

TEZĂ DE DOCTORAT

*„Cercetări privind efectul scurgerii solide  
asupra spațiului hidrografic”*



Conducător științific  
prof.dr.ing. Gheorghe Crețu

Candidat  
ing. Erika Beata Maria Beilicci

2006

**TEZĂ DE DOCTORAT**

***„Cercetări privind efectul scurgerii solide  
asupra spațiului hidrografic”***

Conducător științific  
prof.dr.ing. Gheorghe Crețu

Candidat  
ing. Erika Beata Maria Beilicci

UNIV. "POLITEHNICA"	
TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Nr. volum	648.343
Dulap	366 E

2006

# CUPRINS

## ***Prefață***

### **Capitolul 1 *Necesitatea și oportunitatea temei***

- 1.1 Cauzele proceselor erozionale pag. 2
- 1.2 Forme de eroziune produse de apă pag. 2
- 1.3 Metode și modele de studiu a eroziunii și scurgerii solide pag. 7
- 1.4 Stadiul actual al cercetărilor pag. 12
- 1.5 Studii realizate privind cauzele și evoluția fenomenelor  
legate de scurgerile solide în lume și în România pag. 13
- 1.6 Necesitatea și oportunitatea temei pag. 20
- 1.7 Obiectivele tezei de doctorat pag. 23

### **Capitolul 2 *Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale***

- 2.1 Analiza scurgerii solide pag. 27
- 2.2 Modelarea scurgerii lichide pe versanții bazinului hidrografic pag. 41
- 2.3 Modelarea scurgerii solide pe versanții bazinului hidrografic pag. 58
- 2.4 Modelarea scurgerii lichide în rețeaua hidrografică pag. 80
- 2.5 Modelarea scurgerii solide în rețeaua hidrografică pag. 84
- 2.6 Prognoza fenomenelor erozionale pag. 95

### **Capitolul 3 *Impactul scurgerilor solide asupra mediului***

- 3.1 Efectele scurgerii solide asupra spațiului hidrografic pag. 113
- 3.2 Metodă de evaluare a impactului scurgerii solide dintr-un  
bazin hidrografic asupra mediului pag. 146
- 3.3 Sedimentele – parte a monitoringului integrat al calității  
apelor pag. 151
- 3.4 Eficiența soluțiilor de amenajare pentru reducerea efectelor  
scurgerilor solide pag. 153

### **Capitolul 4 *Studiu de caz - evaluarea scurgerii solide și efectul ei asupra bazinului hidrografic***

- 4.1 Descrierea bazinului hidrografic studiat pag. 166

4.2 Modelarea proceselor de eroziune în bazinul hidrografic studiat	pag. 172
4.3 Concluzii, recomandări	pag. 190

## **Capitolul 5 Concluzii**

5.1 Contribuții personale	pag. 195
5.2 Perspective și propuneri de cercetare pentru viitor	pag. 201

## **Bibliografie**

### **Anexe**

- 1 Rezultate ale aplicării modelului WEPP pe întreg bazinul hidrografic
- 2 Rezultate ale aplicării modelului WEPP pe un versant – fișier de ieșire
- 3 Variația eroziunii relative pe versanți ( modelul WEPP) - grafice
- 4 Date pentru modelul DUFLOW – rețea hidrografică
- 5 Date pentru modelul DUFLOW – secțiuni transversale
- 6 Rezultate ale aplicării modelului DUFLOW
- 7 Dezvoltarea modelului PROPRIU
- 8 Aplicarea modelului PROPRIU

## Prefață

*Ansamblul de fenomene fizice reprezentat de procesele de eroziune datorate acțiunii apei cuprind următoarele faze: faza de dislocare și antrenare a particulelor solide sub acțiunea picăturilor de ploaie și a forțelor hidrodinamice (de pe versanți și din albie), faza de transport efectiv a sedimentelor de către apa în mișcare și faza de depunere (sau sedimentare) a acestora. Ca urmare a însumării în timp a efectelor proceselor de eroziune apar schimbări și diminuări ale proprietăților fizice și chimice ale solurilor, se favorizează apariția deplasărilor de teren, în special a alunecărilor, apar modificări geomorfologice ale cursurilor de apă, care își pot schimba forma în profil transversal și longitudinal (dar și în plan), precum și caracteristicile patului; se produce colmatarea lacurilor de acumulare, eroziunea generală a patului albiei în aval de baraje, apar probleme de natură ecologică prin alterarea calităților originare ale ecosistemului acvatic etc.*

*Factorul determinant al proceselor de scurgere și eroziune a apei pe suprafața terenurilor îl reprezintă energia cinetică a ploii, legată în mod direct de intensitatea ploii. Pe lângă acest factor, un rol important în desfășurarea fenomenului de eroziune îl au și caracteristicile scurgerii de suprafață (debitul lichid, adâncimea de scurgere, viteza apei, regimul scurgerii superficiale) și caracteristicile terenurilor (proprietăți de infiltrație, textura și structura solului, panta, relieful, expoziția, vegetația etc.); particulele de sol fiind dislocate și antrenate atât de forța de șoc dezvoltată de picăturile de ploaie, cât și de curenții de apă dispersați pe un teren în pantă. Din acest motiv, studiul scurgerii solide pe versanți nu poate fi separat de studiul scurgerii lichide, scurgerea lichidă determinând scurgerea solidă.*

*Studiul mecanismelor și efectelor asupra mediului ale proceselor de eroziune datorate apei sunt necesare în două situații distincte și anume:*

- în faza de proiectare a lucrărilor inginerești, care vor fi executate pe versanți sau în albiile cursurilor de apă, menite să satisfacă anumite nevoi economice și de protecție a mediului împotriva efectelor negative ale proceselor de eroziune. În această fază se utilizează metodele de calcul ale caracteristicilor acestor procese.
- în faza de exploatare ale acestor lucrări, modul de exploatare bazându-se pe modelele de prognoză ale proceselor de eroziune. Amenajările respective vor trebui să fie exploatate optim astfel încât să satisfacă o perioadă de timp cât mai lungă nevoile economice și ecologice pentru care au fost realizate.

Studiul proceselor de eroziune a solului și a efectelor acestora asupra spațiului hidrografic (a mediului) este cu atât mai important acum, cu cât scara la care se produce astăzi în întreaga lume eroziunea solului și torențialitatea, aria lor de răspândire și valoarea pagubelor provocate sunt, practic, inestimabile.

Agricultura și silvicultura mondială sunt afectate de eroziunea solului și torențialitate, pierzând anual cantități însemnate de sol fertil, de la 3,8 până la 58 miliarde tone, adică o eroziune medie specifică de 134 tone/km<sup>2</sup>. Turbiditatea medie a apei în rețeaua hidrografică mondială este de cca. 360 g/m<sup>3</sup>, astfel încât lacurile, mările și oceanele primesc anual aproximativ 40 milioane tone de materii fertilizante. Spălarea unui strat de sol de 1 cm grosime de pe un hectar, înseamnă pierderea a 130 tone de sol, adică aproape 3 tone de humus, care are drept urmare mari scăderi de recoltă vegetală [Berar et al, 1983].

Responsabilitatea generațiilor actuale de a menține și îmbunătății calitatea mediului natural este poate cel mai bine exprimat de Antoine de Saint Exupery: „**Noi nu moștenim pământul de la strămoșii noștri, noi îl împrumutăm de la copiii noștri**”.

Doresc să mulțumesc și pe această cale domnului prof.dr.ing. Gheorghe Crețu, conducătorului științific, pentru îndemnul și suportul oferit de-a lungul anilor pentru elaborarea și finalizarea prezentei teze de doctorat. De asemenea, doresc să mulțumesc și referenților științifici care mi-au făcut onoarea de a analiza și aprecia conținutul tezei.

Erika Beilicci

## **Capitolul 1**

### ***Necesitatea și oportunitatea temei***

- 1.1 Cauzele proceselor erozionale
- 1.2 Forme de eroziune produse de apă
- 1.3 Metode și modele de studiu a eroziunii și scurgerii solide
  - 1.3.1 Metode de studiu a eroziunii și scurgerii solide
  - 1.3.2 Modele de studiu a eroziunii și scurgerii solide
    - 1.3.2.1 Modele hidraulice
    - 1.3.2.2 Modele hidrologice
- 1.4 Stadiul actual al cercetărilor
- 1.5 Studii realizate privind cauzele și evoluția fenomenelor legate de scurgerile solide în lume și în România
- 1.6 Necesitatea și oportunitatea temei
- 1.7 Obiectivele tezei de doctorat

## 1.1 Cauzele proceselor erozionale

Acestea sunt:

- clima (precipitații, vânt, temperatură);
- relieful (înălțimea, panta, forma, lungimea, expoziția);
- solul;
- vegetația;
- factorii litologici (roca de bază);
- factorii antropici (sociali – economici).

Un model complet de eroziune în bazine hidrografice e prezentat în figura 1.1.

[*Fleming et al, 1984* ]

## 1.2 Forme de eroziune produse de apă (eroziunea hidrică)

Formele de eroziune produse de apă sunt [*Bâcov. 1978*]:

- eroziune prin impact – se declanșează sub acțiunea energiei picăturilor de ploaie;
- eroziune în suprafață (decapantă) – se datorează atât efectului dat de impactul picăturilor de ploaie, cât și scurgerii curenților de apă dispersați pe un teren în pantă (curenți bidimensionali), constă în îndepărtarea stratului superficial relativ uniform de sol pe mare întindere prin acțiunea de scurgere laminară a apei și prin mici șiroiri;
- eroziune în adâncime (tranșantă) – atunci când scurgerea și eroziunea acționează vertical. Formele eroziunii în adâncime sunt (eroziunea contemporană): rigole, ogașe și ravene. Dezvoltarea eroziunii în adâncime, care dă naștere la șiroiri și ravinație se produce numai acolo unde s-a creat un dezechilibru în peisajul natural prin intervenția antropică. Eroziunea naturală (eroziunea geologică veche) se desfășoară mai întotdeauna în ritm lent, de pe urma cărora rezultă forme de relief deosebite de cele datorate eroziunii accelerate (antropice): văiuga, vâlceaua, viroaga și valea râului;



Capitolul 1 Necesitatea și oportunitatea temei

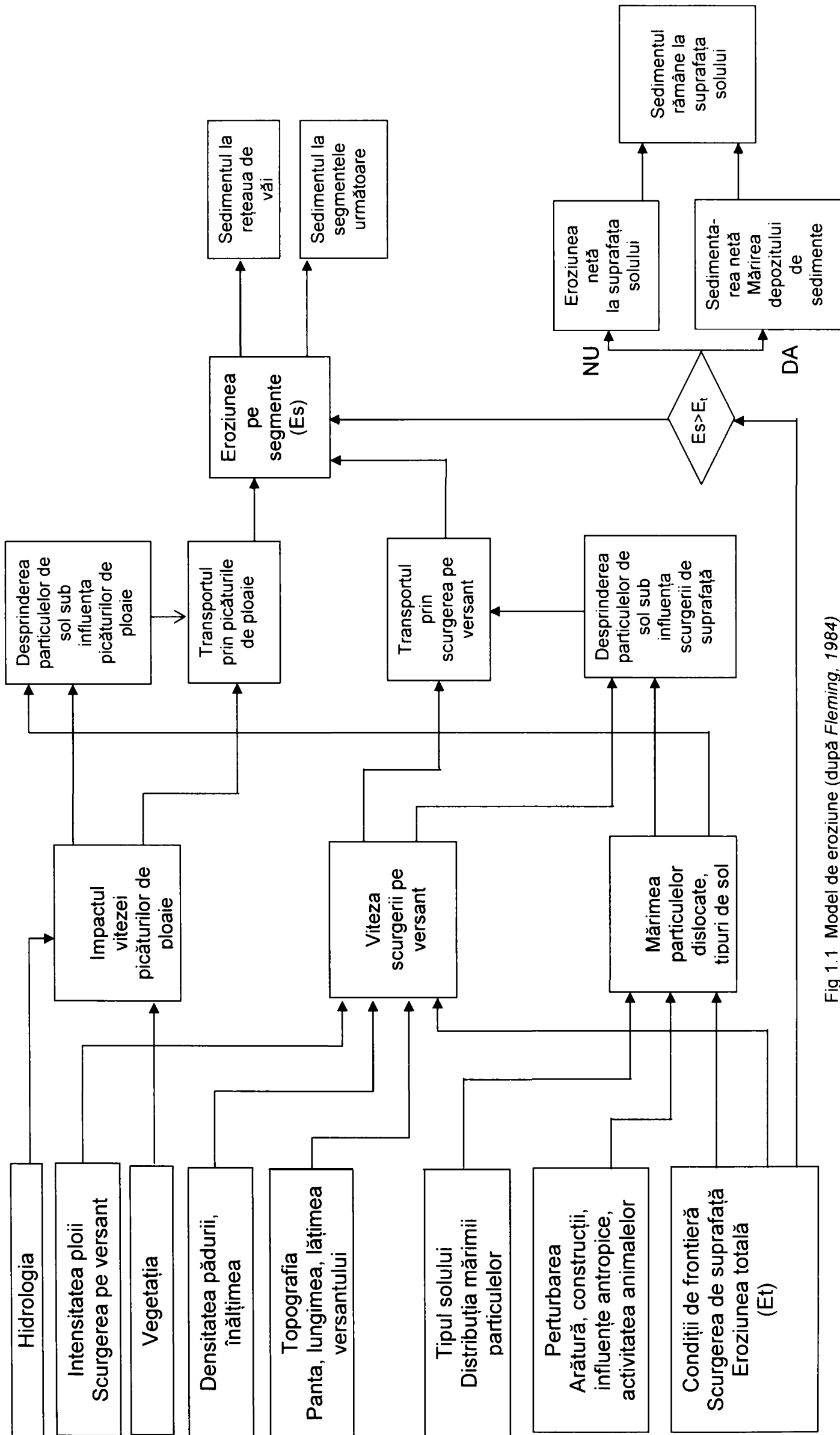


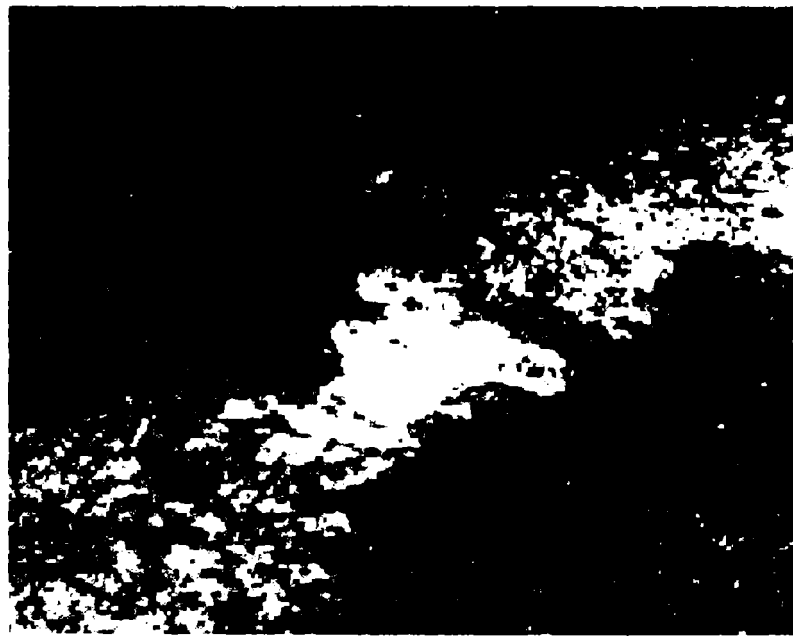
Fig 1.1 Model de eroziune (după Fleming, 1984)

- eroziunea prin valuri – în zonele litorale;
- eroziunea prin irigație – datorită debitării pe terenurile în pantă irigate a unor importante volume de apă pentru irigare și evacuării apelor excedentare;
- eroziunea prin sufozie – procesul prin care materialul este erodat dintr-un orizont de sol sau dintr-o rocă sedimentară prin acțiunea apei ce se deplasează în lungul unor linii de drenaj definite și care creează goluri subterane;
- alunecările de teren – apele de suprafață pot influența stabilitatea versanților prin umezirea pământului și ridicarea nivelului apei subterane, prin erodarea terenurilor și apariția formațiunilor eroziunii în adâncime care înlătură sprijinul versanților; apele subterane sunt cauza principală a celor mai multe alunecări de teren datorită presiunii apei din pori, presiunii de filtrare a apei subterane. Apa modifică și caracteristicile fizico – mecanice ale rocilor.

Câteva din formele de eroziune produse de apă se pot vedea în imaginile următoare: [[www.netc.net.au](http://www.netc.net.au), 2004; [www.seafriends.org.nz](http://www.seafriends.org.nz), 2004]



Eroziune decapantă



Eroziuni datorate șiroirii apei pe suprafața versantului



Ravenă



Ravenă puternic dezvoltată



Alunecări de teren



Eroziunea malurilor albiilor cursurilor de apă



Eroziuni prin sufozie

### 1.3 Metode și modele de studiu a eroziunii și scurgerii solide

#### 1.3.1 Metode de studiu a eroziunii și scurgerii solide

În mecanica fluidelor polifazice se aplică aceleași metode de studiu ca în mecanica fluidelor omogene [Florea et al, 1987 ]:

- Metode teoretice – constă în aplicarea principiilor, legilor și teoremelor mecanicii generale, precum și aparatul matematic adecvat la studiul repausului și mișcării fluidelor;
- Metode experimentale – se aplică fie cu scopul stabilirii unor legi generale ale unor fenomene, a verificării unor concluzii teoretice sau introducerii unor corecții la legile stabilite teoretic, fie ca metodă de rezolvare directă a unor probleme complexe, care nu pot fi soluționate pe cale teoretică, în acest caz problema poartă numele de modelare hidraulică și constă în reproducerea

fenomenelor pe un model fizic care realizează la o anumită scară condițiile inițiale și la limită ale fenomenului natural;

- Metode mixte – rezultate din îmbinarea metodelor teoretice cu cele experimentale, un rol important îl au teoria similitudinii și analiza dimensională. Teoria similitudinii constituie baza teoretică a metodelor experimentale și împreună cu analiza dimensională folosește la interpretarea și generalizarea rezultatelor experimentărilor efectuate pe modele fizice la scară redusă.

Prezența fazelor dispersate într-un mediu continuu fluid impune și utilizarea unor metode specifice de cercetare experimentală cu aparatură de mare finețe (laser, radiații X,  $\gamma$  etc.).

În ultimele decenii s-au făcut numeroase încercări de a elabora modele matematice unitare pentru studiul curgerii fluidelor polifazice. Alături de metodele clasice pentru studiul separat al mișcării fazei dispersate în prezența unei faze continue au fost elaborate și metode pentru studiul mișcării de ansamblu a fluidului atât în ipoteza bicomponenței, cât și în ipoteza fluidului echivalent.

### *1.3.2 Modele de studiu a eroziunii și scurgerii solide*

Dificultățile mai importante în modelarea proceselor erozionale sunt legate de :

- variabilitatea în timp și spațiu a precipitațiilor și a altor factori meteorologici importanți (ploile torențiale)
- variabilitatea în spațiu a caracteristicilor versanților bazinului hidrografic (topografie, vegetație, soluri etc.)
- neliniaritatea proceselor de transfer de masă și energie care au loc într-un bazin hidrografic
- influența omului asupra componentelor ciclului hidrologic și a interacțiunii dintre ele
- influența antropică asupra versanților (exemplu schimbarea folosinței terenurilor) și asupra albiilor de scurgere (executarea de amenajări hidrotehnice).

O schemă generală de clasificare a modelelor se poate vedea în figura 1.2.

[Vladimirescu, 1984]

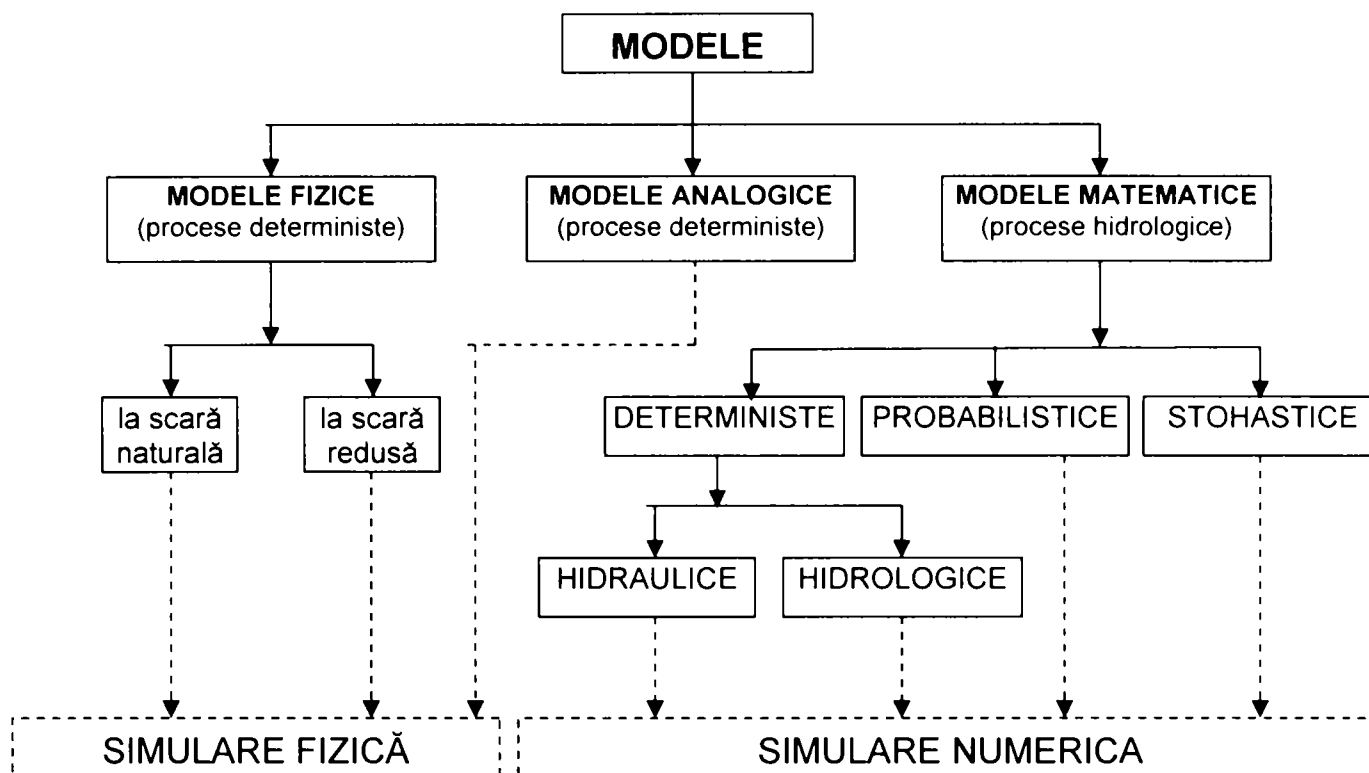


Fig.1.2 Schema generală de clasificare a modelelor (după Vladimirescu, 1984)

Cele mai utilizate modele de studiu a scurgerii solide sunt modelele hidraulice și modelele hidrologice.

