. Extinderea maximă a zonei contaminabile la suprafață terenului (zona "galbenă").

NOTA. Viteza scurgerii de suprafață, într-o estimare preliminară maximală a zonei de impact a sursei de contaminare, este considerată egală cu viteza de migrare a contaminanților miscibili cu apa (advecția fiind procesul dominant!!!). În consecință distanțele parcurse de scurgerea de suprafață sunt egale cu cele parcurse de contaminant dacă nu se ia în considerare retardare produsă de procesele de dispersie, sorbție sau reacțiile de transformare chimică sau biologică a contaminantului.

Tabelul C1. Calculul distanțelor parcurse de-a lungul liniilor de curent ale scurgerii de suprafață (2.2.2. modelul Chezy utilizat pentru calculul vitezelor scurgerii de suprafață).														
t[ora]	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L_M	L7	L8	L9	L10	L11	L12	t[ora]
10	2963	1942	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107	1107	2181	3150	10
15	5263	3503	1862	1830	1830	1830	1830	1830	1830	1830	1771	3889	5715	15
20	7365	5810	3218	2918	2918	2918	2918	2918	2918	2918	2786	6282	7137	20
25		7902	5060	4526	4348	4348	4348	4348	4348	4348	4583	8527		25
30			7239	6185	5548	5548	5548	5548	5548	5888	6779			30
35			9544	8624	6416	6416	6416	6416	6416	8069	8939			35
40			11218	10707	7163	7163	7163	7163	7163	10385	10508			40
45					9463	9226	9226	9226	9122	12217				45
50					11938	11605	11562	11513	11648					50
55						13564	13587	13742	13646					55
60						15914	15755	15790						60
65							17736							65
70							19729							70
75							21414							75

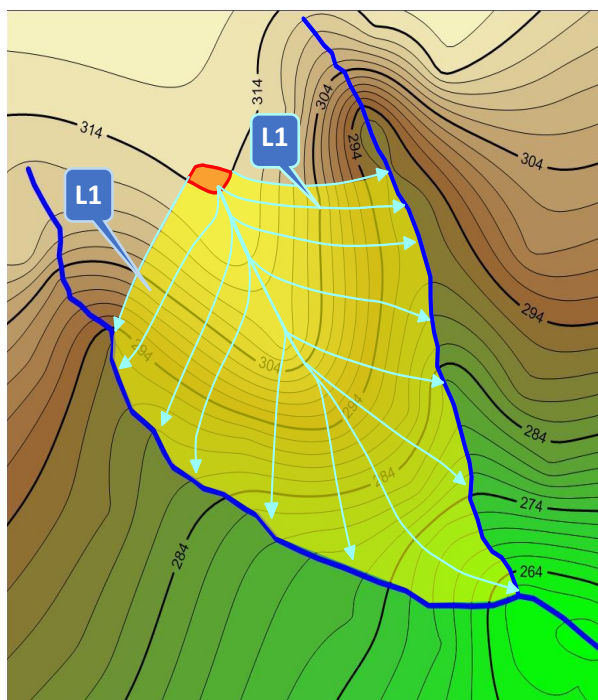


Fig.C4. Liniile de curent de-a lungul cărora sunt calculate distanțele parcurse cu viteza Chezy din Tabelul C1.

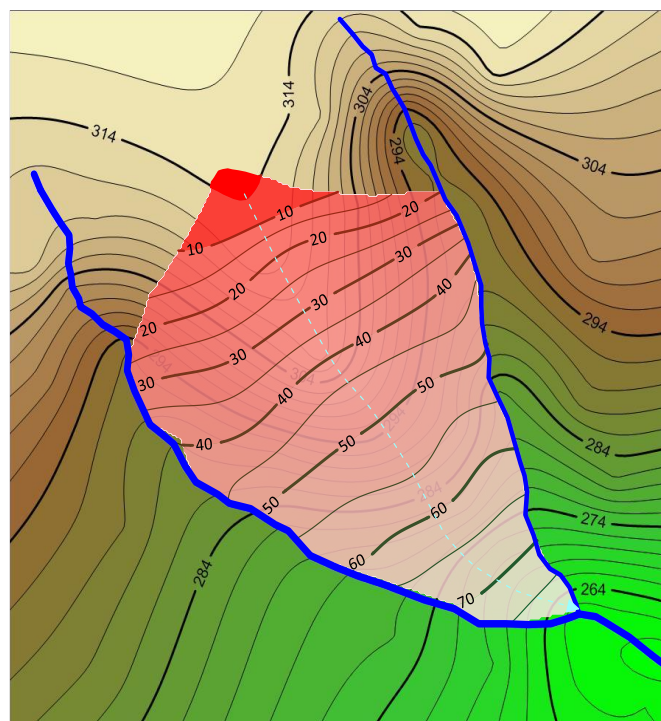


Fig.C5. Izocronele migrării contaminantului de la sursa de contaminare până la rețeaua hidrografică (t=10, 20, ...70 ore)

Dinamica zonei de impact a unei surse de contaminare pe suprafață topografică, estimată în acest mod este **maximală**, atât din punct de vedere al extinderii spațiale finale cât și a vitezei de extindere.

Modelele matematice care permit evaluarea cantitativă a dinamicii zonei de impact, în funcție de tipul de sursă de contaminare, concentrația acesteia, procesele de dispersie mecanică, sorbție și transformările biochimice ale contaminanților necesită un volum mai mare de date și pot conduce la evaluări ale zonei de impact și vitezei de migrare a contaminantului mai reduse. Astfel de studii detaliate, de regulă, se realizează după ce sursa de contaminare și zona de posibil impact (zona maximală) este monitorizată o perioadă de timp, necesară obținerii datelor utilizate la calibrarea modelelor matematice de evaluare detaliată a migrării contaminanților. Programe disponibile:

- Water Erosion Prediction Program (WEPP):
 - <https://www.nrcs.usda.gov/resources/tech-tools/water-erosion-prediction-project>
- Storm Water Management Model (SWMM):
 - <https://www.pcswm.com/Downloads/USEPASWMM>
- MIKE SHE (MIKE-platformă software europeană; SHE-European Hydrological System):
 - <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-she>
- etc.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Drobot, R., 2020, HIDROLOGIE și HIDROGEOLOGIE, Editura Didactică și Pedagogică S.A., București
- [2] Nicolai Sîrbu, Gabriel Racovițeanu, and Radu Drobot, 2026, Regionalization of Updated Intensity-Duration-Frequency Curves for Romania and the Consequences of Climate Change on Sub-Daily Rainfall ([Regionalization of Updated Intensity-Duration-Frequency Curves for Romania and the Consequences of Climate Change on Sub-Daily Rainfall](#))