### 1.3.2.1 Modele hidraulice (hidrodinamice) pentru studiul scurgerii solide

Starea generală de antrenare hidrodinamică a aluviunilor, incluzând repausul, inițierea, dezvoltarea și încetarea transportului aluviunilor de pe versanții bazinului hidrografic și din albiile cursurilor de apă, constituie un proces fizic determinat de o multitudine de parametri și variabile referitoare la [Ichim et al, 1989]:

a). caracteristicile hidraulice ale curgerii fazei lichide:

- $Q$  debitul lichid în secțiunea transversală
- $v$  viteza medie a curentului în secțiune
- $J$  gradientul hidraulic reprezentând panta liniei energetice totale;

b). caracteristicile geometriei albiei de curgere:

- $B$  lățimea la nivelul suprafeței libere
- $h$  adâncimea curentului
- $S_s$  coeficientul de formă a secțiunii transversale de curgere
- $S_p$  coeficientul de formă a patului mobil pe suprafața căruia se dezvoltă diverse formațiuni aluvionare;

c). proprietățile fizico – mecanice ale fazei lichide și solide:

- $\rho$  densitatea fazei lichide
- $\mu$  vâscozitatea dinamică a fazei lichide
- $\rho_s$  densitatea fazei solide
- $d$  diametrul caracteristic al particulelor solide
- $S_F$  factorul de formă al particulelor aluvionare din patul albiei de curgere
- $w$  mărimea hidraulică a particulelor aluvionare
- $\sigma$  factor al distribuției granulometrice a materialului aluvionar transportat
- $C$  concentrația aluviunilor în suspensie
- $g$  accelerația gravitațională.

Rezultă că, sub forma cea mai generală, starea de antrenare, de transport și de depunere a aluviunilor transportate de scurgerea de suprafață și de cursurile de apă poate fi definită pe baza următoarei relații funcționale (ecuația 1.1), care include totalitatea parametrilor și variabilelor menționate mai sus:

$$F(Q, v, J, B, h, S_s, S_p, \rho, \mu, \rho_s, d, S_F, w, \sigma, C, g) = 0 \quad (1.1)$$

Aceste relații funcționale sunt de obicei ecuații cu derivate parțiale, de exemplu ecuațiile Saint – Venant, pentru faza lichidă (ecuația de continuitate și ecuația de mișcare). Aceste modele pot fi uni, bi sau tridimensionale, în funcție de complexitatea fenomenului studiat, de datele de care se dispun și de ipotezele simplificatoare care se adoptă. La ora actuală se acceptă împărțirea acestor modele în modele dinamice, de difuzie și cinematice.

Modelele hidraulice nu țin seama de următoarele:

a). caracteristicile versanților:

- $I$  panta medie a versantului
- $L$  lungimea versantului
- forma versantului;

b). caracteristicile precipitațiilor:

- $t$  durata
- $i$  intensitatea
- $h_p$  înălțimea ploii;

c). caracteristicile solului și a vegetației;

d). infiltrație.



Dezavantajul acestor modele este că ele necesită foarte multe date pentru calibrare, referitoare la caracteristicile albiei și a particulelor aluvionare, și un aparat matematic complicat pentru rezolvarea lor.

### 1.3.2.2 Modele hidrologice pentru studiul scurgerii solide

Aceste modele se bazează pe aceleași principii fizice ca și modelele hidraulice, ele diferă prin gradul de aproximare utilizat în descrierea fenomenului, ele introducând o serie de ipoteze simplificatoare [Șerban, 1995].

Un model hidrologic reprezintă o schemă fizică care poate înlocui un bazin hidrografic împreună cu procesele care au loc, astfel încât elementele calculate cu ajutorul modelului să fie cât mai apropiate de valorile măsurate.

Modelele hidrologice trebuie să îndeplinească unele criterii, dintre care cele mai importante sunt:

- să aibă o bază fizică și să reproducă cu cât mai multă acuratețe caracteristicile importante ale procesului modelat
- să aibă parametri fizici ușor de determinat, atât în bazinele studiate, cât și în bazinele nestudiate din punct de vedere hidrologic
- să fie flexibile, pentru a fi ușor adaptabile la schimbările naturale sau influențele antropice
- să necesite cât mai puține date pentru tarare și aplicare în practică
- să fie simple, atât în privința înțelegerii lor, dar mai ales în privința ușurinței în programarea și aplicarea lor în practică
- să aibă o structură modulară, pentru a fi ușor de adaptat și dezvoltat pentru mai multe scopuri.

Se acceptă clasificarea modelelor hidrologice în:

- modele deterministe – care se bazează pe conceptul de cauzalitate și descriu procesele erozionale pe baza relațiilor fizice dintre cauză și efect; la rândul lor acestea pot fi hidrodinamice, conceptuale și black – box
- modele stohastice – care studiază comportarea în grup a unei mulțimi de variabile hidrologice, între elementele căreia pot exista sau nu relații de independență; se împart în modele probabiliste și modele de serii temporale
- modele mixte – conțin atât elemente deterministe, cât și elemente aleatoare.

Aceste modele sunt utilizate pentru determinarea unor parametrii caracteristici ai proceselor erozionale necesare proiectării și realizării lucrărilor de combatere a eroziunii solului și de reducere a efectului scurgerilor solide asupra spațiilor hidrografice, pentru prognoza elementelor caracteristice ale scurgerilor solide, pentru evaluarea influenței antropice asupra regimului hidrologic natural.

Atât modelele hidraulice, cât și cele hidrologice necesită modelarea topologică a bazinului hidrografic, care constă în divizarea bazinului și a rețelei hidrografice în unități omogene pe baza colectării și analizei datelor și informațiilor rezultate din cartografiere și din măsurători pe teren. În funcție de mărimea acestor suprafețe omogene discretizarea se poate face cu parametrii concentrați, semidistribuiți sau distribuiți.

### 1.4 Stadiul actual al cercetărilor

Stadiul actual de cunoaștere teoretică și de modelare matematică a proceselor de eroziune, de transport aluvionar și a efectelor acestora asupra spațiului hidrografic este încă relativ în fază incipientă. Datorită multitudinii de factori care se influențează reciproc, ca și diversității extraordinare a condițiilor concrete din natură în care apar astfel de procese, este aproape imposibilă o fundamentare teoretică generală, pe baza căreia să se dezvolte instrumente de calcul adecvate, utile în analiza și proiectarea din domeniu. Cea mai mare parte a relațiilor existente sunt obținute pe cale experimentală, fie în condiții de laborator (cu orientare spre aspecte particulare cum ar fi: inițierea mișcării sedimentelor, viteza de sedimentare etc.), fie in situ (mai mult cu scopul calibrării unor formule semiempirice la un caz dat), fie pe modele fizice construite pentru un obiectiv concret (cu dezavantajele evidente legate de: asigurarea similitudinilor cu prototipul, dimensiunile reduse la vecinătatea uvrajului, timpul limitat disponibil pentru experiențe, costul de construcție și operare etc.). În general, aceste relații au la bază ipoteze simplificatoare, adesea nerealiste (cum ar fi, de exemplu, regim hidraulic uniform, patul albiei în echilibru, material în suspensie neglijabil etc.) și de aceea nu pare surprinzător când diverse astfel de formule, furnizează rezultate diferite pentru date de calcul similare.

Totuși, modelele de simulare numerică apărute în ultimele decenii permit să se obțină unele rezultate cu utilitate practică. Este cunoscut că modificările morfologice interesează la o scară de timp mult mai mare (în raport cu scara procesului de curgere) și au o variabilitate mai redusă în spațiu și în timp. În

simularea numerică se pot utiliza diverse formule semiempirice, care se pot calibra cu ajutorul măsurărilor, iar rezultatele obținute se pot analiza comparativ. Toate acestea permit să se formeze o imagine relativ precisă atât asupra aspectelor calitative, cât și a unor elemente cantitative referitoare la o problemă de studiu dată.

Evaluarea influenței umane asupra regimului natural de scurgere al apei pe versanți și în cursurile de apă este foarte importantă, având în vedere că în prezent au loc transformări rapide ale mediului înconjurător pe spații întinse, prin: amenajarea complexă a bazinelor hidrografice, dezvoltarea fondului forestier, extinderea culturilor agricole pe terenuri practic nefolosite, extinderea perimetrelor desecate și irigate la scară industrială, chimizarea agriculturii, înmulțirea și extinderea platformelor industriale, ritmul rapid de urbanizare a localităților etc. Activitățile antropice au ajuns încă de pe acum să aibă o pondere egală cu aceea a fenomenelor naturale, în ceea ce privește influențarea mediului înconjurător pe anumite zone [Șerban, 1995].

### 1.5 Studii realizate privind cauzele și evoluția fenomenelor legate de scurgerile solide în lume și în România

#### *Starea solurilor și a eroziunilor în lume*

Scurgerile solide (eroziunea solurilor) reprezintă un fenomen natural, parte a proceselor geologice și a schimbărilor climatice. Ele s-au accentuat în ultimele decenii, odată cu creșterea populației globului și a nevoilor acestuia de hrană, fiind nevoie de suprafețe mai întinse de teren agricol și de practicarea unei agriculturi și zootehnii intensive. La ora actuală sunt afectate de eroziuni moderate și excesive peste 2000 milioane hectare de teren, peste 55 % din acestea revenind eroziunii hidrice și aproape 33 % eroziunii eoliene. Anual sunt pierdute datorită diferitelor tipuri de eroziuni cca. 5 – 7 milioane hectare de teren, iar cca. 25 000 milioane tone de sol se pierd datorită spălării solului de scurgerea de suprafață. Degradarea solurilor expune riscului posibilitățile de trai a cca. 1000 milioane de oameni.

Factorii cauzali ai eroziunilor în lume, pe continente, sunt prezentate în tabelul 1.1 [[www.seafriends.org.net](http://www.seafriends.org.net), 2004]. Se poate observa că în Europa, Asia și America de Sud cauza principală a eroziunilor o reprezintă defrișările, în America de Nord și Centrală agricultura, iar în Africa și Oceania pășunatul intensiv. Se observă de asemenea că industrializarea reprezintă un factor cauzal al eroziunilor numai în Europa, iar mineritul are o influență relativ mică asupra proceselor erozionale.

Tabelul 1.1

Cauzele degradării solului (%)					
Aria	defrișări	exploatări miniere	pășunat intensiv	agricultura	industrializarea
Europa	38	-	23	29	9
Africa	14	13	49	24	-
America de Nord	4	-	30	66	-
America Centrală	22	18	15	45	-
America de Sud	41	5	28	26	-
Asia	40	6	26	27	-
Oceania	12	-	80	8	-
<b>Media</b>	<b>30</b>	<b>7</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>1</b>

Sursă: World Resources Institute, 1990. & L R Oldeman et al, Wageningen, Holland, 1990

Cauzele dezastrelor în lume în perioada 1965 – 1998 sunt prezentate în figura 1.3 [[www.seafriends.org.net](http://www.seafriends.org.net), 2004]. Ponderea cea mai mare o au inundațiile, aproape 50 %, aici intervenind și procesele de eroziune asociate (alunecările de teren, torenții noroioși, depunerile de sedimente).

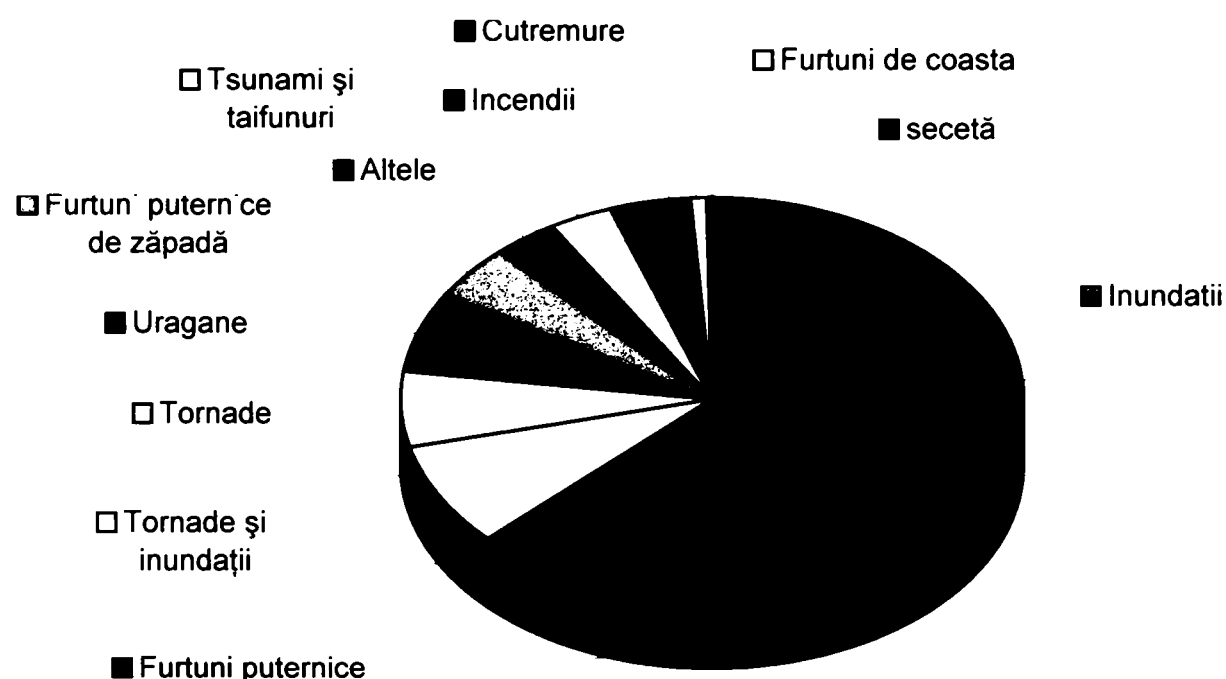


Fig.1.3 Cauzele dezastrelor în lume în perioada 1965 – 1998

Repartiția procentuală medie a tipurilor de eroziune și degradare a solurilor lumii este prezentată în figura 1.4, repartiția acestora pe continente în figura 1.5, iar starea degradării solurilor în lume în figura 1.6 [[www.livinglandscapes.bc.ca](http://www.livinglandscapes.bc.ca), 1996; [www.fao.org](http://www.fao.org), 2006].

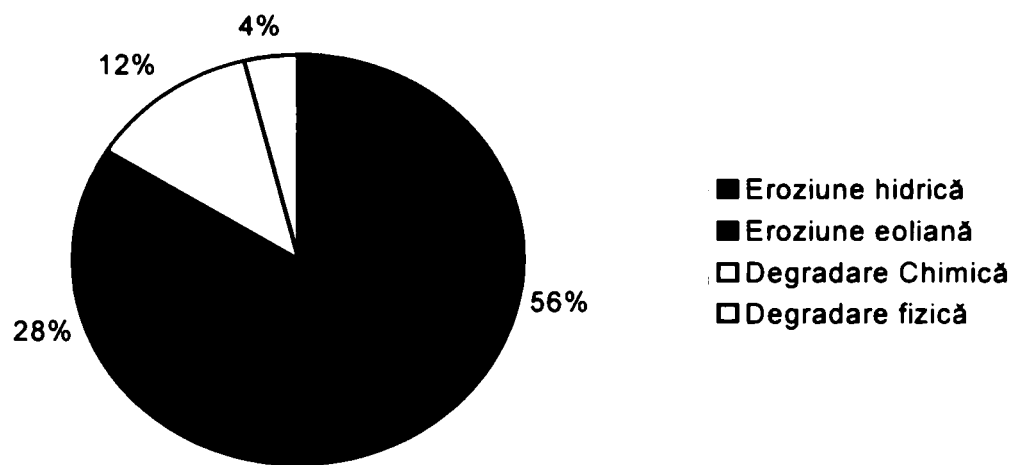


Fig.1.4 Repartiția procentuală a tipurilor de eroziune și degradare a solurilor lumii

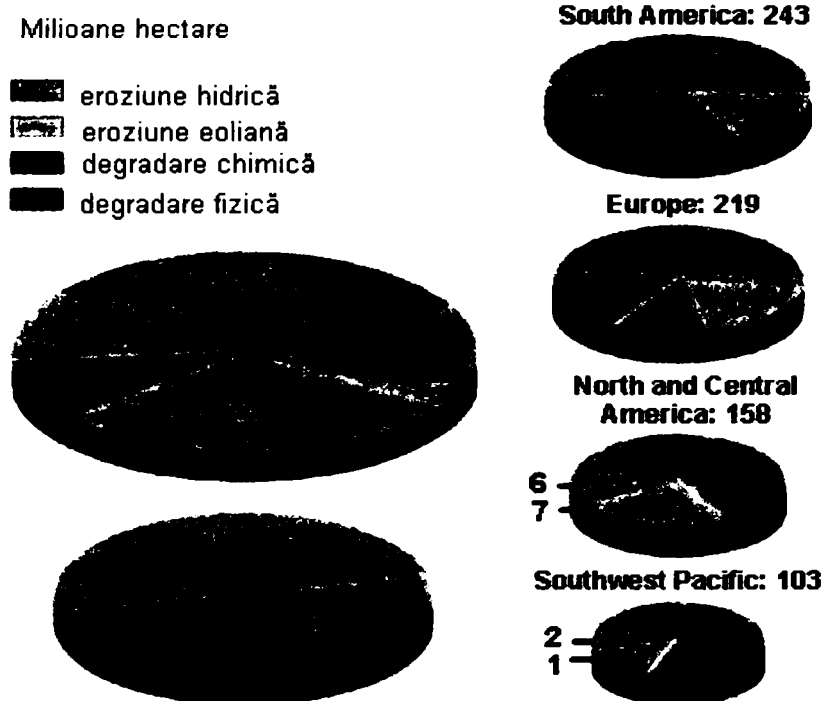


Fig.1.5 Repartiția procentuală a tipurilor de eroziune și degradare a solurilor pe continente

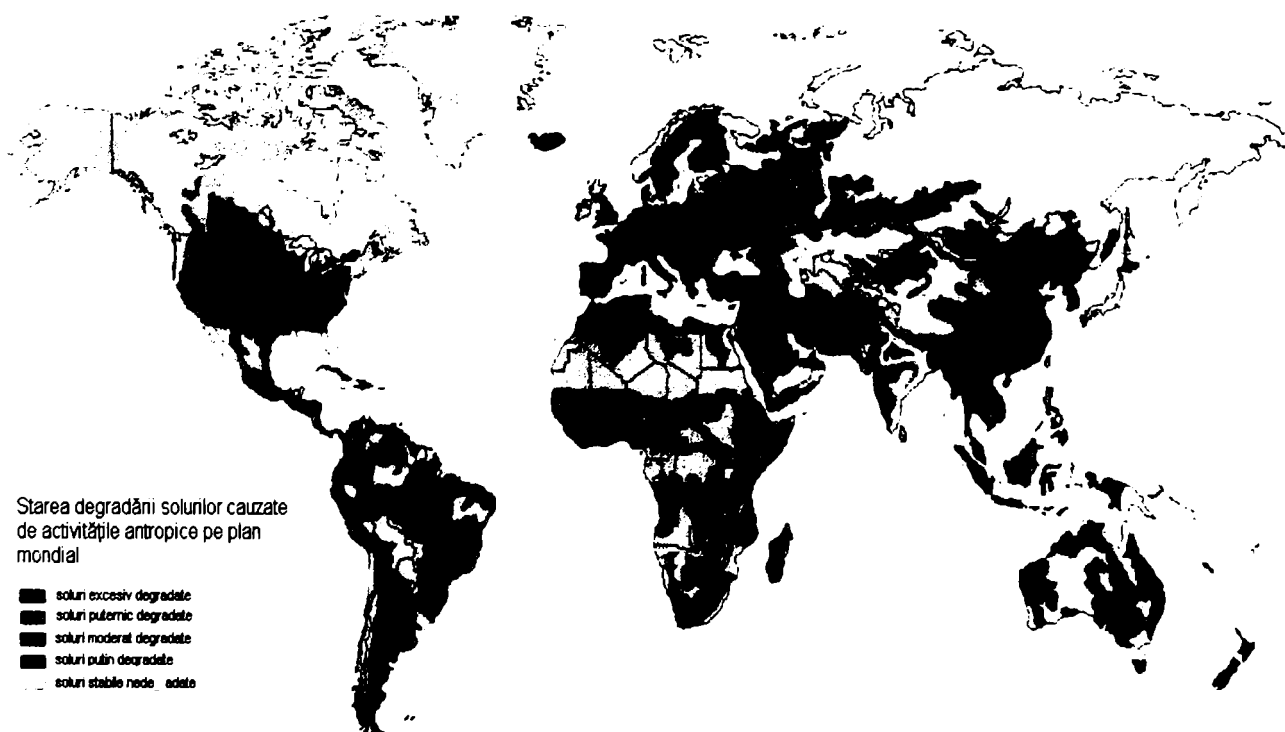


Fig. 1.6 Starea degradării solurilor în lume

Evoluția proceselor de eroziune în diferite regiuni ale lumii [Popovici, 1991; [www.fao.org](http://www.fao.org), 2006]

Africa este un continent care a suferit și suferă încă foarte mult de eroziune. Aici se găsesc toate formele de eroziune, favorizate și de degradarea climatului. În unele zone, eroziunea datorată apei și vântului se manifestă relativ recent datorită arderii pădurilor virgine pentru culturile intensive indigene, dar mai ales pentru culturile de tip industrial europene, amplasate pe pante foarte accentuate. Ca urmare, majoritatea acumulărilor sunt colmatate parțial, colmatare care se produce într-un ritm destul de mare. În Madagascar nouă zecimi din terenuri sunt actualmente inutilizabile, datorită eroziunii provocate de despăduririle masive.

În Statele Unite ale Americii consecințele eroziunii se datorează mai ales operației pionierilor (primii emigranți), care au exploatat irațional bogatele terenuri ale indienilor. Marile inundații provocate de fluviul Mississippi din anul 1927 s-au datorat și exploatării necorespunzătoare a bazinului de recepție și eroziunii solului. Până nu demult, în SUA se pierdeau zilnic cca 112 ha teren datorită eroziunii solului.

În America Latină, fenomenele de eroziune au atins o asemenea amploare încât creează grave probleme sociale și economice.

În China, în anul 1939, eroziunea afecta 160 milioane ha. În India, datorită defrișărilor pădurilor pe suprafețe mari în vederea extinderii terenurilor agricole, pășunatului excesiv și incendiilor de păduri, eroziunea solului se manifestă pe cca 140 milioane ha.

În Australia și Noua Zeelandă eroziunea solului se datorează mai ales practicării unui pășunat nerațional.

Europa este continentul afectat cel mai puternic de eroziune, dar datorită climatului său temperat umed și modului rațional de practicare a agriculturii, în ultimii ani s-a reușit menținerea sub control a proceselor erozionale. În Grecia sunt afectate de eroziune cca 40 % din suprafețele terenurilor cultivate, în Bulgaria 47,5 %, în Cehia și Slovacia 37 %, iar în Polonia 20 %.

În ultimul secol suprafața terenurilor cultivate de pe glob a scăzut cu 20 milioane km<sup>2</sup> din cauza eroziunii, aceasta reprezintă 15 % din suprafața sa totală și 24 % din cea a terenurilor utilizabile.

### *Starea solurilor și a eroziunilor în România*

**Repartiția solurilor României pe categorii de folosințe.** Din tabelul 1.2 se remarcă faptul ca ponderea principală o dețin terenurile agricole (62%), urmate de

păduri și alte terenuri cu vegetație forestieră (28%). Alte terenuri ocupă 10% din suprafața țării (ape, bălți, curți, construcții, căi de comunicație, terenuri neproductive) [www.enrin.grida.ro, 2000].

Tabelul 1.2

Tipul de folosință	Suprafața	
	ha	%
Terenuri arabile și culturi permanente	9905688	41
Pajiști (pășuni și fânețe)	4926160	21
Păduri și alte terenuri cu vegetație forestieră	6666502	28
Alte terenuri	2340721	10
<b>Total</b>	<b>23839071</b>	<b>100</b>

Date furnizate de MAAP

**Schimbări survenite în utilizarea terenurilor în ultimii 20 ani.** Din datele prezentate în tabelul 1.3 se constată modificările intervenite în structura folosințelor în perioada 1980-2000. Astfel, suprafața terenurilor arabile și a culturilor permanente a scăzut cu 6% față de anul 1975, în timp ce suprafața pajiștilor a crescut cu 10% comparativ cu același an. Aceasta creștere s-a produs în special prin neluarea în cultură a unor terenuri arabile după anul 1990. A crescut cu 4% suprafața ocupată de curți, construcții etc. Suprafața pădurilor a crescut cu 1% prin luarea în evidență a unor terenuri ocupate cu vegetație forestieră (pășuni împădurite, lunci inundabile etc). Practic însă suprafața pădurilor încheiate, care fac parte din fondul forestier amenajat, a scăzut, ca urmare a tăierilor abuzive efectuate după anul 1990. Ca urmare a creșterii indicelui demografic, în ultimii 65 ani suprafața arabilă pe locuitor a scăzut de la 0,707 ha (în anul 1930) la 0,42 ha în anul 1999, practic resursele în cadrul acestei folosințe fiind epuizate.

Tabelul 1.3

Tipul de folosință	Anul			
	1980	1985	1990	2000
Terenuri arabile și culturi permanente	100	101	95	94
Pajiști (pășuni și fânețe)	100	99	106	110
Păduri și alte terenuri cu vegetație forestieră	100	100	102	101
Alte terenuri	98	96	105	104

După datele Anuarelor statistice ale României -1975-1991 și MAAP -2000

Unul din factorii cu efect negativ asupra performanțelor din agricultură îl reprezintă fărâmițarea proprietății în zeci de milioane de parcele. După structura proprietății se remarcă ponderea ridicată a domeniului privat particular (10.548.726 ha, din care 7.700.359 ha arabil), aparținând în majoritate gospodăriilor individuale și asociațiilor simple (9.157.596 ha, din care 6.301.176 ha arabil), iar restul unor societăți comerciale și obștești. Forța de muncă din agricultură constituie 37,9%

6 h 8. 343  
mbe E

(3.350.000 persoane) din totalul pe țară (8.818.000 persoane). În același timp, deși populația rurală a României prezintă o pondere de 45,1%, doar 34,5% se întreține numai din veniturile agricole (7,8 milioane persoane față de 7,5 milioane total în UE), iar calificarea forței de muncă este scăzută și suferă un proces continuu de îmbătrânire. Pe de altă parte, veniturile obținute în agricultură sunt diminuate considerabil de "foarfecele prețurilor" (raportul între indicii prețurilor produselor agricole și indicii prețurilor produselor industriale).

**Repartiția terenurilor pe clase de pretabilitate** se caracterizează prin ponderea variabilă a acestora (tabelul 1.4). Astfel, fără aplicarea de măsuri ameliorative, în clasa I (pretabilitate foarte bună) se încadrează numai 2,8% din terenurile agricole, circa 3,8% fiind terenuri arabile. În clasa a II-a, cu restricții mici, se încadrează 24,7% din terenurile agricole și 35,9% din cele arabile; în clasa a III-a, cu restricții mijlocii, intră 20,8% din solurile agricole și respectiv 25,3% din cele arabile, în timp ce în clasele a IV-a și a V-a, cu restricții mari și foarte mari se încadrează 51,7% din terenurile agricole, și respectiv, 35% din cele arabile. Practic, numai circa 4 milioane ha teren agricol, din care 3,8 milioane ha arabil întrunesc condițiile minime pentru dezvoltarea unei agriculturi competitive.

Tabelul 1.4

Pretabilitatea		Agricol							
Clasa	Semnificația	Total		din care:					
				Arabil		Pășuni și fânețe		Vii și livezi	
		[ha]	[%]	ha	%	ha	%	ha	%
I	Foarte bună	410.282	2,8	354.880	3,8	53.723	1,1	1.679	0,3
II	Bună	3.655.557	24,6	3.352.683	35,8	220.061	4,5	82.813	15,7
III	Mijlocie	3.082.603	20,8	2.364.014	25,2	596.608	12,1	121.981	23,2
IV	Slabă	3.628.627	24,5	1.737.856	18,5	1.767.352	35,8	123.419	23,4
V	Foarte slabă	4.054.779	27,3	1.569.898	16,7	22.88.416	46,5	196.465	37,4
<b>TOTAL</b>		<b>14.831.848</b>	<b>100</b>	<b>9.379.331</b>	<b>100,0</b>	<b>4.926.160</b>	<b>100,0</b>	<b>526.357</b>	<b>100,0</b>

Date furnizate de MAAP

**Principalele restricții ale calității solurilor.** Din inventarierea executată de către I.C.P.A. în colaborare cu 37 Oficii de Studii Pedologice și Agrochimice, pentru 41 județe, și cu alte unități de cercetare, pe circa 12 milioane ha de terenuri agricole, din care pe aproximativ 7,5 milioane ha de teren arabil (circa 80% din suprafața arabilă), calitatea solului este afectată într-o măsură mai mică sau mai mare de una sau mai multe restricții. Influențele dăunătoare ale acestora se reflectă în deteriorarea caracteristicilor și funcțiilor solurilor, respectiv în capacitatea lor bioproductivă, dar, ceea ce este și mai grav, în afectarea calității produselor agricole și a securității alimentare, cu urmări serioase asupra calității vieții omului. Aceste restricții sunt determinate fie de factori naturali (clima, forme de relief, caracteristici



edafice etc), fie de acțiuni antropice agricole și industriale; în multe cazuri factorii menționați pot acționa sinergic în sens negativ, având ca efect scăderea calității solurilor și chiar anularea funcțiilor acestora. Principalele restricții ale calității solurilor agricole sunt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5

Denumirea factorului	Suprafata afectată <sup>1</sup> , mii ha	
	total	arabil
Seceta <sup>2</sup>	7100	-
din care amenajări pentru irigații	3211	-
Exces periodic de umiditate în sol <sup>2</sup> ,	3781	-
din care cu amenajări de desecare-drenaj	3196	-
Eroziunea solului prin apă <sup>2</sup>	6300	2100
din care cu amenajări antierozionale	2274	-
Alunecări de teren	702	-
Eroziunea solului prin vânt	378	273
Schelet excesiv de la suprafața solului	300	52
Sărăturarea solului,	614	-
din care cu alcalinitate ridicată	223	135
Compactarea solului datorită lucrărilor necorespunzătoare "talpa plugului"	6500	6500
Compactarea primară a solului	2060	2060
Formarea crustei	2300	2300
Rezerva mică-extrem de mică de humus în sol	7485	4525
Aciditate puternică și moderată	3424	1867
Asigurarea slabă și foarte slabă cu fosfor mobil	6330	3401
Asigurarea slabă și foarte slabă cu potasiu mobil	787	312
Asigurarea slabă cu azot	5110	3061
Carențe de microelemente (zinc)	1500	1500
Poluarea chimică a solului din care:	900	-
excesiv poluate	200	-
poluarea cu petrol și apă sărată	50	-
poluarea cu substanțe purtate de vânt	147	-
Distrușgerea solului prin diverse excavări	15	-
Acoperirea terenului cu deșeuri și reziduuri solide	18	-

<sup>1</sup>Aceeași suprafață poate fi afectată de unul sau mai mulți factori restrictivi.

<sup>2</sup>Amenajările menționate sunt în cea mai mare parte nefuncționale, datorită neîntreținerii lor și lipsei fondurilor financiare.

După cum se observă din tabelul de mai sus, eroziunea hidrică este prezentă pe 6,3 milioane ha, din care 2,3 milioane amenajate cu lucrări antierozionale, în prezent degradate puternic în cea mai mare parte; aceasta împreună cu alunecările de teren (circa 0,7 milioane ha) provoacă pierderi de sol de până la 41,5 t/ha.an. De pe întreaga suprafață agricolă se pierde anual cca.  $150 \cdot 10^6$  t sol, conținând cca.  $1,5 \cdot 10^6$  t humus și  $0,45 \cdot 10^6$  t N, P, K. Daunele economice directe asupra producției agricole datorate restricțiilor menționate se estimează prin diminuarea acestora cu circa 20% pe an.

Eroziunea totală (tone/ha.an) și zonele cele mai puternic afectate de diferite tipuri de eroziune din România sunt prezentate în figurile 1.7 (după M. Motoc, 1983) și 1.8 [[www.spectral.ro](http://www.spectral.ro), 2002; [www.icpa.ro](http://www.icpa.ro), 2006].

Zonele cele mai afectate de procese de eroziune sunt Podișul Moldovei și zona Carpaților Meridionali, iar cele mai puțin afectate sunt Câmpia de Vest, Delta Dunării și sudul Munteniei (Bărăganul).

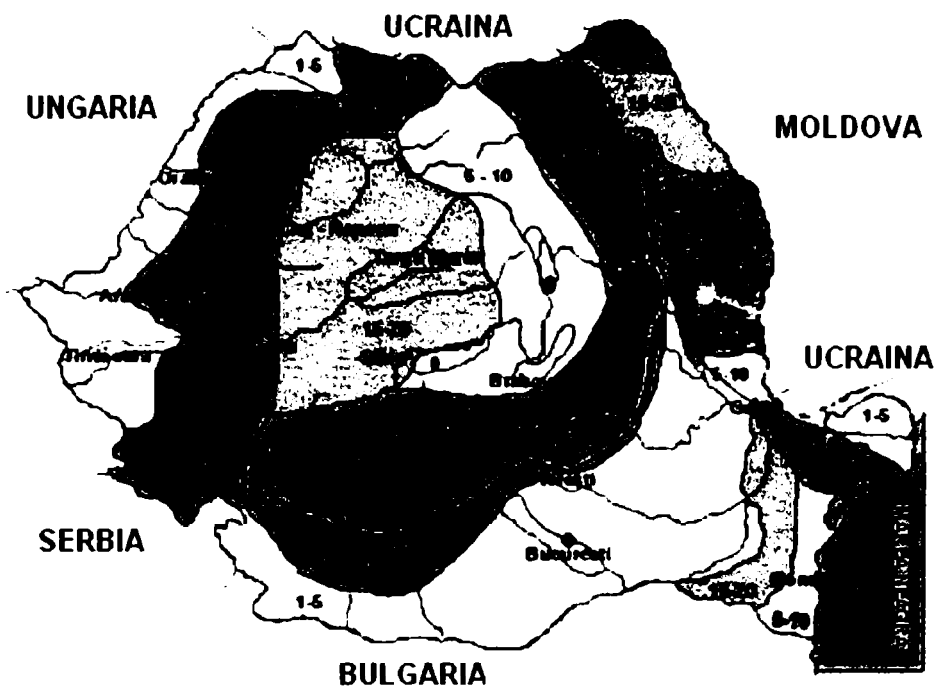


Fig.1.7 Eroziunea totală pe terenurile agricole din România

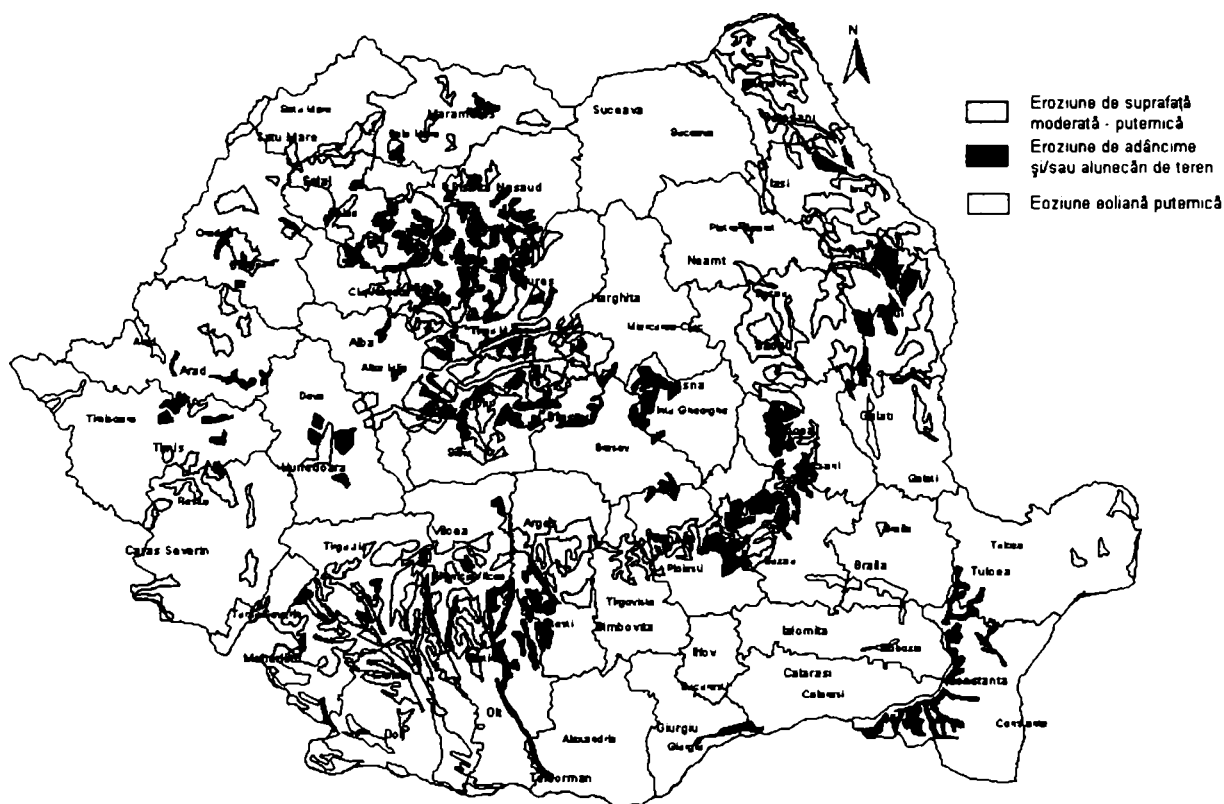


Fig.1.8 Zonele cele mai afectate de eroziune din România

## 1.6 Necesitatea și oportunitatea temei

Din cele prezentate mai sus și datorită sporului demografic al populației globului (ca urmare creșterea nevoilor de hrană și apă), a inundațiilor, care sunt din

ce în ce mai dese și afectează tot mai multe regiuni ale lumii, provocând tot mai multe pagube materiale și pierderi de vieți omenești (inundațiile se datorează atât schimbărilor climatice, cât și folosirii neraționale a terenurilor, a exploatării necorespunzătoare a lucrărilor hidrotehnice și despăduririlor masive) se desprinde necesitatea studierii mai aprofundate a fenomenelor de eroziune și a cauzelor acestora, a măsurilor de reducere a efectelor eroziunii. Problemele care trebuie rezolvate se referă la:

- controlul eroziunii mai ales în zonele cu agresivitate climatică mare și pericol de eroziune
- controlul eroziunii și a altor procese de degradare pe versanții care urmează a fi amenajați pentru plantații de viță de vie și pomi și pe terenurile arabile în pantă ce urmează a fi irigate
- amenajarea rețelei hidrografice torențializate și reprofilarea văilor mici
- folosirea rațională a terenurilor în pantă
- aducerea în circuitul agricol al terenurilor degradate și refacerea fertilității acestora
- eliminarea excesului de umiditate de pe versanți și de pe luncile înguste
- limitarea alunecărilor de teren, amenajarea și valorificarea diferențiată a celor afectate de alunecări active
- protecția lacurilor de acumulare împotriva colmatării
- înfrumusețarea peisajului în zonele cu focare mari de eroziune.

Necesitatea și oportunitatea studierii și prognozei fenomenelor legate de scurgerile solide se desprinde și din concluziile Conferinței Internaționale „Solurile și schimbarea globală – provocarea secolului 21”, Constanța, 3 – 6 septembrie 2002 [*Conferința Internațională „Solurile și schimbarea globală – provocarea secolului 21”, Constanța, 2002*]:

- E necesară reorganizarea folosirii terenurilor afectate de eroziune, prin reîmpădurirea lor, redarea lor cadrului natural sau reîmlăștinirea lor, dacă starea lor inițială a fost cea de zonă umedă, dar fără a afecta terenurile agricole de calitate bună. Această măsură e mai greu de aplicat în țările subdezvoltate sau în curs de dezvoltare, datorită dificultăților financiare și densității mari a populației în zonele rurale. De aceea, renunțarea la suprafețe

însemnate de teren agricol afectat de eroziune în țările respective trebuie făcută cu ajutorul unui cadru legislativ adecvat.

- Folosițele terenurilor trebuie astfel alese, încât să se mențină sau să se îmbunătățească calitatea acestora. Acest lucru se poate realiza prin folosirea de îngrășăminte chimice sau minerale adecvate, care nu produc o poluare excesivă a solului și a apei subterane, sau prin folosirea îngrășămintelor naturale. Măsurile de protecție a culturilor (chimice sau non-chimice) trebuie efectuate în așa fel încât să nu producă poluarea solurilor.
- E necesară dezvoltarea unor noi practici de combatere a eroziunii solurilor în țările slab dezvoltate din diferite regiuni ale lumii. Realizarea oricărui proiect social – economic în zonele afectate de secetă, inundații sau eroziuni accentuate, trebuie să fie precedată de o analiză detaliată a costurilor, a profitului așteptat, a condițiilor climatice, a corelațiilor dintre problemele ecologice și de protecție a mediului, a riscului producerii de fenomene periculoase.
- Participanții la conferință consideră că problemele legate de protecția și degradarea terenurilor trebuie să fie incluse în strategia Uniunii Europene. Rezolvarea acestor probleme impune colaborarea dintre toate țările membre sau nu ale Uniunii Europene. Diferențele dintre condițiile naturale și sociale între diferite zone ale Globului au o importanță mare în dezvoltarea și implementarea măsurilor de reducere a efectelor scurgerilor solide.
- Se subliniază caracterul multidisciplinar al cercetărilor în domeniul protecției și degradării terenurilor. Solul, clima, vegetația, relieful și managementul terenurilor agricole și forestiere contribuie toate la procesele de degradare a terenurilor, din acest motiv fiind necesară o cooperare între specialiștii din aceste domenii ale științei. E necesar pe viitor dezvoltarea unor noi tehnici bazate pe sisteme de calcul automat, pe implementarea sistemelor geoinformaționale (GIS), a modelelor de simulare și realizarea de sisteme decizionale în domeniul protecției terenurilor. Conștientizarea publicului asupra resurselor de sol, calității acestora, riscului lor de degradare, importanței prevenirii, protecției și reabilitării terenurilor. E nevoie de crearea

unui cadru legislativ în fiecare țară pentru protecția terenurilor, care să asigure și suportul tehnic și financiar (inclusiv penalități) pentru reabilitarea terenurilor degradate.

## 1.7 Obiectivele tezei de doctorat

Obiectivele prezentei teze de doctorat sunt:

### 1. Analiza fenomenului „eroziune hidrică”:

- sistematizarea formelor de eroziune produse de apă pe versanții bazinului hidrografic
- analiza metodelor și modelelor de studiu ale scurgerilor solide
- definirea necesității studierii mai aprofundate a cauzelor și efectelor proceselor legate de scurgerile solide
- analizarea formării, structurii și proprietăților aluviunilor
- sistematizarea forțelor care determină antrenarea și transportul aluviunilor de către curenții de apă (scurgerea de suprafață și scurgerea în albi)
- studiul mișcării particulelor aluvionare în funcție de natura materialului lor.

### 2. Analiza fenomenului de eroziune pe versanții bazinului hidrografic:

- selectarea, sistematizarea și analizarea modelelor matematice ale scurgerii lichide pe versanți, cu domeniile lor de aplicabilitate pentru studiul proceselor legate de scurgerile solide
- analizarea evoluției modelelor de calcul a pierderilor de sol prin eroziunea hidrică de pe versanții bazinului hidrografic, cu observații referitoare la modul de dezvoltare a lor
- gruparea și analizarea modelelor scurgerilor solide pe versanți, pe zone de aplicabilitate (zone montane, de deal, terenuri agricole, bazine hidrografice de diferite mărimi).

### 3. Analiza fenomenului de eroziune în rețeaua hidrografică:

- analizarea modelelor scurgerilor solide și lichide în albiile rețelei hidrografice, în cazurile uni, bi și tridimensional

- sistematizarea și analizarea evoluției formulelor de calcul a debitului solid târât, în suspensie și total.
4. Studierea diferitelor modele de prognoză a proceselor erozionale testate și folosite la ora actuală în lume
5. Analiza efectelor proceselor de eroziune și a impactului lor asupra mediului:
- studierea și sistematizarea efectele scurgerilor solide
  - propunerea unui model de evaluare a impactului scurgerilor solide asupra mediului
  - studiul eficienței soluțiilor constructive și non – constructive de reducere a efectelor negative ale scurgerilor solide asupra spațiului hidrografic.
6. Studiu de caz:
- realizarea unui studiu de caz referitor la evaluarea pierderilor de sol (volumului de sedimente) dintr-un bazin hidrografic, prin aplicarea unor metode de prognoză cunoscute, în diferite ipoteze de producere a ploilor torențiale
  - elaborarea unui procedeu rapid de calcul a pierderilor de sol pe un bazin hidrografic în urma unei ploi torențiale.

## **Capitolul 2**

### **Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale**

#### 2.1 Analiza scurgerii solide

2.1.1 Formarea, structura și proprietățile aluviunilor

2.1.2 Structura aluviunilor

2.1.3 Proprietățile aluviunilor

2.1.4 Antrenarea particulelor solide sub acțiunea unui curent de apă

2.1.4.1 Forțele care acționează asupra particulelor solide în cursurile de apă

2.1.4.2 Antrenarea particulelor izolate

2.1.4.3 Antrenarea particulelor în masă

2.1.4.4 Sedimentarea particulelor aluvionare

#### 2.2 Modelarea scurgerii lichide pe versanții bazinului hidrografic

2.2.1 Modalități de cercetare a scurgerii pe versanți

2.2.2 Modelarea matematică a scurgerii lichide pe versanți

2.2.3 Cuantificarea scurgerii de pe versant

2.2.4 Modelul de tip fiziografic al scurgerii lichide pe versanți

2.2.5 Modelul hidrodinamic complex al scurgerii pe versanți

2.2.6 Modelul bidimensional al scurgerii de suprafață pe versanți permeabili

#### 2.3 Modelarea scurgerii solide pe versanții bazinului hidrografic

2.3.1 Legile de desfășurare a proceselor de eroziune

2.3.2 Calculul pierderilor de sol prin eroziune de suprafață

2.3.3 Modelarea scurgerii solide în bazine hidrografice mari

2.3.4 Modelarea pierderilor de sol prin eroziune în regiunile montane

2.3.5 Estimarea eroziunii totale pe bazine hidrografice mici

2.3.6 Modelarea procesului de eroziune pe versanți bazat pe reprezentarea matematică a proceselor hidrologice și de eroziune fundamentale

2.3.7 Model de eroziune bazat pe modelul undei cinematice

2.3.8 Estimarea eroziunii în adâncime și a altor forme de eroziune

2.3.9 Model pentru simularea curgerilor de noroi

2.3.10 Determinarea cantității totale de sedimente provenite dintr-un bazin hidrografic

2.4 Modelarea scurgerii lichide în rețeaua hidrografică

2.4.1 Modele unidimensionale

2.4.2 Modele bidimensionale

2.4.3 Modele tridimensionale

2.4.4 O altă posibilitate de studiu a scurgerii lichide în bazine hidrografice

2.5 Modelarea scurgerii solide în rețeaua hidrografică

2.5.1 Cazul unidimensional

2.5.2 Cazul bidimensional

2.5.3 Cazul tridimensional

2.5.4 Studiul transportului de sedimente în suspensie pe baza modelului  $k - \epsilon$

2.5.5 Calculul debitului solid târât

2.5.6 Calculul debitului solid în suspensie

2.5.7 Calculul debitului solid total

2.6 Prognoza fenomenelor erozionale

2.6.1 Definirea modelelor de prognoză

2.6.2. Modelul **USLE**

2.6.3. Modelul **CREAMS**

2.6.4. Modelul **PERFECT**

2.6.5. Modelul **EPIC**

2.6.6. Modelul **AGNPS**

2.6.7 Modelul **EUROSEM**

2.6.8 Modelul **WEPP**

2.6.9 Modelul **DUFLOW**

2.6.10 Modelul **PROPRIU**



## 2.1 Analiza scurgerii solide

### 2.1.1 Formarea, structura și proprietățile aluviunilor

Formarea aluviunilor [Giurma et al, 1987; Popovici, 1991] are loc prin procesul care constă în desprinderea și transportul particulelor de la suprafața uscatului de către agenții dinamici externi (precipitațiile, vântul etc.) și din depunerea acestor particule la diferite distanțe de locul de desprindere.

Factorii care influențează dezvoltarea eroziunii sunt: clima (precipitațiile, vântul, temperatura), relieful, solul, vegetația, factorii litologici sau roca de bază și factorii social - economici (factori antropici).

Precipitațiile influențează prin impactul picăturilor de ploaie, care este o acțiune mecanică de izbire între picături și sol. Energia cu care o picătură acționează asupra solului este:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (2.1)$$

unde:  $m$  = masa picăturii de ploaie;  $v$  = viteza picăturii, având efecte distructive cu atât mai mari cu cât gradul de acoperire al solului cu vegetație este mai redus.

O altă relație de calcul a energiei cinetice a ploii este [Di Silvio, 1998]:

$$E = \int_{\text{durata ploii}} \frac{1}{2} v^2 \rho \cdot i \cdot dt \quad (2.2)$$

unde:  $\rho$  – densitatea apei;  $i$  – intensitatea ploii;  $t$  – timpul.

Viteza picăturii de ploaie (cm/s) se determina cu formula lui W. Schmidt [Stanciu, 2002]:

$$v = 10^6 \left( \frac{0.787}{r_p^2} + \frac{503}{\sqrt{r_p}} \right)^{-1} \quad (2.3)$$

unde:  $r_p$  – raza picăturii ploii (cm), care se determină în funcție de intensitatea ploii.

O formulă mai simplă de determinare a energiei cinetice a picăturii de ploaie este cea dată de Wischmeier [Popovici, 1991]:

$$E = 210.3 + 89 \cdot \lg i \quad (2.4)$$

unde  $i$  este intensitatea ploii.

O picătură de ploaie poate dispune în cădere, în momentul impactului, de o energie cinetică de aproape 1000 de ori mai mare decât aceeași cantitate de apă care s-ar scurge la suprafața solului sub forma unei pânze continue.

Prin șocul produs de picăturile de ploaie, structura solului este distrusă, particulele fine de sol sunt dislocate, ridicate în aer și împrăștiate, producând o astupare a porilor la suprafața solului și drept urmare se formează o crustă care contribuie la micșorarea infiltrațiilor și la intensificarea scurgerii lichide și solide. În figura 2.1 se prezintă transportul prin impact a agregatelor de sol în diferite condiții de pantă ale terenului și unghi de cădere a precipitațiilor.

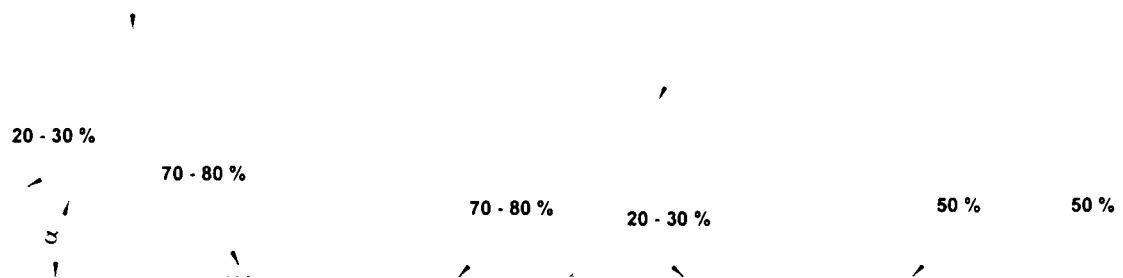


Fig.2.1 Transportul prin impact a agregatelor de sol în diferite condiții de pantă ale terenului și unghi de cădere a precipitațiilor (după Popovici, 1991)

Precipitațiile influențează și prin scurgerea care rezultă din ploi și din topirea bruscă a zăpezilor (manifestată pe versanții cu pante mari și înșoriți). În procesul eroziunii o mare importanță o prezintă ploile repezi, torențiale, deoarece au o mare putere de a disloca și deplasa mici particule de sol, de a forma pânze continue de apă pe terenurile în pantă sau șuvoaie cu mare forță de rupere și transport.

Se estimează că în timpul unei ploi torențiale de 50 mm cu o durată de 20 minute (intensitate de 2,5 mm/min) pe un hectar de teren descoperit (fără vegetație), au fost dislocate datorită picăturilor de ploaie 240 tone de sol. Cantitatea de sol dislocată în timpul unei ploi torențiale se poate determina cu una din următoarele relații [Gerard, 1981; Bâcov, 1978]:

$$G = k \cdot d_p \cdot v^{1.4} \quad (2.5)$$

$$e = k \cdot v^{4.33} d_p^{1.07} i^{0.63} \quad (2.6)$$

$$e = 0.1E - 0.515 \quad (2.7)$$

unde:  $G$  – greutatea solului dislocat;  $k$  – constantă care depinde de tipul de sol;  $d_p$  – diametrul picăturii de ploaie;  $e$  – cantitatea de sol dislocată în t/ha.

Influența vântului depinde de viteza și frecvența acestuia, de structura și textura solului, de gradul de expunere, de gradul de acoperire cu vegetație, de starea de umiditate a terenului, de fenomenul de îngheț și dezgheț etc. Cantitatea de sol pierdută prin eroziunea eoliană (t/ha.an) se poate evalua cu formula lui Chepil – Woodruff:

$$e = A \frac{P}{(n \cdot T)^a} \quad (2.8)$$

unde: A, a – parametri determinați experimental; P – fracțiunea din sol cu diametrul sub 0.84 mm; n – rugozitatea absolută a suprafeței solului; T – cantitatea de resturi vegetale.

Temperatura influențează prin fenomenul de îngheț - dezgheț, în urma căruia se intensifică dezagregarea rocilor, iar când condițiile de umiditate sunt prielnice, influențează prin procesul de alterare.

Relieful este factorul natural cu rol esențial în declanșarea și întreținerea eroziunii, condiționând atât mișcarea apei pe versanți cât și pierderile de sol. Elementele caracteristice ale reliefului (versanților) prin care influențează eroziunea sunt: înălțimea, panta, forma, lungimea și expoziția.

Influența solului se manifestă prin rezistența la eroziune în timpul scurgerilor și prin capacitatea de infiltrație. Rezistența solului la eroziune este determinată în principal de coeziune și permeabilitate, care la rândul lor depind de structură și textură.

Vegetația naturală formată din păduri și ierburi perene oferă o protecție foarte bună a solului, spre deosebire de vegetația cultivată care datorită lucrărilor de mobilizare a solului contribuie la accelerarea eroziunii.

Factorii litologici sau roca de bază au influență directă asupra proceselor de eroziune, prin rezistență sau lipsa de rezistență, determinând într-o mare măsură apariția și dezvoltarea proceselor de degradare a terenurilor și mai ales a eroziunii în adâncime și a deplasărilor de teren.

Factorii social - economici se referă la acțiunile omului asupra terenurilor, care trebuie să asigure folosirea rațională a pământului, să intervină cu acțiuni îndreptate spre conservarea solului pe pante și diminuarea proceselor de eroziune, însă uneori a contribuit direct și la declanșarea degradării terenurilor. Astfel de acțiuni defavorabile sunt: defrișarea masivă a pădurilor în zone în care, pentru protecția solului, a apelor, a climatului și a peisajului, reclamau scutul lor protector; gospodărirea irațională sau abuzivă a fondului funciar, prin aplicarea unei agrotehnici necorespunzătoare pe terenurile în pantă, destelenirea pajiștilor naturale situate pe

pante mari și cultivarea acestora cu plante anuale; pășunatul irațional și în general neacordarea priorității folosinței celei mai potrivite pe astfel de terenuri; amplasarea greșită a drumurilor pe versanți și parcelarea terenurilor din deal în vale (pe linia de cea mai mare pantă). La cele de mai sus se adaugă și lipsa unor măsuri eficiente pentru diminuarea scurgerilor, care au favorizat distrugerea rapidă a solurilor prin eroziune, scăderea accentuată a fertilității sale.

Procesul de eroziune se manifestă atât pe versanții bazinelor hidrografice cât și în rețelele hidrografice aferente bazinelor.

Eroziunea manifestată în rețeaua hidrografică este în funcție de: alimentarea directă prin scurgere de suprafață a acesteia (mărimea debitelor lichide), rezistența terenului în care sunt săpate albiile, concentrația aluviunilor, natura sectoarelor de râu (de munte, deal sau câmpie) care dictează panta etc.

Cele mai mari cantități de aluviuni în râuri se înregistrează în perioada viiturilor datorită creșterii forței de antrenare a curentului lichid, cât și datorită înmuierei pământurilor din maluri.

Aluviunile rezultate în urma erodării malurilor și albiilor nu pot fi separate de aluviunile provenite de pe versanți.

### *2.1.2 Structura aluviunilor*

Ținând seama de poziția pe care o ocupă în mișcare în masa curentului lichid, aluviunile se împart convențional în aluviuni în suspensie, aluviuni în semisuspensie și aluviuni de fund [Crețu, 1980].

Aluviunile în suspensie sunt răspândite neuniform în întreaga masă a curentului, dând apei un aspect de turbureală și culoare pământie.

Cantitatea de aluviuni în suspensie (eventual și în semisuspensie) existente la un moment dat în unitatea de volum de apă poartă numele de turbiditate și se exprimă în g/l, g/m<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>.

Aluviunile în suspensie au formă prismatică cu muchii ascuțite și cele mai mici dimensiuni ale lor sunt de ordinul micronilor.

Aluviunile de fund, târâte sau de contact sunt particule mai mari (nisip, pietriș, bolovani) care se deplasează prin rostogolire și prin salturi a căror frecvență, lungime și înălțime este funcție de dimensiunile lor și de viteza curentului de apă.

Celelalte aluviuni care se deplasează în masa de apă printre aluviunile de fund și cele în suspensie poartă numele de aluviuni în semisuspensie.

### 2.1.3 Proprietățile aluviunilor

Analiza proprietăților aluviunilor trebuie abordată din două puncte de vedere: al caracteristicilor particulelor necoezive izolate și al caracteristicilor depozitelor aluvionare în ansamblul lor [Cioc, 1975; Ichim et al, 1989; Florea et al, 1987].

Materialele aluvionare pot fi: (figura 2.2)

- materiale aluvionare necoezive, constituite din aglomerate solide discrete a căror eroziune și antrenare hidrodinamică depind numai de caracteristicile și proprietățile lor fizice (formă, dimensiune, greutate specifică, poziție relativă ș.a.), așa cum sunt nisipurile, pietrișurile și bolovănișurile; aluviunile necoezive sunt constituite din fragmente de roci și cristale având o compoziție mineralogică diversă funcție de locul de proveniență și de drumul parcurs;
- materiale aluvionare coezive, constituite din particule mult mai mici decât cele necoezive, a căror rezistență la coroziune și antrenare depinde de forțele fizico-mecanice de coeziune; din această categorie fac parte materiale provenind din eroziunea solului cu conținut argilos ridicat, caracterizată printr-o rezistență la eroziune mai ridicată decât materialele necoezive.

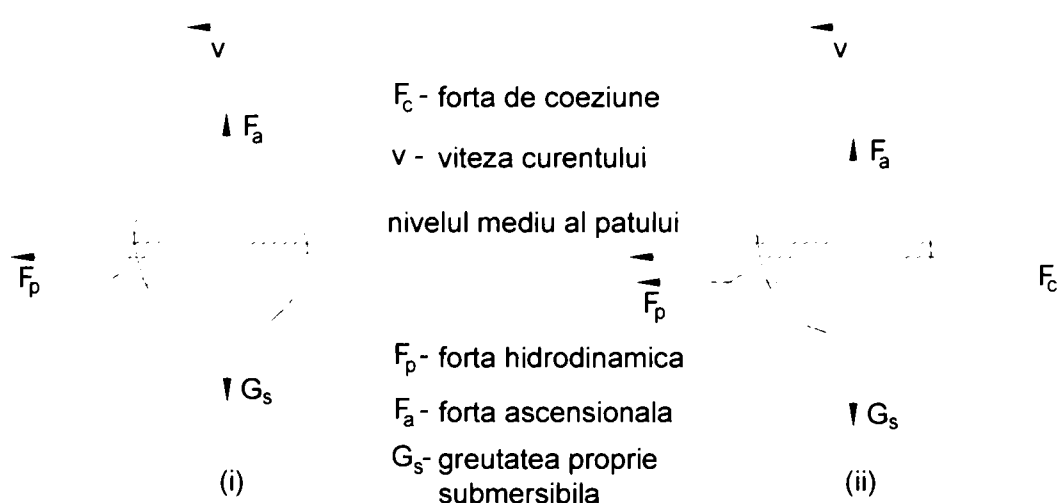


Fig.2.2 Sistemul forțelor care acționează asupra particulelor solide ale patului necoeziv (i) sau coeziv (ii) (după Ichim, 1989)

Proprietățile materialelor aluvionare necoezive sunt:

- greutatea specifică,  $\gamma_1$  (t/mc) cuprinsă între 2,50 și 2,70, valoare rotunjită în calcule la 2,65;

- textura și rugozitatea de suprafață a particulelor determinată de conținutul de componente minerali cu stabilitate redusă la acțiunea distructivă fizico-chimică a apei și aerului;
- intensitatea acțiunilor agenților distructivi dintre care importantă este ciclicitatea fenomenelor de îngheț - dezgheț;
- interacțiunea dintre particulele aluvionare învecinate;
- forma geometrică a particulelor - este descrisă cu ajutorul unor coeficienți de formă definiți pe baza:
  - volumului particulei, sub forma unor coeficienți volumici (constanta de volum K, definită prin raportul dintre volumul mediu real al particulei și cubul diametrului d al unei sfere circumscrise proiecției orizontale a granulei în poziția ei cea mai stabilă în timpul mișcării în curentul fluid)
  - ariei suprafeței particulei, sub forma unor coeficienți de suprafață (sfericitatea  $\phi$ ), definită ca raport al ariei suprafeței exterioare a particulei și aria suprafeței unei sfere de volum egal)
  - axelor de coordonare proprii ale particulelor. În sedimentologia inginerescă, cea mai largă utilizare o are coeficientul axial, propus de Albertson (1954), definit ca

$$S_F = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad (2.9)$$

unde: a este dimensiunea maximă, b este dimensiunea intermediară și c dimensiunea minimă a particulei;

- mărimea particulelor aluvionare necoezive este descrisă cantitativ de următoarele diametre specifice standardizate de American Geophysical Union (1947) și U.S. Inter-Agency Committee on Water Resources (1957):

- diametrul nominal, definit ca diametrul unei sfere având același volum ca și volumul particulei;
- diametrul de sedimentare, definit ca diametrul unei sfere având aceeași greutate specifică ca și cea a particulei aluvionare și care în aceeași masă de lichid și în aceleași condiții are aceeași viteză de sedimentare (mărime hidraulică);
- diametrul de cernere, definit ca diametrul unei sfere egal cu mărimea laturilor ochiurilor pătrate ale sitei de cernere prin care trece întreaga cantitate de material aluvionar prelevat;
- diametrul mediu, definit ca

$$d_{med} = \sqrt{abc} \quad (2.10)$$

unde: a, b și c sunt respectiv dimensiunile maxime, medii și minime ale particulei după axele de coordonate proprii;

- viteza de cădere (mărima hidraulică) definită ca viteza medie finală de sedimentare a particulei care cade liber într-o masă infinită de apă distilată

$$w = \sqrt{\frac{3}{4} \frac{gd(\rho_s - \rho)}{C_R \rho}} \quad (2.11)$$

unde: g - accelerația gravitațională; d - diametrul granulei sferice;  $C_R$  - coeficientul de rezistență la înaintare, dependent de sfericitate și de numărul lui Reynolds;  $\rho_s$  - densitatea particulei solide;  $\rho$  - densitatea apei.

În regimul laminar de mișcare avem formula lui Stokes

$$w = \frac{gd}{18} \frac{\rho_s}{\rho - 1} \quad (2.12)$$

Proprietățile maselor și depozitelor aluvionare:

- greutatea specifică, definită ca greutatea unității de volum a materialului aluvionar în stare uscată;
- dimensiunile particulelor solide din masele și depozitele aluvionare sunt extrem de variate, de la microni la zeci de centimetri. Dintre parametrii statistici caracteristici cu importanță în cercetările de geomorfologie și hidraulice se menționează:
  - cuarțitele  $d_{25\%}$ ,  $d_{50\%}$ ,  $d_{75\%}$
  - percentitele  $d_{16\%}$ ,  $d_{84\%}$
  - mediana  $d_{50\%}$
  - diametrul mediu  $d_m$
  - diametrul efectiv  $d_{10}$
  - coeficientul Hazen  $\left(\frac{d_{60}}{d_{10}}\right)$
- porozitatea materialelor aluvionare, definit ca raportul dintre volumul golurilor și volumul total al probei. Variaza în funcție de compoziția componentilor masei aluvionare, gradul de compactitate, dimensiunile particulelor, gradul de expunere la contactul cu apa;
- unghiul de frecare interioară, depinde de compoziția granulometrică, dimensiunile, forma, poziția relativă a particulelor componente, coeziunea materialului, gradul de compactitate.

Scurgerea solidă pe suprafața versanților și în albie are trei faze: antrenare, transport, sedimentare. În figura 2.3 se prezintă distribuția acestor faze funcție de

viteza apei și de tipul de material de la suprafața solului [www.seafriends.org.net, 2004]:

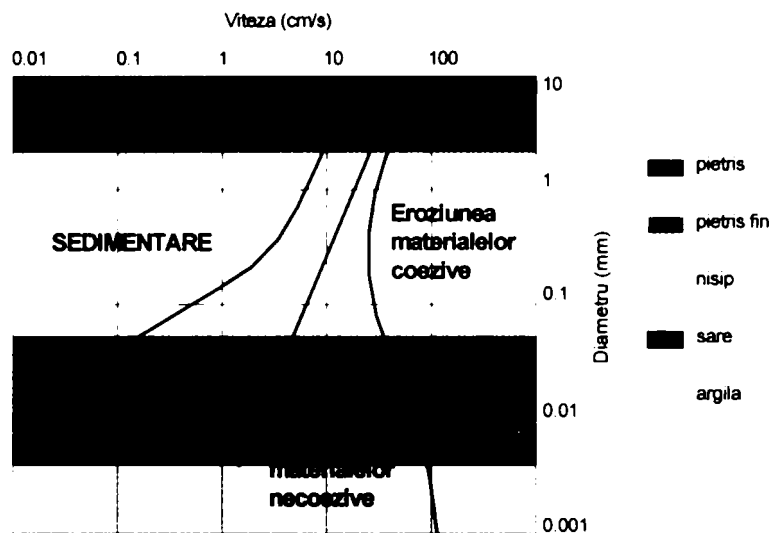


Fig.2.3 Distribuția fazelor scurgerii solide

#### 2.1.4 Antrenarea particulelor solide sub acțiunea unui curent de apă

Analiza, explicarea și exprimarea cantitativ - analitică a condițiilor critice de antrenare hidrodinamică a aluviunilor trebuie să aibă la bază următoarele concepte:

- viteza critică de antrenare, ce consideră impactul curgerii fazei lichide asupra particulelor sau maselor aluvionare;
- efortul tangențial critic de antrenare, care consideră impactul forței hidrodinamice de antrenare a curentului fazei lichide asupra particulelor sau maselor aluvionare;
- forța de ridicare sau portanță, care consideră impactul diferenței de presiune datorat gradientului de viteză a curgerii fazei lichide de antrenare a particulelor sau maselor aluvionare, concepte teoretice care sunt fundamentate pe studiul echilibrului particulelor aluvionare, dezvoltat sub acțiunea forțelor sau momentelor de antrenare / răsturnare - rezistență / stabilitate induse de curgerea fazei lichide.

##### 2.1.4.1 Forțele care acționează asupra particulelor solide în cursurile de apă

- se clasifică în [Florea et al, 1987 ]:

a) Forțe masice - proporționale cu masa granulei:

- forța de greutate  $G = mg = \gamma_s V$ , unde  $m$  - masa și  $V$ - volumul particulei solide de greutate specifică  $\gamma_s$  ;



- forța arhimedică  $F_A$ , reprezintă forța ce se exercită pe verticală, în sens ascendent asupra unei particule,  $F_A = \gamma_f V$ , unde  $\gamma_f$  greutatea specifică a apei;
- greutatea particulei submerse  $G' = G - F_A = (\gamma_s - \gamma_f)V$ ;
- forța de inerție  $F_i$ , este forța care se opune mișcării particulei solide

$$F_i = m \frac{dv_s}{dt} \quad (2.13)$$

unde  $a = \frac{dv_s}{dt}$  este accelerația particulei solide în regim tranzitoriu;

- forța de reținere datorată ciocnirilor particulelor solide între ele  $F_r$ , forță care se opune mișcării particulelor

$$F_r = \xi_v m v_s^2 / 2 \quad (2.14)$$

unde  $\xi_v$  este un coeficient dimensional cu valoni dependente de forma granulei, iar  $v_s$ , viteza inițială a particulei de masă  $m$ ;

- forța centrifugă  $F_c$ , dirijată după normala principală la traiectoria curbilinie a unei particule solide în mișcare

$$F_c = m v_s^2 / R \quad (2.15)$$

unde  $R$  este raza principală de curbura a traiectoriei particulei;

- forța de atracție newtoniană  $F_n$ , care acționează asupra particulei solide datorită acțiunii exercitate din exterior de altă sau alte granule vecine;
- forța de frecare cu peretele albiei  $F_f$ , este forța care se opune mișcării granulei solide

$$F_f = f m v_s^2 / 2 \quad (2.16)$$

unde  $f$  - coeficientul de frecare al particulei de masă  $m$ ;

b) Forțe de suprafață - al căror modul este proporțional cu mărimea particulei:

- forța de presiune dinamică frontală  $F_d$ , factorul motor al mișcării granulei solide într-un curent fluid, este egală cu rezistența la înaintare  $F_R$ ;
- forța de rezistență la înaintare  $F_R$ , este forța care apare pe o particulă solidă în cursul deplasării acesteia și care se opune mișcării acesteia, acționează după direcția tangentei la traiectoria particulei

$$F_R = C_R A \gamma_f v_r^2 / 2g \quad (2.17)$$

unde  $C_R$  coeficientul de rezistență la înaintare,  $\gamma_f$  greutatea specifică a fluidului,  $v_r$  viteza relativă dintre fluid și granulă,  $A$  aria secțiunii particulei solide normale la direcția vectorului viteză;

- forța portantă  $F_p$ , este o forță normală pe verticala vectorului viteză, ce apare datorită mișcării particulei într-un câmp neuniform de viteze. Se determină cu formula Kutta-Jukovski

$$F_p = \rho v_r \oint_C v_r ds \quad (2.18)$$

unde  $\gamma$  este densitatea apei, C este curbă închisă care delimitează conturul particulei, ds elementul de arc;

- forța Magnus  $F_M$ , forța generată de un curent fluid asupra unei particule solide care se rotește în jurul axei sale, se exercită pe direcția normalei la vectorul viteză relativă  $v_r$

$$F_M = 2\pi\rho\omega_c r^2 \omega \quad (2.19)$$

undo  $\omega$  este viteza unghiulară de rotație și r raza sferei ce aproximează particula solidă;

- forța Karman  $F_K$ , este o forță laterală, normală pe direcția vectorului viteză relativă  $v_r$  generată de neuniformitatea repartiției de viteze din aleea vârtejurilor alternante Bernard - Karman, care apar în domeniul de valori ale numărului Reynolds  $40 \dots 10^5$  regimul turbulenței netede,

$$F_K = C_K A \rho v_r^2 / 2 \quad (2.20)$$

unde  $C_k$  este un coeficient numeric cu valori dependente de forma particule solide și de numărul lui Reynolds.

#### 2.1.4.2 Antrenarea particulelor izolate

##### 1. Metode bazate pe viteza critică de antrenare [Ichim et al, 1989]

Se consideră albia unui curs de apă având patul înclinat constituit din particule aluvionare necoezive, care își ating, la un anumit moment, starea critică de antrenare sub acțiunea curgerii fazei lichide. Sistemul forțelor care acționează asupra particulei aluvionare individuale este constituit din (figura 2.4):

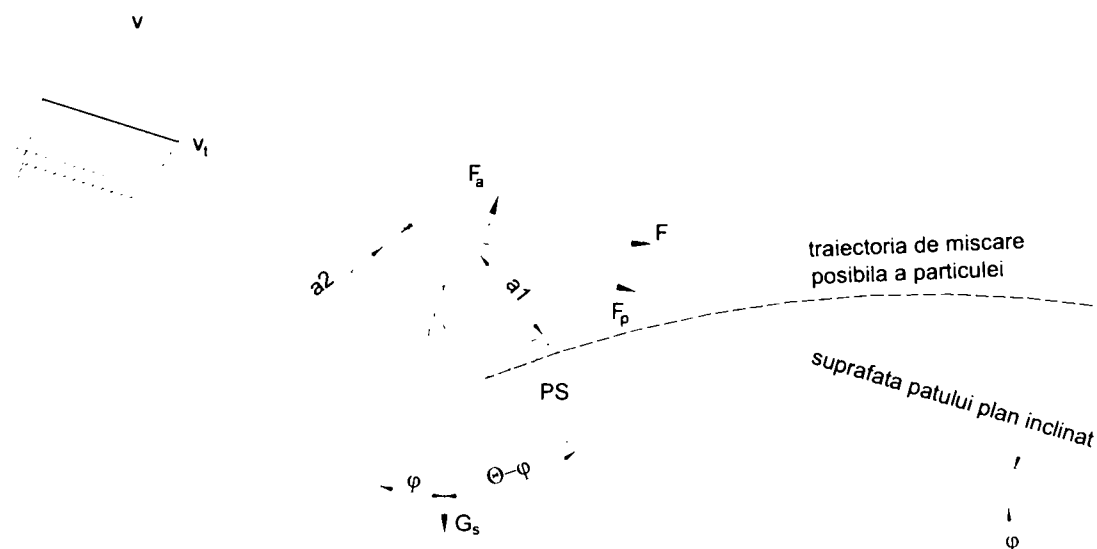


Fig.2.4 Sistemul forțelor care acționează asupra particulelor necoezive izolate de pe suprafața patului albiilor cursului de apă (după Ichim, 1989)

- componenta din lungul curgerii  $F_p$  a forței hidrodinamice totale de antrenare  $F$ , paralelă cu suprafața înclinată a patului

$$F_p = C_p \frac{\rho v_f^2}{2} c_2 d^2 \quad (2.21)$$

- componenta ascensională  $F_a$ , a forței hidrodinamice totale de antrenare  $F$ , normală pe suprafața înclinată a patului

$$F_a = C_a \frac{\rho v_f^2}{2} c_2 d^2 \quad (2.22)$$

- greutatea proprie submersată  $G_s$ , a particulei

$$G_s = c_1 d^3 g (\rho_s - \rho) \quad (2.23)$$

unde  $v_f$  - viteza la fund a curentului fazei lichide;  $C_a$  - coeficientul de rezistență față de forța de antrenare;  $C_p$  - coeficientul de rezistență față de forța de portanță;  $d$  - diametrul caracteristic al particulei;  $c_1, c_2, c_3$  - coeficienți de proporționalitate;  $\rho_s, \rho$  - densitățile fazei lichide și solide;  $A$  - suprafața particulei aluvionare.

Dacă se explicitează starea limită de echilibru instabil al particulei pe baza raportului unitar al forțelor de antrenare și rezistență se obține:

$$\frac{F_p + G_s \sin \phi}{f(G_s \cos \phi - F_a)} \approx 1 \quad (2.24)$$

unde  $f = \tan \theta$  este coeficientul de frecare dintre particula aluvionară și restul patului, iar  $\theta$  unghiul de frecare interioară a materialului aluvionar al patului.

Acestei stări limită de echilibru instabil îi corespunde momentul declanșării mișcării prin rostogolire / alunecare a particulei aluvionare pe suprafața patului, când viteza de fund  $v_f$  atinge valoarea critică  $v_{cr}$ .

Ecuția (2.24) se transcrie:

$$C_p \frac{\rho v_{cr}^2}{2} c_2 d^2 + c_1 d^3 g (\rho_s - \rho) \sin \theta = \tan \theta \left[ c_1 d^3 g (\rho_s - \rho) \cos \theta - C_a \frac{\rho v_{cr}^2}{2} c_3 d^2 \right] \quad (2.25)$$

care, după transformări succesive, permite explicitarea vitezei critice de antrenare  $v_{cr}$  capabile să declanșeze mișcarea prin târâre, rostogolire sau alunecare a particulei sub forma:

$$v_{cr} = \alpha_v \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \quad (2.26)$$

unde coeficientul  $\alpha_v$  constituie un parametru sedimentologic depinzând de proprietățile și caracteristicile celor două faze și de condițiile hidraulice ale curgerii, fiind definit ca

$$\alpha_v = \sqrt{\frac{2c_1(\tan \theta \cos \phi - \sin \phi)}{C_p c_2 + C_a c_3 \tan \theta}} \quad (2.27)$$

În prezent există peste 300 de metode de rezolvare a stării critice de antrenare prin viteza critică de antrenare.

În literatura de specialitate există și metode de determinare a vitezei critice de antrenare, bazate pe unele simplificări:

- metoda BRAHMS (1753), care consideră că asupra particulei acționează doar greutatea proprie submersată  $G$  și forța hidrodinamică de izbire a curentului de fluid  $F_p$ , particula este cubică de diametru  $d$  relativ mare într-un curent de apă de adâncime  $h$ , ajunge la

$$v_{cr} = a\sqrt{gd} \quad (2.28)$$

unde  $a$  - constantă numerică variabilă între 1,5 - 9, stabilită experimental.

Limite: nu intervine adâncimea curentului  $h$ , particula se consideră de formă foarte simplă, în realitate ea este de formă rotunjită, mai mult sau mai puțin regulată.

- metoda VELIKANOV (1929), care consideră că asupra particulei acționează forțele  $G_s$ ,  $F_p$ ,  $F_a$ , particulă de formă oarecare, ajunge la

$$v_{cr} = a_1\sqrt{gd} \quad (2.29)$$

unde

$$a_1 = \sqrt{15 + \frac{6}{d(mm)}} \quad (2.30)$$

Limite: nu apare adâncimea curentului  $h$ , valabilă pentru nisipuri omogene mijlocii și mari cu  $d = 0,1 - 5,0$  mm, aplicabilă când  $Re < 2$ .

- metoda LEVI, consideră un strat omogen de suprafață egală cu unitatea  $S = 1$ , forța frontală se înlocuiește cu efortul tangențial  $\tau$  de frecare dintre curent și strat, consideră forțele  $G_s$ ,  $F_a$ , ajunge la

$$v_{cr} = a_2\sqrt{gd}F\left(\frac{h}{d}\right) \quad (2.31)$$

Limite: apare  $h$ , însă toate relațiile se referă la antrenarea izolată a particulelor.

Concluzii:

$h/d < 10$  viteza critică nu depinde de adâncime

$10 < h/d < 60$  influența adâncimii este moderată

$h/d > 60$  influența adâncimii este pronunțabil.

- metoda GONCEAROV (1954), consideră aceleași forțe ca mai sus, face verificarea stabilității la răsturnare a particulei aflată într-un strat de aluviuni, ajunge la

$$v_{cr} = a_3 \sqrt{gd} F\left(\frac{h}{d}\right) \quad (2.32)$$

## 2. Metode bazate pe efortul tangențial critic de antrenare [Ichim et al, 1989]

Considerând cele prezentate la paragraful precedent, cu observația că forța  $F_p$  de izbire a particulei de către curentul de fluid se poate scrie utilizând  $\tau_0$ , efortul tangențial de antrenare,

$$F_p = A\tau_0 = c_2 d^2 \tau_0 \quad (2.33)$$

Starea limită de echilibru instabil a particulei aluvionare se poate explicita pe baza raportului unitar al momentelor de răsturnare și stabilitate în jurul punctului de sprijin al forțelor  $F_p$  și  $G_s$ , (deci neglijând componenta ascensională  $F_a$  și forțele de contact sau de legătură intergranulară), obținându-se:

$$\frac{M_r}{M_s} = \frac{\beta F_p a_2 \cos \theta}{G_s a_1 \sin(\theta - \phi)} = \frac{\beta c_2 d^2 \tau_0 a_2 \cos \theta}{c_1 d^3 g(\rho_s - \rho) a_1 \sin(\theta - \phi)} \approx 1 \quad (2.34)$$

în care  $\beta$  este un coeficient care ține seama de gradul și intensitatea turbulenței curgerii fazei lichide în jurul particulei aluvionare, de gradul de expunere și de interacțiunea particulelor învecinate, iar  $a_1$ ,  $a_2$ , sunt brațele forțelor de rezistență și de antrenare.

Corespunzător acestei stări limită de echilibru instabil, respectiv al declanșării mișcării particulei, efortului tangențial de antrenare  $\tau_0$  îi corespunde valoarea critică  $\tau_{cr}$ , pentru care ecuația se transcrie sub forma:

$$c_1 d^3 g(\rho_s - \rho) a_1 \sin(\theta - \phi) = \beta c_2 d^2 \tau_{cr} a_2 \cos \theta \quad (2.35)$$

care permite explicitarea efortului tangențial critic de antrenare  $\tau_{cr}$  capabil să declanșeze mișcarea particulei

$$\tau_{cr} = \alpha_t (\rho_s - \rho) g d (tg \theta \cos \phi - \sin \phi) \quad (2.36)$$

în care coeficientul  $\alpha_t$ , constituie un parametru sedimentologic depinzând de curgerea turbulentă a fazei lichide, de poziția, de expunerea și gradul de încheștare intergranulară a particulelor aluvionare, fiind definit de expresia:

$$\alpha_t = \beta \frac{a_1 c_1}{a_2 c_2} \quad (2.37)$$

- relația SCHOKLITSCH (1914) pentru determinarea  $\tau_{cr}$

$$\tau_{cr} = \sqrt{0,201 \gamma (\gamma_s - \gamma) \lambda d^3} \quad (2.38)$$

unde  $\gamma_s$ ,  $\gamma$  greutatea volumetrică ale fazei solide și lichide;  $\lambda$  coeficient de formă al particulelor (relație stabilită pentru condiții experimentale de laborator).

- relația KREY (1925) (valabilă numai pentru aluviuni cu  $d > 0,006$  m)

$$\tau_{cr} = 0,076 (\gamma_s - \gamma) d \quad (2.39)$$

- relația KRAMER (1935)

$$\tau_{cr} = 16,67(\gamma_s - \gamma)d_m / U \quad (2.40)$$

unde  $d_m$ , diametrul mediu al particulelor;  $U = S_b/S_a$  coeficientul de neuniformitate a aluviunilor naturale neomogene;  $S_a$ ,  $S_b$  suprafețele determinate de curba granulometrică și diametrul  $d_{50\%}$

- efortul tangențial critic de antrenare se poate determina și din graficul de mai jos (figura 2.5), determinat de Lane în 1953 [Graf, 1971].

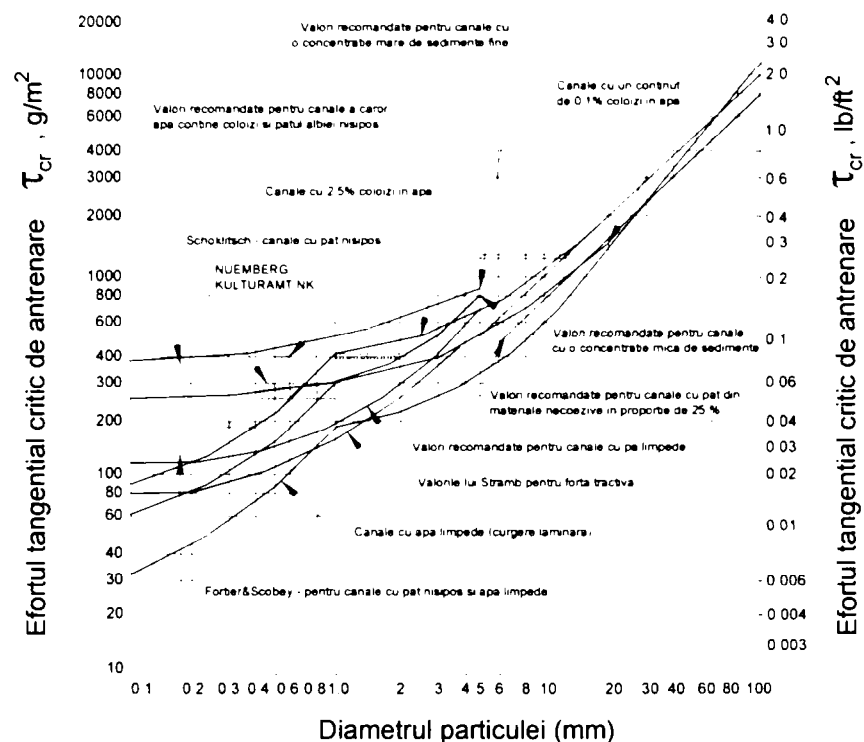


Fig.2.5 Efortul tangențial critic de antrenare funcție de diametrul particulei (după Lane, 1953)

### 2.1.4.3 Antrenarea particulelor în masă

Prin studiul mișcării unei particule izolate se explică doar unele aspecte ale fenomenelor complexe care constituie mișcarea aluviunilor. Cantitatea de materie aluvionară transportată în unitatea de timp se numește debit solid. Nu se iau în considerare două categorii de materii solide transportate de curentul apei: corpurile plutitoare din materie organică și gheața sub diversele ei forme [Mateescu, 1961].

Debitul solid se consideră compus din: debitul târât de fund și cel purtat în suspensie. O demarcație precisă nu există între aceste două tipuri de aluviuni, deoarece la viteze mai mici nu există decât debit de fund, la viteze mari parte din aluviunile de fund trec în suspensie, iar la viteze și turbulență și mai mare, toată masa aluvionară este purtată în suspensie.

Dacă urmărim modificarea albiei când viteza medie a curentului crește peste viteza critică de antrenare, constatăm că albia nu este erodată uniform, părțile

fundului de lângă maluri fiind mult mai puțin erodate decât mijlocul. Pe fundul albiei se formează creste transversale (încrêțituri, dune, ripluri) care au o deplasare proprie foarte lentă. În afară de transportul aluviunilor în sensul curentului principal, mai există mișcări ale aluviunilor datorate curenților secundari (în curbe, unde datorită forței centrifuge nivelul apei de pe malul concav este mai ridicat decât cel de pe malul convex și dă naștere unui curent în secțiunea transversală care coboară pe lângă malul concav pe care-l afuiază, trece la fund și se ridică spre malul convex unde depune o parte din aluviuni).

### 2.1.4.4 Sedimentarea particulelor aluvionare

Viteza medie a curentului la care particulele de aluviuni se depun, numită viteză critică de sedimentare, se exprimă în funcție de mărimea hidraulică a aluviunilor și de caracteristicile geometrice și hidraulice ale curentului cu aluviuni în suspensie (mai ales de viteza apei și de panta terenului / albiei).

După Zamarin [Hâncu et al, 1985], se pot folosi relațiile:

$$v_{\text{sed}} = 12.73 \cdot w \cdot \frac{t^{2/3}}{(R \cdot S_0)^{1/3}} \quad \text{pentru } w \geq 0.002 \text{ m/s}$$
$$v_{\text{sed}} = 0.2 \cdot t^{2/3} \cdot \left( \frac{w}{R \cdot S_0} \right)^{1/3} \quad \text{pentru } w < 0.002 \text{ m/s}$$
(2.41)

unde:  $v_{\text{sed}}$  – viteza de sedimentare (m/s);  $t$  – turbiditatea medie a curentului ( $\text{kg/m}^3$ );  $w$  – mărimea hidraulică a particulei (m/s);  $S_0$  – panta terenului (m/m);  $R$  – raza hidraulică (m).

Chow a determinat pe baza experimentelor, [Chow, 1959], că viteza de sedimentare se plasează între limitele:

$$0.25 < v_{\text{sed}} < 0.9 \text{ m/s}$$
(2.42)

corespunzând particulelor foarte fine și nisipului mai grosier.

## 2.2 Modelarea scurgerii lichide pe versanții bazinului hidrografic

### 2.2.1 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 2.6 [Fleming et al, 1984].

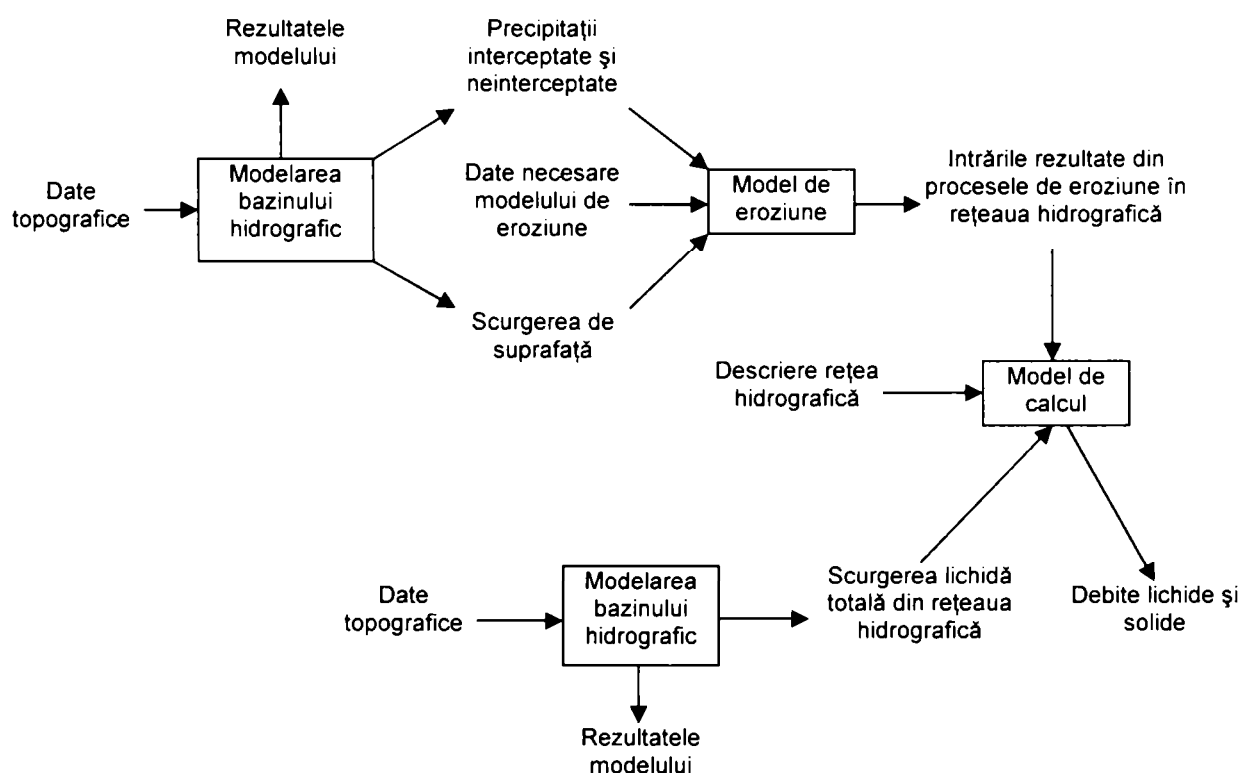


Fig.2.6 Modelul bazinului hidrografic (după Fleming, 1984)

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.

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 2.7 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 2.8 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.

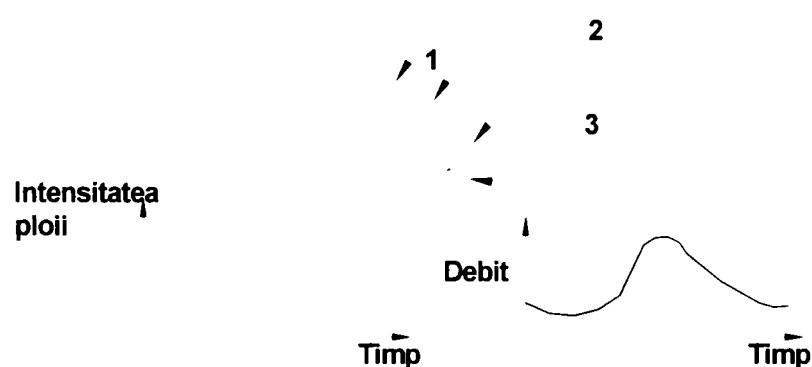


Fig.2.7 Mecanismul transformării ploii în scurgerea dintr-un curs de apă pentru un versant dintr-un bazin hidrografic mic (după Freeze, 1972)

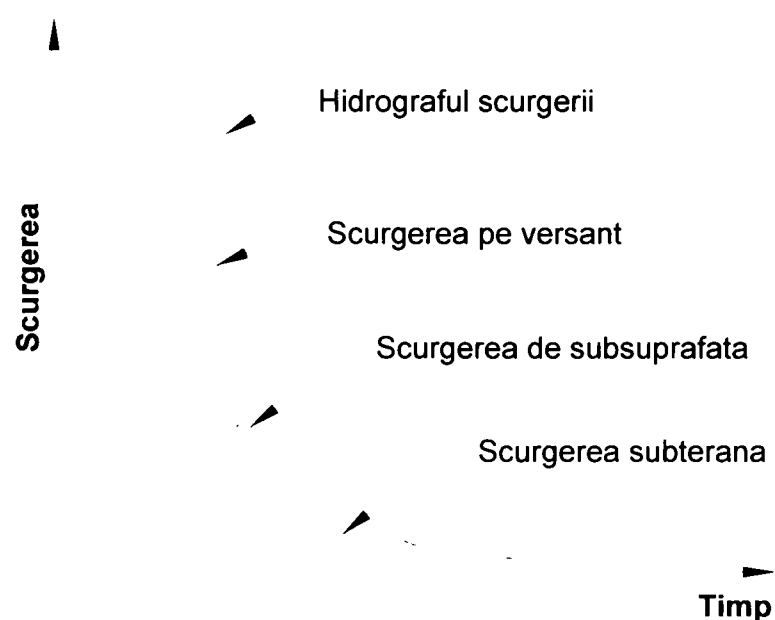


Fig. 2.8 Componentele principale ale scurgerii din râu (după Stanciu, 2002)

Dezvoltarea modelării matematice a procesului de scurgere pe versanți a determinat și dezvoltarea bazei de date referitoare la scurgerea pe versanți. 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.

### 2.2.2 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 2.9)
- modelul de scurgere Wooding (figura 2.10)
- modelul cu secțiunea compusă (figura 2.11)
- modelul cascadă (figura 2.12).

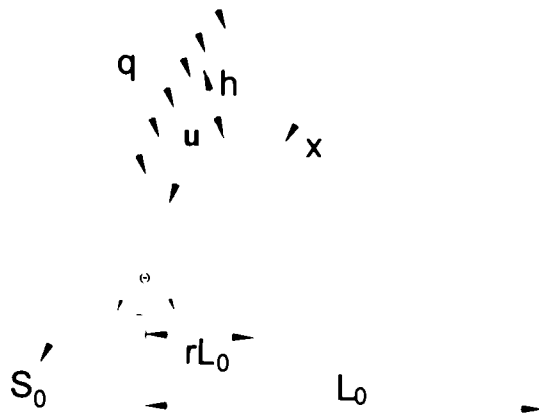


Fig.2.9 Modele de scurgere pe versant convergente (după Stanciu, 2002)

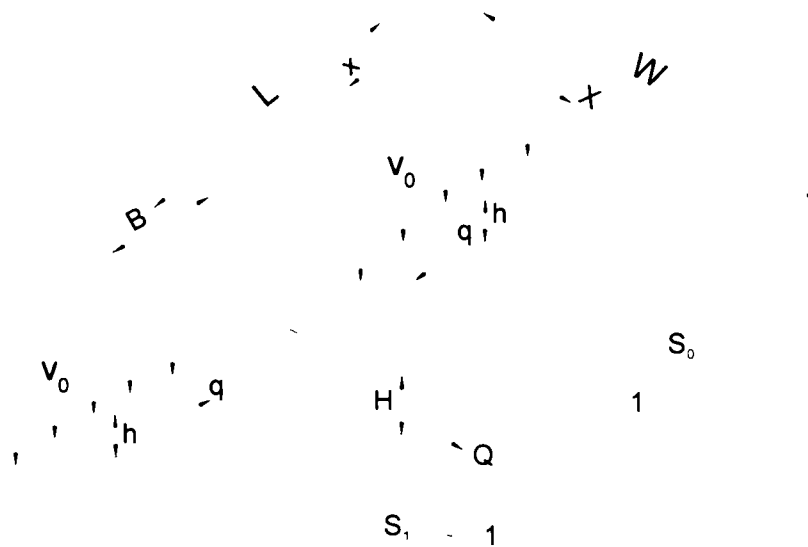


Fig.2.10 Modelul de scurgere Wooding (după Șerban et al, 1989)

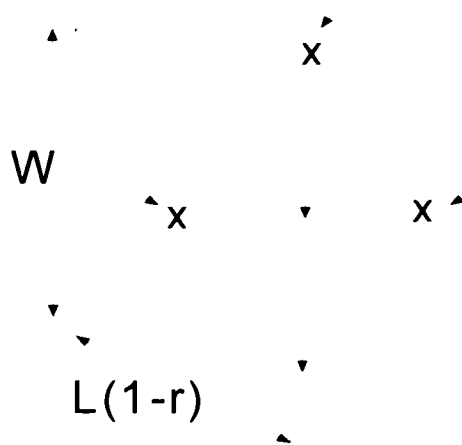


Fig.2.11 Modelul cu secțiunea compusă (după Stanciu, 2002)

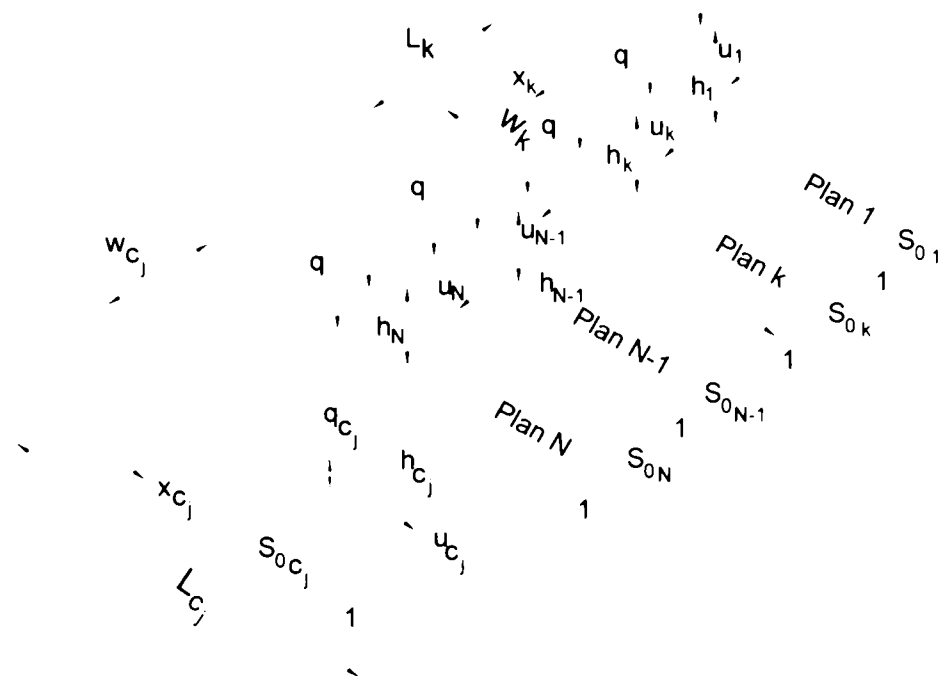


Fig. 2.12 Modelul cascadă (după Stanciu, 2002)

**Semnificația notațiilor:**

$q$  – debitul la baza versantului, pe unitatea de lățime a acestuia;  $h$  – adâncimea apei pe versant;  $u$  – viteza de filtrație;  $S_0$  – panta versantului;  $L_0$  – lungimea versantului;  $r$  – gradul de convergență;  $\theta$  – unghiul interior;  $B$  – lățimea canalului de colectare;  $H$  – adâncimea medie a apei în albie;  $Q$  – debitul în secțiunea de ieșire;  $V_0$  – volumul apei acumulate pe versanți;  $L$  – lungimea versantului;  $S_1$  – panta canalului de colectare;  $W$  – lățimea versantului, respectiv lungimea albiei.

**2.2.3 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; Băcov, 1978]. Una dintre metodele de estimare a lungimii medii a scurgerii de pe versant a fost propusă de Horton (1945):

$$L_v = \frac{1}{2D_d} \tag{2.43}$$

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

$$D_d = \frac{\sum L_r}{F} \tag{2.44}$$

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  $km^2$ ).

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

- pentru suprafețe cu mai multe talveguri:

$$L_v = \frac{1000F}{1,8 \sum L_r} \quad (2.45)$$

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

$$L_v = \frac{500F}{L} \quad (2.46)$$

- pentru suprafețe cu un singur versant:

$$L_v = \frac{1000F}{L} \quad (2.47)$$

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:

$$q = DV \quad (2.48)$$

cu ecuația Manning:

$$V = \frac{1}{n} D^{0,67} S^{0,50} \quad (2.49)$$

unde: q - debitul pe unitatea de lățime ( $m^3/s/m$ ); D - adâncimea medie (m); V - viteza medie (m/s); n - coeficientul de rezistență Manning; S - gradientul pantei (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 (2.48) cu (2.49) se obține:

$$q = \frac{1}{n} S^{0,5} D^{1,67} \quad (2.50)$$

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

$$q = \frac{g \cdot S \cdot D^3}{3\nu} \quad (2.51)$$

unde g este accelerația gravitațională ( $9,81m/s^2$ ), iar  $\nu$  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.

#### Ecuatiile mișcării într-un canal trapezoidal cu aport lateral

Scurgerea directă de pe bazin poate fi modelată matematic considerând conservarea masei și momentului aplicate unui volum de control fixat în spațiul inițial (figura 2.13) [Chow, 1981; Șerban et al, 1989; David, 1990; Stanciu, 2002].

Ecuția de continuitate pentru scurgerea fluidului incompresibil este:

$$\iint_S \vec{V} dA = - \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V dv \quad (2.52)$$

iar ecuația momentului pentru un flux care traversează volumul de control  $V$  finit în spațiul inițial este:

$$\vec{F}_S + \iiint_V \vec{B} \rho dv = \iint_S \vec{V} (\rho \vec{V} dA) + \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \vec{V} (\rho dv) \quad (2.53)$$

unde:  $S$  - suprafața exterioară a volumului de control;  $V$  - volumul de control;  $\vec{V}$  - vectorul vitezei;  $dA$  - elementul de suprafață;  $dv$  - elementul de volum;  $F_s$  - vectorul care reprezintă suma forțelor superficiale care acționează asupra elementului de volum;  $B$  - vectorul care reprezintă suma tuturor forțelor masice;  $\rho$  - densitatea fluidului.

Pentru analiza scurgerii bidimensionale într-un canal prismatic pentru care

volumul particular de control este prezentat în figura 2.13, se consideră următoarele ipoteze:

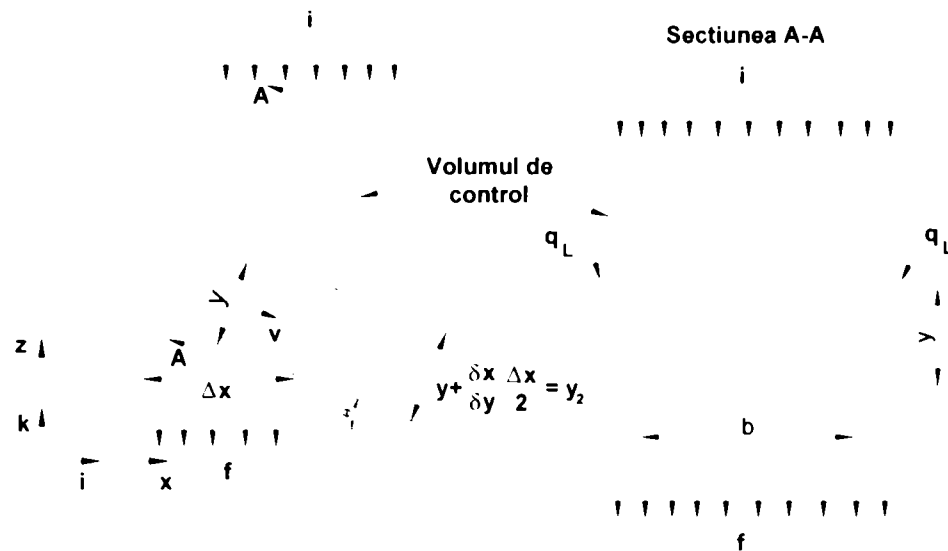


Fig.2.13 Reprezentarea scurgerii de suprafață și a volumului de control (după Stanciu, 2002)

- viteza scurgerii de suprafață este variabilă cu adâncimea;
- vectorii vitezelor sunt paraleli cu fundul canalului – curgere laminară;
- viteza medie în oricare din secțiuni se calculează cu formula:

$$\vec{V} = V(i \cos \theta - k \sin \theta) = \frac{\iint V dA}{\iint dA} \quad (2.54)$$

unde  $i$  și  $k$  sunt vectorii unitate în direcțiile  $x$ , respectiv  $z$ , iar  $\theta$  este unghiul pe care îl face fundul canalului cu orizontala;

- distribuția presiunii este liniară cu adâncimea;
- scurgerea de suprafață are loc pe o suprafață de lățime infinită și poate fi considerată bidimensională (2D).

În aceste condiții ecuațiile mișcării pot fi formulate în termenul de viteză medie iar presiunea (a cărei distribuție este prezentată în figura 2.14) este împărțită într-o componentă hidrostatică și componenta suprapresiunii în exces care este cauzată de fluxul momentului în direcție verticală.

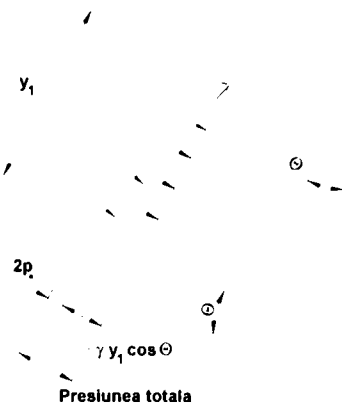


Fig.2.14 Distribuția presiunilor (după Stanciu, 2002)



2.2.4 Modelul de tip fiziografic al scurgerii lichide pe versanți

Are la bază conceptul că pentru sesizarea procesului real al scurgerii pe versant e nevoie de luarea în considerare a dinamicii elementelor de bilanț hidric în fiecare punct din bazin, el a fost elaborat de Stanciu, Blidaru și Drăgoi în anul 1976 [Stanciu et al, 1976]. Modelul presupune discretizarea suprafeței bazinului hidrografic, determinarea hidrografului scurgerii pentru fiecare din suprafețele elementare și integrarea tuturor acestor hidrografe pentru întreg bazinul (figura 2.15).

Conceptul formării scurgerii superficiale pe un element de suprafață al bazinului considerat constă în divizarea ciclului scurgerii în mai multe componente. Fiecare din aceste componente poate fi incorporată independent în modelul general.

Componentele bilanțului de apă utilizate în modelul matematic sunt: ploaia, interceptia, acumularea de suprafață, infiltrația și scurgerea superficială.

Modelul, cum se vede și din schema logică prezentată în figura 2.15, se poate cupla cu modulele referitoare la scurgerea subterană și scurgerea de aluviuni.

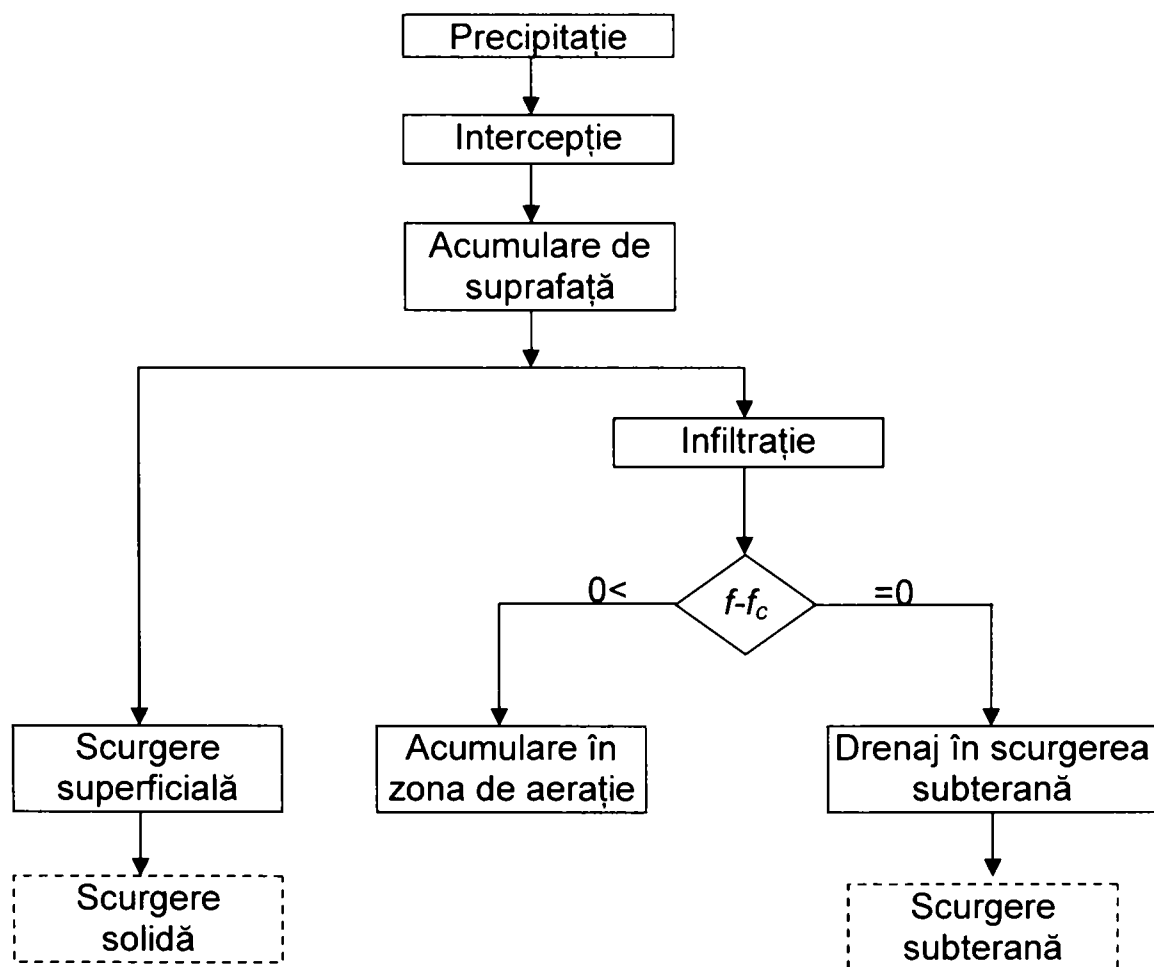


Fig.2.15 Schema logică a modelului (după Stanciu, 1976)

Reprezentarea geometrică a bazinului hidrografic într-un număr finit de elemente de suprafață (discretizarea bazinului hidrografic) (figura 2.16) se face astfel

încât parametrii hidrologici importanți (intensitatea ploii, intensitatea infiltrației, mărimea și direcția pantei, acoperirea cu vegetație) să fie constanți în interiorul fiecărui element (pot însă varia într-o manieră complet nerrestrictivă între elementele adiacente).

Scurgerea în interiorul fiecărui element se produce pe direcția liniei de cea mai mare pantă a elementului respectiv. Acest procedeu presupune divizarea debitului în două componente, funcție de divizarea suprafeței elementului (figura 2.17) de direcția cu cea mai mare pantă.

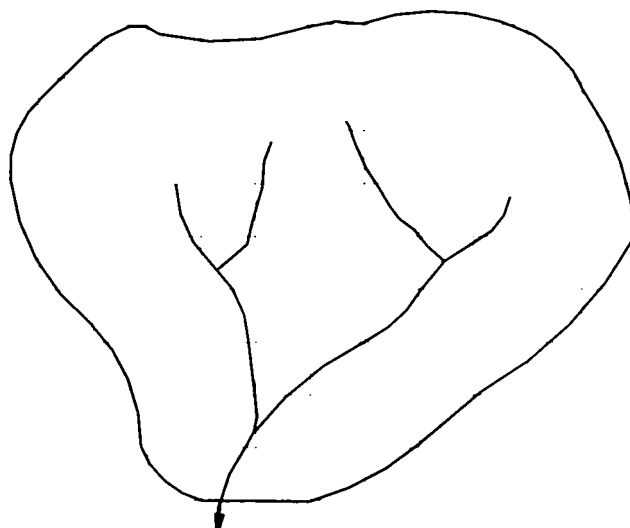


Fig.2.16 Discretizarea bazinului hidrografic (după Stanciu, 2002)

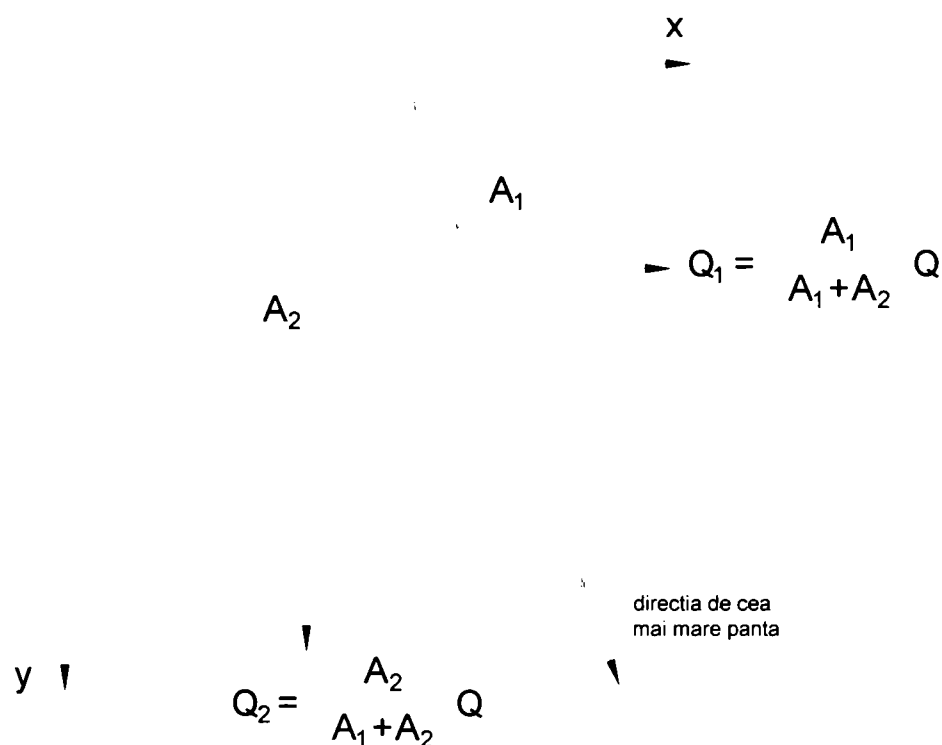


Fig.2.17 Condiții ale scurgerii de suprafață în interiorul unui element (după Stanciu, 2002)

Ecuțiile modelului

Ecuțiile modelului se obțin din ecuațiile generale ale mișcării în condiții particulare:

- mișcare unidimensională
- neglijarea termenilor inerțiali
- mișcarea se produce sub acțiunea forței de frecare.

În aceste condiții simplificate ecuațiile modelului se scriu sub forma:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i(x, t) - f(x, t) \quad (2.55)$$

$$q = q_x + q_y = K(\cos \theta + \sin \theta)h^{m+1}$$

unde:  $q_x$  și  $q_y$  - sunt debitele în direcția  $x$  și  $y$ ;  $K$  - este coeficient care depinde de pantă și rugozitatea suprafeței;  $\theta$  - unghiul format pe suprafața elementului de direcția cu cea mai mare pantă;  $i$  - intensitatea ploii;  $f$  - intensitatea infiltrației;  $m$  - exponent funcție de gradul de turbulență al scurgerii (în general  $m = 0,67$ ).

Pentru integrarea componentelor bilanțului de apă pe elementul de suprafață se folosește ecuația:

$$I - O = \frac{dV}{dt} \quad (2.56)$$

unde:  $I$  reprezintă intrările în elementul de suprafață;  $O$  - ieșirile din element;  $V$  - volumul apei acumulate pe element și este disponibil pentru scurgere.

Debitul pentru elementul de suprafață se calculează cu formula:

$$q = u \cdot \bar{h} \cdot \Delta x + v \cdot \bar{h} \cdot \Delta x = K' \bar{h}^{m+1} \quad (2.57)$$

unde:

$$K' = K \cdot \Delta x \cdot (\cos \theta + \sin \theta) \quad (2.58)$$

$\bar{h}$  este adâncimea medie a scurgerii pe versant;  $\Delta x$  - dimensiunea elementului de suprafață pentru o rețea pătratică;  $u$  și  $v$  sunt vitezele în direcția  $x$ , respectiv  $y$ .

Pentru calculul infiltrației se folosește formula Holtan și Overton scrisă sub forma:

$$f = f_c + A \left( \frac{S - F}{T_p} \right)^B \quad (2.59)$$

unde:  $f$  este capacitatea de infiltrație la un moment dat  $t$ ;  $f_c$  - capacitatea finală (infiltrația stabilizată) de infiltrație;  $S$  - capacitatea de acumulare a apei în stratul de sol activ care participă la formarea scurgerii superficiale;  $F$  - volumul total infiltrat;  $T_p$  - porozitatea totală a stratului de sol activ;  $A$  și  $B$  sunt constante care se determină experimental. Constantele  $A$  și  $B$  au fost determinate prin metoda celor mai mici pătrate, corelând valorile  $(f - f_c)$  cu valorile  $(S-F)/T$  obținute pe cale experimentală cu ajutorul infiltrometrului mobil.

Datorită ipotezelor simplificatoare impuse la elaborarea modelului, acesta poate fi considerat ca o aproximație de ordinul 1 (model bidimensional hibrid) a modelului matematic bidimensional de formare a scurgerii pe versant.

**Domeniu de aplicabilitate:**

- modelul este unidimensional
- folosește un sistem de ecuații simplificate
- pe baza testării modelului de către autori pe parcele de scurgere, versanți și bazine hidrografice mici, a rezultat că modelul dă rezultate bune atunci când scurgerea de suprafață are loc în regim laminar, pentru regimul turbulent modelul dă rezultate eronate.

*2.2.5 Modelul hidrodinamic complex al scurgerii pe versanți*

Modelul se bazează pe aplicarea principiilor conservării masei și impulsului pentru descrierea proceselor hidrologice de la suprafața versantului și din sol, cuprinzând mai multe submodele corespunzătoare diferitelor niveluri de acumulare a apei: interceptia, scurgerea de pe versant și din albie, zona nesaturată și zona saturată [Stanciu et al, 1988].

Schema bloc a modelului cu principalele submodele se prezintă în figura 2.18.

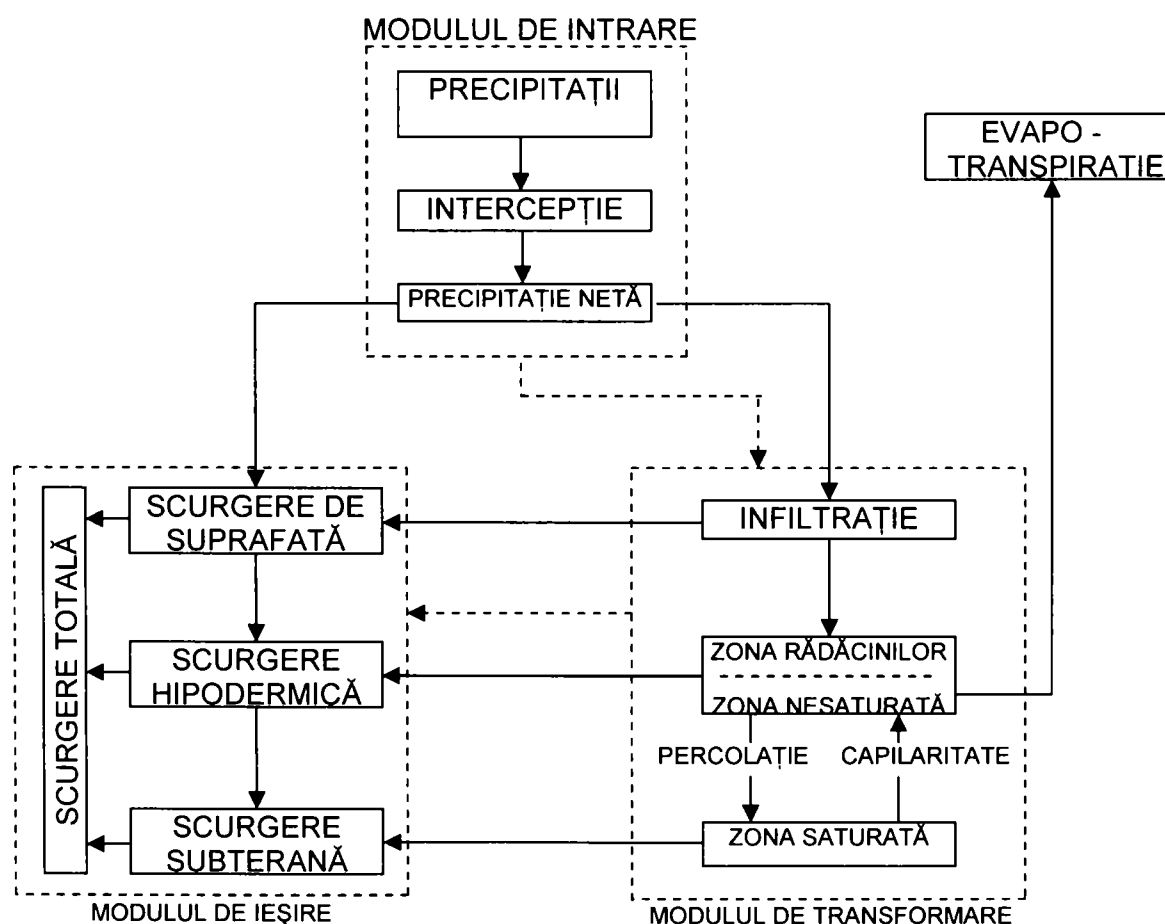


Fig. 2.18 Schema bloc a modelului hidrodinamic (după Stanciu, 1988)

Ecuțiile modelului

Mișcarea pe versant se obține în ipoteza că stratul vegetal care acoperă suprafața versanților poate fi aproximat cu un strat poros cu o permeabilitate și porozitate mare.

Considerând că toată cantitatea de ploaie netă intră în stratul poros folosind ecuația de continuitate și legea lui Darcy se obține următoarea ecuație de mișcare:

$$Kh \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K \left( \frac{\partial h}{\partial x} - \sin \alpha \right) \frac{\partial h}{\partial x} - \gamma \frac{\partial h}{\partial t} = r - f_i \quad (2.60)$$

unde: K- este coeficientul de permeabilitate; h - adâncimea scurgerii;  $\alpha$  - unghiul de înclinare a versantului; x - distanța măsurată din partea amonte a versantului spre baza lui; t – timpul;  $\gamma$  – porozitatea; r - rata ploii nete;  $f_i$  - rata infiltrației.

Mișcarea din zona nesaturată este descrisă de ecuația:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} + S_k(\theta) \quad (2.61)$$

unde:  $\theta$  - este conținutul de umiditate;  $D(\theta)$  – difuzibilitatea;  $K(\theta)$  – permeabilitatea;  $S(\theta)$  – reprezintă fie fluxul  $f_i$  prin suprafața solului în zona nesaturată, fie evaporația  $E_p$

Condițiile la limită pe suprafața solului ( $z = 0$ ) sunt:

$$\begin{aligned} r - E_p &= -K - D \frac{\partial \theta}{\partial z} && \text{pentru } r - E_p < f_i \\ \theta &= \theta_{\max} && \text{pentru } f_i \leq r - E_p \end{aligned} \quad (2.62)$$

Scurgerea de suprafață (hipodermică) se modelează prin analogie cu teoria difuziei. Pornind de la ecuația de continuitate și de mișcare de tip Darcy, se obține următoarea ecuație:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} &= \frac{D_0}{\gamma} \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} - \frac{C_0}{\gamma} \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{C_0}{\gamma} (f_i - f_p) \\ C_0 &= 3/2u_0 \\ D_0 &= h_0 u_0 / 2I_0 \end{aligned} \quad (2.63)$$

unde:  $h_0$  și  $u_0$  reprezintă adâncimea și viteza curgerii față de care se efectuează liniarizarea ecuației; q – debitul;  $f_i$  - infiltrația;  $f_p$  – percolația;  $l_0$  - panta stratului de sol.

Scurgerea subterană este obținută prin integrarea ecuației:

$$\begin{aligned} C(H) \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(H) \frac{\partial H}{\partial z} \right] - \frac{\partial K(H)}{\partial z} + \varepsilon_i \\ C(H) &= \frac{\partial \theta}{\partial H} \end{aligned} \quad (2.64)$$

unde:  $\varepsilon_i$  reprezintă percolația ( $f_p$ ) din zona nesaturată ( $i = 1$ ) sau schimbul prin capilaritate ( $-f_p$ ) în zona nesaturată ( $i = 2$ );  $K(H)$  este conductivitatea hidraulică; H – nivelul apei; z – adâncimea apei.

Mișcarea apei în râu este descrisă prin ecuațiile:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r \cdot B + q - F$$

$$Q = \frac{1}{n} \sqrt{1 - \frac{\partial h}{\partial x}} R^{2/3} \Omega$$
(2.65)

unde:  $\Omega$  este aria secțiunii transversale corespunzătoare adâncimii  $h$ ;  $Q$  este debitul care se scurge prin secțiune;  $r$  – rata ploii nete;  $B$  – lățimea râului;  $q$  – debitul de pe versant;  $F$  – infiltrația în malurile râului;  $n$  – coeficientul de rugozitate;  $R$  – raza hidraulică;  $l$  – panta albiei râului.

**Domeniu de aplicabilitate:**

- este aplicabil mai ales la versanți și bazine hidrografice mici
- modelul este unidimensional.

*2.2.6 Modelul bidimensional al scurgerii de suprafață pe versanți permeabili*

Prima încercare de elaborare a modelului de formare a scurgerii, bazat pe ecuațiile bidimensionale ale scurgerii pe versanți, a fost făcută de Demidov și Koren (1977), în ipoteza că cumpăna apelor de suprafață coincide cu cea subterană, iar apele subterane hidraulic nu sunt legate de curgerea din albia râului. Pentru integrarea numerică a ecuațiilor scurgerii pe versanți și a transportului de umiditate s-au folosit scheme cu diferențe finite explicite. Pasul de integrare în spațiu s-a luat egal cu 40 m, în adâncime de 0,1 m, iar în timp de la 120 la 600 s.

Kuciment și Trubihin (1977) au propus modelul de formare a scurgerii bazat pe următorul sistemul de ecuații bidimensionale pentru scurgerea apei pe suprafața bazinului și ecuația transportului vertical de umiditate [Stanciu, 2002; Kuciment et al, 1977; Șerban, 1995]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = i - f = q$$

$$q_x = u \cdot h, \quad q_y = v \cdot h$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = S_{0x} - S_{fx}; \quad \frac{\partial h}{\partial y} = S_{0y} - S_{fy}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} - K(\theta) \right], \quad f = \left[ -D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} + K(\theta) \right]_{z=0}$$
(2.66)

unde:  $h$  – adâncimea scurgerii;  $u, v$  – viteza apei pe direcția  $x$ , respectiv  $y$ ;  $\theta$  – conținutul de umiditate al solului;  $z$  – coordonata verticală;  $D(\theta)$  – coeficientul de difuziune;  $K(\theta)$  – conductivitatea hidraulică;  $i$  – intensitatea ploii;  $f$  – intensitatea infiltrației;  $q$  – ploaia netă;  $S_{0x}, S_{0y}$  – panta terenului în direcția  $x$ , respectiv  $y$ ;  $S_{fx}, S_{fy}$  – panta de frecare în direcția  $x$ , respectiv  $y$ ;  $t$  – timpul.

Considerînd legea Strickler – Manning pentru fiecare pantă de frecare, se pot scrie următoarele relații:

$$\begin{aligned}u_h &= K_x \cdot I_x \cdot h^{5/3} \\v_h &= K_y \cdot I_y \cdot h^{5/3}\end{aligned}\tag{2.67}$$

unde:  $I_x, I_y$  – panta suprafeței apei pe direcția  $x$ , respectiv  $y$ ;  $K_x, K_y$  – echivalentul coeficientului de rugozitate Strickler.

Bazinul de recepție a fost schematizat sub forma unei rețele dreptunghiulare, iar rețeaua de râuri prin canale cu aceeași lățime (10 m). Mișcarea apei în canale s-a calculat după ecuațiile unei cinematice pentru cazul unidimensional. Precipitațiile și nivelele apelor subterane s-au considerat aceleași pentru întregul bazin de recepție. Coeficientul de difuzie și conductivitatea hidraulică s-au calculat cu relațiile:

$$\begin{aligned}D(\theta) &= D_0(\theta - 0,1)^2 \\K(\theta) &= K_0(\theta - 0,1)^2\end{aligned}\tag{2.68}$$

Condițiile la limită au fost luate de forma:

- la suprafața solului ( $z = 0$ ):

$$\begin{aligned}\theta(0, t) &= -D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} + K \Big|_{z=0} \quad \text{daca } i < f \\ \theta(0, t) &= \theta_{\max} \quad \text{daca } i > f\end{aligned}\tag{2.69}$$

- la limita inferioară a stratului de sol în care se produce scurgerea ( $z = 1$ ):

$$\theta(1, t) = \theta_{\max}\tag{2.70}$$

#### **Domeniu de aplicabilitate:**

- descrie scurgerea de suprafață mai bine decât modelele unidimensionale
- necesită un volum de calcul mai mare decât modelele unidimensionale
- se bazează pe ipoteza că cumpăna apelor de suprafață coincide cu cea subterană, iar apele subterane hidraulic nu sunt legate de curgerea din albia râului
- se poate aplica în activitatea de elaborare a prognozelor hidrologice și pentru determinarea parametrilor hidrologici necesari la proiectarea și exploatarea lucrărilor hidrotehnice.

Modele prezentate mai sus sunt modele uni și bidimensionale. Deoarece în studiul mișcării apei pe versanți permeabili intervin o multitudine de factori a căror

legi de variație sunt foarte diverse, încă nu a fost posibilă dezvoltarea unui model tridimensional care să redea cu o mare acuratețe acest fenomen.

## 2.3 Modelarea scurgerii solide pe versanții bazinului hidrografic

### 2.3.1 Legile de desfășurare a proceselor de eroziune

Desfășurarea proceselor de eroziune, transport și depunere pe versanții de diferite forme se desfășoară după următoarele legi:[Băcov, 1978]

1. Eroziunea înregistrează intensități maxime în sectoarele convexe ale versanților deoarece în acest caz înclinarea crește spre partea inferioară și în același timp cantitatea de apă provenită din scurgeri este maximă.
2. Intensitatea cea mai redusă a proceselor de eroziune se întâlnește la versanții concavi unde, deși cantitatea de apă sporește spre baza versantului, forma tinde spre realizarea profilului de echilibru la care eroziunea devine practic nulă chiar dacă volumul de apă provenit din scurgere este mare.
3. Versanții drepti respectă la scară mai redusă legile de evoluție a pantelor concave; în această situație ei rămân neschimbați, iar forța de eroziune crește treptat în funcție de creșterea suprafețelor de colectare.
4. În cazul versanților compuși înclinarea generală și lungimea versanților au un rol mai mic decât caracterul succesiunii suprafețelor de versant cu forme și înclinări diferite. În general, când se trece de la înclinări mai pronunțate la pante mai reduse, viteza apei scade producând depunerea unor cantități de material solid mai mare. Când pantele se accentuează, eroziunea sporește în același sens.

Un aspect important al studiului scurgerii solide în bazine hidrografice îl constituie estimarea pierderilor de sol de pe versanți, pierderi care se produc prin fenomenele de eroziune (antrenare și transport). Antrenarea particulelor de sol se produce pe de o parte, prin dislocarea acestora de către picăturile de ploaie și transportul lor de către scurgerea de suprafață, iar pe de altă parte, prin antrenarea



de către apa de scurgere a particulelor de la suprafața solului, așa cum s-a arătat în paragraful 2.1.

### 2.3.2 Calculul pierderilor de sol prin eroziune de suprafață

O analiză a evoluției modelelor de calcul a pierderilor de sol de pe versanți [Lafren et al, 2003; Ruh-Ming et al, 1973; Popovici, 1991; Carvalho, 1994; Di Silvio, 1998] se prezintă în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Nr. crt.	Autor, an	Formulă	Observații
0	1	2	3
1	Zingg, 1940	$A \cong C' L^{0.6} S^{1.4}$	relația a fost dedusă pe baza datelor experimentale, nu ține cont de caracteristicile precipitațiilor, de folosințe și de modul efectuării lucrărilor agricole
2	Smith, 1941	$A \cong C'' L^{0.6} S^{1.4} P$	față de relația precedentă, aici se ține cont și de lucrările de combatere a eroziunii solului
3	Ellison, 1945	$e \cong \alpha \cdot v^{4.33} d^{1.07} i^{0.65}$	nu ține cont de pantă, lungimea versantului, de folosințe și de modul lucrărilor agricole
4	Browning, 1947	$A \cong C''' L^{0.6} S^{1.4} P$	contribuția majoră este cea a studiului factorului de erodabilitate
5	Musgrave, 1947	$E \cong R \cdot K \cdot L^{0.37} S^{1.35} C$	introduce și caracteristicile ploii prin R, nu ține cont de lucrările de conservare a eroziunii solului
6	Smith și Whitt, 1947	$E \cong C_a \cdot S \cdot L \cdot K \cdot P$	se introduce $C_a$ , care reprezintă pierderea anuală de sol pe o parcelă experimentală
7	Normativ ISPF, 1959	$W \cong a' b' F q \sqrt{S}$	formulă valabilă doar pentru România, se aplică pentru terenuri silvice
8	Wischmeier, 1960	$E_s \cong K_a \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L^m \cdot S^n$	caracteristicile ploii se introduc prin coeficientul de agresivitate pluvială
9	Wischmeier și Smith, 1965	$E \cong R \cdot K \cdot L^{0.5} (0.0076 S^2 + 0.0053 S + 0.0076) C \cdot P$	simplifică calculul lui $S^n$ , formulă valabilă în anumite zone
10	Meyer și Monke, 1965	$E \cong L^{0.9} S^{3.5}$	formulă determinată experimental, valabilă doar pentru o anumită zonă, nu ține cont de caracteristicile ploii, folosința terenului și de lucrările de combatere a eroziunii solului

Capitolul 2 Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale

0	1	2	3
11	Meyer, 1965	$E \cong (L - L_0)^{1.5} \cdot (S - S_0)^{1.5}$	formulă determinată experimental, valabilă doar pentru o anumită zonă, nu ține cont de caracteristicile ploii, folosința terenului și de lucrările de combatere a eroziunii solului
12	USLE, 1965	$A \cong E_p I_{30} \cdot K \cdot (L/72.6)^{0.5} \cdot C \cdot P \cdot (0.0065 + 0.045S + 0.0065S^2)$	simplifică calculul lui $S^n$
13	Meyer și Kramer, 1968	$E \cong L^{0.5} \cdot (S - S_0)^{1.4}$	formulă determinată experimental, valabilă doar pentru o anumită zonă, nu ține cont de caracteristicile ploii, folosința terenului și de lucrările de combatere a eroziunii solului
14	Young și Mutchler, 1969	$E \cong L^{1.24} S^{0.74}$	formulă determinată experimental, valabilă doar pentru o anumită zonă, nu ține cont de caracteristicile ploii, folosința terenului și de lucrările de combatere a eroziunii solului
15	Moțoc, 1970	$E_s \cong K_a \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L^{0.3} \cdot (1.36 + 0.97S + 0.138S^2)$	particularizarea relației lui Wischmeier pentru condițiile pedoclimatice și de relief din România, rezultată în urma cercetărilor pe parcele experimentale
16	Kilinc, 1972	$E \cong L^{1.035} S^{1.664}$	formulă determinată experimental, valabilă doar pentru o anumită zonă, nu ține cont de caracteristicile ploii, folosința terenului și de lucrările de combatere a eroziunii solului
17	MUSLE, 1975	$E \cong 11.8(V \cdot Q_p)^{0.56} \frac{K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P}{F}$	în loc de caracteristicile ploii se introduce produsul dintre volumul scurgerii și debitul maxim al ei
18	USLE, 1978	$A \cong E_p I_{30} \cdot K \cdot (L/72.6)^{0.5} \cdot C \cdot P \cdot (65.4 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$	spre deosebire de USLE 1965, în loc de panta versantului în relație apare unghiul de înclinare al versantului, $\theta$
19	RUSLE, 1997	$A \cong E_p I_{30} \cdot K \cdot (L/72.6)^{0.5} \cdot C \cdot P \cdot (a \sin \theta + b)$	sunt necesare studii experimentale pentru calculul coeficienților a și b
20	USLE - prezent	$A \cong R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$	este forma cea mai utilizată a ecuației universale a pierderilor de sol, sunt stabilite metode pentru determinarea fiecărui factor care intervine în relație

Semnificația notațiilor din tabelul 2.1:

A – pierderea de sol în tone/acru la o singură ploaie torențială; C', C'', C''' – coeficienți determinați experimental; K – coeficientul de erodabilitate a solului; L – lungimea pantei în picioare (feet) sau m; S – panta versantului în procente;  $\theta$  – unghiul de înclinare al versantului în grade; C - coeficient de

## Capitolul 2 Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale

contribuție pentru folosințe și culturi;  $E_p$  – energia cinetică a picăturilor de ploaie pe unitatea de suprafață;  $I_{30}$  – intensitatea maximă a ploii pe o durată de 30 minute în inch/h;  $P$  – coeficient de contribuție pentru lucrările și măsurile de combatere a eroziunii solului;  $m$  – exponent care depinde de pantă;  $a, b$  – coeficienți care depind de pantă;  $C_a$  – media anuală a pierderilor de sol pe un lot experimental;  $E$  – pierderile de sol în tone/an;  $R = E_p I_{30}$  – caracteristicile ploii;  $L_0$  – valoarea lui  $L$  la care începe procesul de eroziune;  $S_0$  – valoarea lui  $S$  la care începe procesul de eroziune;  $e$  – cantitatea de pământ erodat în timp de 30 min în g;  $v$  – viteza finală a picăturii de ploaie, ft/s;  $d$  – diametrul picăturii de ploaie în mm;  $i$  – intensitatea ploii în inch/h;  $\alpha$  – constantă;  $W$  – volumul de pământ aluvionar în decurs de cel puțin 10 ani în  $m^3$ ;  $a', b'$  – parametrii dați tabelar;  $F$  – suprafața totală a versanților în ha;  $q$  – indice de eroziune specifică în  $m^3/ha \cdot an$ ;  $V$  – volumul scurgerii de pe versant;  $Q_p$  – debitul maxim al scurgerii.

Majoritatea modelelor din tabelul 2.1 se referă (dau rezultate mai bune) la versanți cu folosință agricolă, viticolă, pomicolă, fânețe sau pentru pășuni, mai puțin la versanți împăduși. Toate relațiile au fost deduse pe bază de măsurători pe parcele experimentale, stabilindu-se corelațiile existente între diferiți factori, expresiile matematice ale corelațiilor găsite fiind limitate de condițiile efectuării măsurătorilor. Din această cauză aplicarea acestor formule nu este indicată pentru alte bazine, decât pentru bazinele aflate în condiții similare cu cele pentru care s-au dezvoltat.

Modelul cel mai ușor de utilizat este formula lui Wischmeier (1960) (se prezintă în detaliu mai jos), din care derivă și formula lui Moțoc (1970).

Structura modelului:

$$E_s \cong K_a \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L^m \cdot S^n \quad (2.71)$$

unde:  $E_s$  – (t/ha an) eroziunea de suprafață medie multianuală;  $K_a$  – agresivitatea pluvială, cu valori de la 0.08 la 0.16;  $K$  – coeficient de erodabilitate al solului, cu valori de la 0.6 la 1.2, obținute în raport cu gradul de eroziune, textură și tipul genetic de sol;  $C$  – coeficient de contribuție pentru folosințe și culturi, cu valori de la 0.001 la 1.6;  $P$  – coeficient de contribuție pentru lucrările și măsurile de combatere a eroziunii solului, cu valori de la 0.15 la 1;  $L$  – (m) lungimea medie a versantului;  $S$  – (%) panta medie a versantului;  $m$  – exponentul pentru lungime, cu valori de la 0.3 la 0.4;  $n$  – exponentul pentru pantă, cu valori de la 1.35 la 1.45.

### Domenii de aplicabilitate:

- se poate aplica pentru suprafețe mici, sub  $10 \text{ km}^2$  (pentru o precizie satisfăcătoare)
- suprafața studiată trebuie împărțită în suprafețe relativ omogene, cu aceleași caracteristici; pentru fiecare din aceste suprafețe trebuie determinați cei 8 parametrii care intervin în calcule;
- se aplică în cazul suprafețelor cu o pantă mai mică de 25 % și cu lungimea versanților  $L \leq 400 \text{ m}$ .

În continuare se prezintă câteva modele ale scurgerii solide pe versanți, cu domeniile lor de aplicabilitate.

### 2.3.3 Modelarea scurgerii solide în bazine hidrografice mari

#### 1. Model bazat pe modelarea fenomenului ploaie - scurgere

Structura modelului [Hrissanthou, 1986]

a). Ecuația universală modificată a pierderilor de sol

- determină cantitatea de material solid dislocat de pe urma unei ploii torențiale individuale de pe un bazin hidrografic [Williams, 1975]:

$$Y_0 \cong 11.8(V \cdot Q_p)^{0.56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2.72)$$

unde:  $Y_0$  – cantitatea de material solid (t);  $V$  – volumul scurgerii ( $m^3$ );  $Q_p$  – debitul maxim ( $m^3/s$ );  $K$  – coeficient de erodabilitate al solului;  $LS$  – factorul topografic (panta și lungimea pantei);  $C$  – coeficientul de contribuție pentru folosințe și culturi;  $P$  – coeficient de contribuție pentru lucrările și măsurile de combatere a eroziunii solului.

b). modelarea fenomenului ploaie-scurgere

Pentru obținerea înălțimii ploii în exces se utilizează modelul lui Lutz [Lutz, 1982]

$$Q = (N - A_v)c + \frac{c}{a} [e^{-(N-A_v)} - 1] \quad (2.73)$$

unde:  $N$  – înălțimea ploii (mm);  $Q$  – ploaia în exces (mm);  $A_v$  – valoarea inițială a infiltrației (mm);  $c$  – valoarea maximă a coeficientului scurgerii după o ploaie torențială cu o durată foarte mare;  $a$  – factor de proporționalitate, care se determină cu relația următoare:

$$a = P_1 \cdot e^{-2.0/WZ} \cdot e^{-2.0/QB} \quad (2.74)$$

unde:  $P_1$  – parametru dependent de regiunea luată în studiu;  $WZ$  – numărul de săptămâni din sezonul luat în calcul;  $QB$  – scurgerea de bază care indică umiditatea inițială a solului ( $l/sec/km^2$ ).

Pentru determinarea debitului maxim al scurgerii se folosește următoarea formulă a "Soil Conservation Service" din S.U.A.

$$Q_p = 0,278 \frac{FQ}{T_A} \quad (2.75)$$

unde:  $Q_p$  – debitul maxim ( $m^3/s$ );  $F$  – aria bazinului hidrografic ( $km^2$ );  $Q$  – ploaia în exces (mm);  $T_A$  – timpul corespunzător ramurii crescătoare a hidrografului scurgerii (h).

c).determinarea cantității de material solid

- pentru estimarea cantității de material solid la ieșirea din bazinul hidrografic se utilizează modelul lui Williams (1975):

$$Y = Y_0 \cdot e^{-BT\sqrt{D_{50}}} \quad (2.76)$$

unde:  $Y_0$  – cantitatea de material solid la ieșirea din bazinul hidrografic (t);  $T$  – timpul de concentrare (h);  $B$  – coeficient (constantă de atenuare);  $D_{50}$  – diametrul mediu al particulelor (mm);  $Y$  – cantitatea de material solid la ieșirea din bazinul hidrografic (t).

Ecuția de mai sus se bazează pe ipotezele că depunerea sedimentelor depinde de viteza de sedimentare a particulelor solide, de timpul de mișcare și de cantitatea de sedimente în suspensie. Pentru mișcarea turbulentă viteza de sedimentare a particulelor este proporțională cu radicalul diametrului particulei.

Pentru determinarea constantei  $B$  se utilizează relația următoare:

$$(V \cdot Q_p)^{0.56} = \sum_{i=1}^n (V_i \cdot Q_{p_i})^{0.56} \cdot e^{-BT_i \sqrt{D_{50}}} \quad (2.77)$$

unde:  $V$  – volumul scurgerii pe întregul bazin hidrografic ( $m^3$ );  $Q_p$  – debitul maxim al scurgerii de pe întregul bazin hidrografic ( $m^3/s$ );  $V_i$  – volumul scurgerii pe subbazinele componente ( $m^3$ );  $Q_{p_i}$  – debitul maxim al scurgerii pe subbazine ( $m^3/s$ );  $T_i$  – timpul de parcurs între ieșirea din subbazinul  $i$  și ieșirea din întregul bazin hidrografic (h);  $D_{50}$  – diametrul mediu al particulelor (mm);  $B$  – constantă;  $n$  – numărul de subbazine hidrografice.

Modelul prezentat a fost aplicat pentru bazinul hidrografic al lacului de acumulare Forggensee (Germania), rezultatele obținute prin calcule rezultând comparabile cu cele din măsurători, raportul dintre cantitatea calculată de sedimente depuse în lac și cantitatea măsurată are valori cuprinse între 0,8 și 1,29.

### **Domenii de aplicabilitate:**

- modelul prezentat mai sus se poate aplica mai ales la bazine hidrografice mari, el se bazează pe modelul empiric al lui Williams (1975), dezvoltat de acesta pentru bazine hidrografice mari din centrul Europei, având aria  $>1500 \text{ km}^2$ ;
- modelul prezentat se aplică numai pentru bazine hidrografice mari din regiuni muntoase;
- se neglijează eroziunea din albiile cursurilor de apă.

## 2. Model bazat pe discretizarea bazinului hidrografic [Julien et al, 1989]

Structura modelului:

Bazinul hidrografic se împarte în unități de formă pătrată, de arie  $A_i \leq 4 \text{ km}^2$  pentru fiecare din aceste unități se determină parametri relevanți (panta medie, coeficient de acoperire cu vegetație etc.). Pentru calculul pierderilor de sol pe fiecare porțiune se utilizează formula următoare (determinată experimental de Frenette și Julien în 1986) [Frenette et al, 1986]:

$$e_0 = 226 S^\beta C \quad (2.78)$$

unde:  $e_0$  – pierderea anuală de sol ( $kt/km^2$ );  $S$  – panta parcelei;  $\beta$  - exponent, cu valoarea de 1.46, determinat experimental;  $C$  – coeficient dat de culturi.

S se calculează astfel:

$$S = \frac{h_{max} - h_{min}}{\sqrt{A_i}} \quad (2.79)$$

unde:  $h_{max}$  – cota maximă;  $h_{min}$  – cota minimă;  $A_i$  – aria parcelei, iar  $C = F_a + 0.01 F_f$ , unde  $F_a$  fracțiunea din parcelă utilizată pentru agricultură, iar  $F_f$  fracțiunea din parcelă acoperită de păduri.

Se introduce și un factor de corecție  $Q_e$ , datorită împărțirii bazinului în parcele.

Dependența acestui factor de corecție de aria parcelei poate fi văzută în figura 2.19.

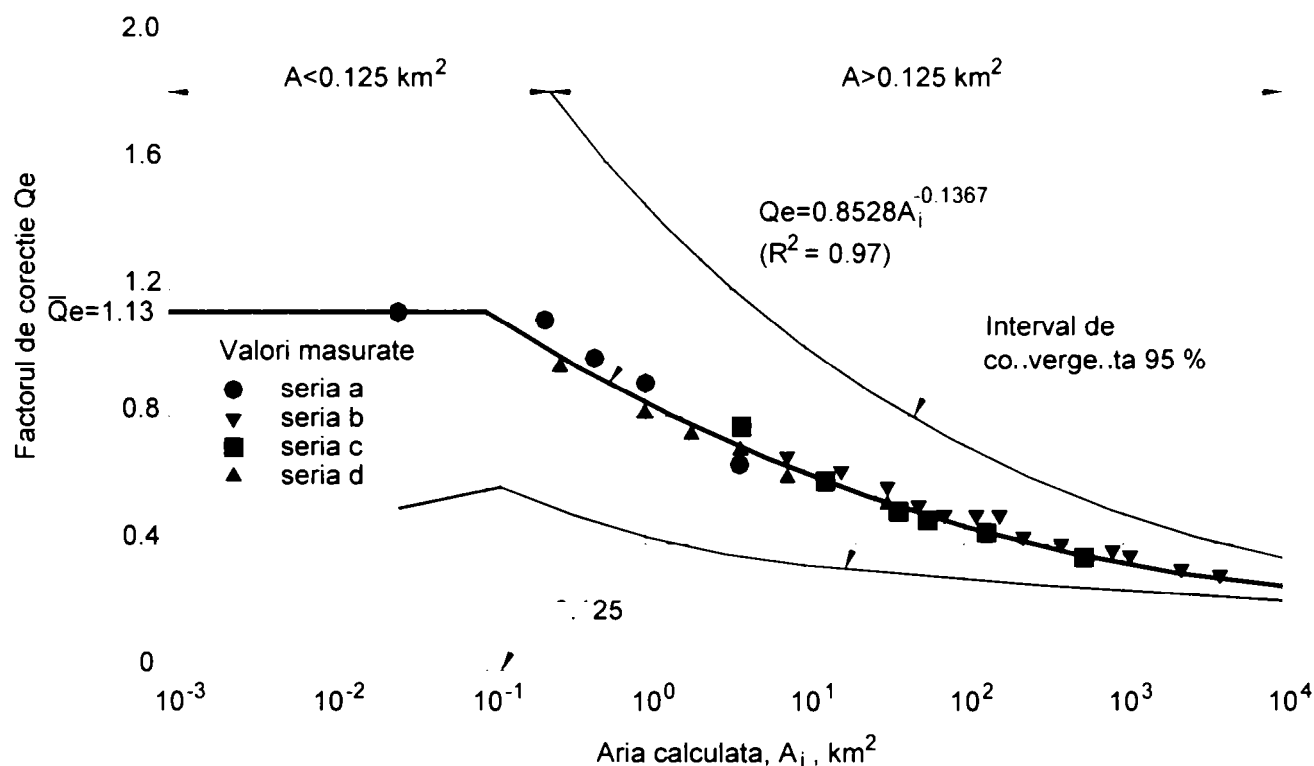


Fig.2.19 Factorul de corecție  $Q_e$  funcție de aria  $A_i$  (după Julien, 1985)

Pierderea anuală de sol este dată de:

$$e_i = \frac{e_0}{Q_e} \quad (2.80)$$

Deci, pierderea anuală de sol de pe întregul bazin hidrografic, divizat în  $N$  unități este dată de:

$$E = \sum_{i=1}^N A_i e_i \quad (2.81)$$

**Domenii de aplicabilitate:**

- spre deosebire de modelul prezentat la punctul 1, acest model este mai simplu, nu intervin caracteristicile ploii, doar caracteristicile parcelelor în care s-a împărțit bazinul hidrografic;
- în modelul anterior, bazinul hidrografic e împărțit în subbazine hidrografice, pe când aici avem împărțirea în parcele pătrate;
- modelul se aplică pe bazine hidrografice de suprafață  $> 100 \text{ km}^2$ .

*2.3.4 Modelarea pierderilor de sol prin eroziune în regiunile montane*

1. Model bazat pe diferențierea regimurilor de scurgere [Julien et al, 1985; Julien, 1986]

Structura modelului:

a). Caracteristicile scurgerii lichide pe versanți

Principalele variabile care descriu scurgerea de suprafață se pot vedea în figura 2.20.

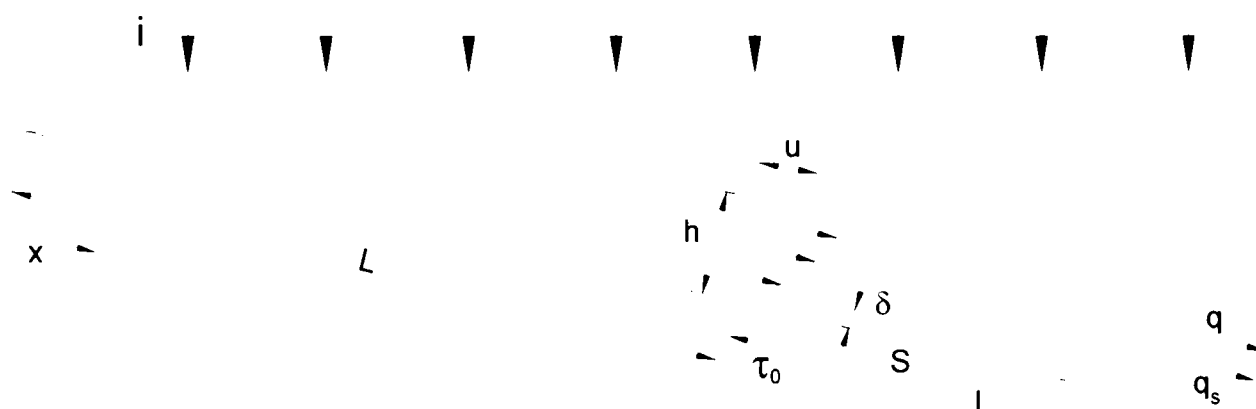


Fig.2.20 Variabilele scurgerii de suprafață (după Julien, 1986)

- variabilele geometrice sunt: lungimea pantei  $L$ ; panta  $S$ ;
- variabilele hidraulice sunt: intensitatea ploii  $i$ ; adâncimea curentului de apă  $h$ ; viteza principală  $u$ ; debitul unitar lichid  $q$ ; grosimea stratului limită laminar  $\delta$ .

Debitul solid  $q_s$  depinde de efortul tangențial  $\tau_0$ .

Alți parametri care intervin: accelerația gravitațională  $g$ , vâscozitatea cinematică  $\nu$ , densitatea apei  $\rho$ .

Mișcarea fazei lichide este descrisă de ecuațiile lui Saint-Venant. Ecuația de continuitate este cea cunoscută ( $q = uh$ ). Pentru simplificare se consideră panta

energetică egală cu panta geometrică ( $S = S_f$ ) și cu panta de frecare. Rezistența fluidului se poate determina din relația pantei energetice dată de Darcy-Weisbach:

$$S_f = \frac{f u^2}{8 gh} \quad (2.82)$$

unde  $f$  este coeficientul de frecare Darcy-Weisbach.

Pentru mișcare laminară  $f = K/Re$ , unde  $K$  este rugozitatea suprafeței,  $Re$  numărul lui Reynolds,  $Re = q/v$ , relația lui Blasius pentru canale deschise largi este  $f = 0.22/Re^{0.25}$ , iar după Manning  $f = 8 gn^2/h^{1/3}$ .

Au fost studiate 4 tipuri de mișcare ale scurgerii de suprafață (de către Julien și Simons în 1985):

- 1 - scurgere laminară
- 2 - scurgere turbulentă pe suprafață netedă, mișcare guvernată de ecuația lui Blasius
- 3 - scurgere turbulentă pe suprafață rugoasă, mișcare guvernată de ecuația lui Manning
- 4 - scurgere turbulentă, utilizând o valoare constantă a coeficientului  $f$  constantă.

În aceste 4 cazuri au fost determinate caracteristicile scurgerii lichide de suprafață: viteza, adâncimea și efortul tangențial.

Rezultatele sunt prezentate în tabelul 2.2, ele având o mare importanță pentru determinarea debitului solid, adică a cantității de particule solide antrenate de pe versanți.

Tabelul 2.2

<b>Viteza</b>		$u = c S^a q^d$	
0	1	2	3
Tipul mișcării	$c$	$a$	$d$
Laminar $K = \text{const.}$	$(8g/Kv)^{0.333}$	0.333	0.667
Turbulent suprafață netedă	$(8g/0.22)^{0.333} v^{-0.083}$	0.333	0.417
Turbulent , $n = \text{const.}$	$(1/n)^{0.6}$	0.3	0.4
Turbulent $f = \text{const.}$	$(8g/f)^{0.333}$	0.333	0.333
<b>Adâncimea</b>		$h = c S^a q^d$	
Tipul mișcării	$c$	$a$	$d$
Laminar $K = \text{const.}$	$(Kv/8g)^{0.333}$	-0.333	0.333
Turbulent suprafață netedă	$(0.22/8g)^{0.333} v^{0.083}$	-0.333	0.583



0	1	2	3
Turbulent n = const.	$n^{0.6}$	-0.3	0.6
Turbulent f = const.	$(f/8g)^{0.333}$	-0.333	0.667
<b>Efortul tangențial</b> $\tau = c S^a q^d$			
Tipul mișcării	c	a	d
Laminar K = const.	$\rho g (Kv/8g)^{0.333}$	0.667	0.333
Turbulent suprafață netedă	$\rho g (0.22/8g)^{0.333} v^{0.083}$	0.667	0.583
Turbulent n = const.	$\rho g n^{0.6}$	0.7	0.6
Turbulent f = const.	$\rho g (f/8g)^{0.333}$	0.667	0.667

b). Capacitatea de transport a sedimentelor

Mișcarea sedimentelor depinde în principal de următorii parametrii:

$$q_s = f(L, S, i, q, \tau_0, \tau_c, \rho, \nu) \quad (2.83)$$

unde  $\tau_c$  – efortul tangențial critic.

În urma unor analize experimentale, relația de mai sus se poate pune sub forma [Julien, 1982]:

$$q_s = \alpha \cdot S^\beta \cdot q^\gamma \cdot i^\delta \cdot \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau_0}\right)^\epsilon \quad (2.84)$$

unde  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$  sunt coeficienți experimentali.

Când  $\tau_c$  este comparabil cu  $\tau_0$ , atunci ecuația se reduce la:

$$q_s = \alpha \cdot S^\beta \cdot q^\gamma \cdot i^\delta \quad (2.85)$$

Mai mulți cercetători au încercat să determine valorile lui  $\beta$  și  $\gamma$ , au arătat că pentru curgere laminară valoarea lui  $\beta$  variază între 1.2 și 1.9, iar  $\gamma$  între 1.4 și 2.4. Rezultatele lor se pot vedea în figura 2.21.

c). Estimarea pierderilor de sol în urma unei ploi torențiale

- pierderea potențială de sol de pe o suprafață de lățime W, pe parcursul unei ploi torențiale de durată t este dată de:

$$E = W \int_0^t q_s dt \quad (2.86)$$

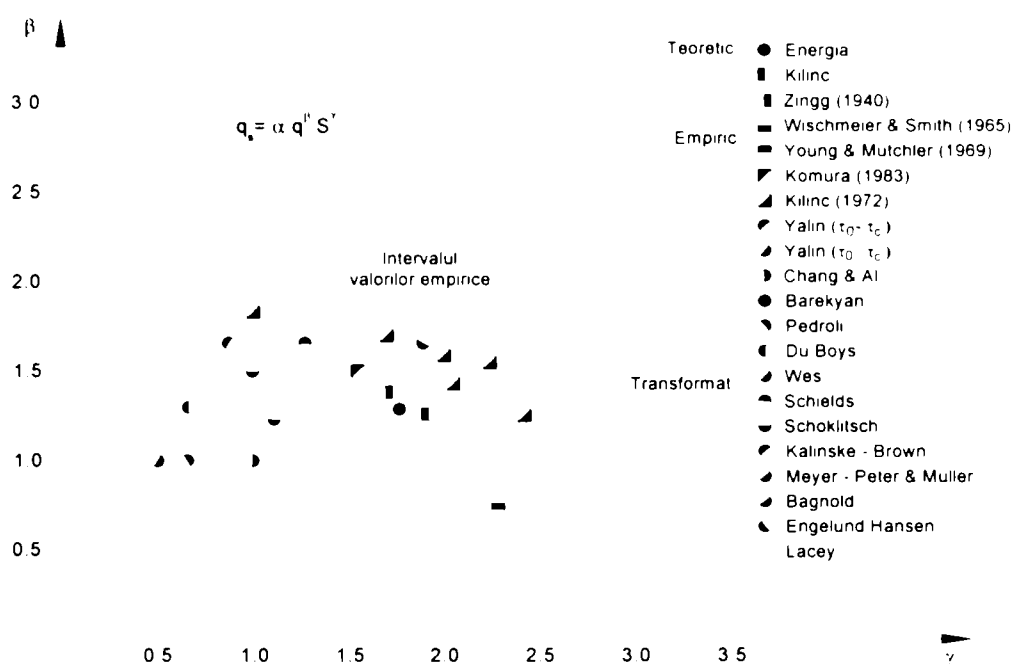


Fig.2.21 Exponentii  $\beta$  și  $\gamma$  din ecuațiile de transport (după Julien, 1986)

Într-o primă aproximație se poate considera că intensitatea ploii rămâne constantă pe toată durata ei, în acest caz se poate calcula analitic hidrograful scurgerii solide.

O altă relație de determinare a pierderilor potențiale de sol în urma unei singure ploi torențiale de intensitate  $i$  și durată  $t_r$  este:

$$E = A_e \alpha S^\beta L^{\gamma-1} \frac{CP}{i^{\gamma+\delta}} t_r \quad (2.87)$$

$\downarrow$   $\downarrow$   
 caracteristicile caracteristicile  
 zonei ploii  
 $\downarrow$   
 caracteristicile  
 folosirii terenului

unde:  $A_e$  – aria terenului;  $L$  – lungimea;  $S$  – panta;  $C$  – coeficient de acoperire a terenului;  $P$  - coeficient dat de folosința a terenului.

#### d). Estimarea pierderilor de sol în urma unui număr mare de ploi torențiale

Variația naturală a caracteristicilor ploii poate fi descrisă cu ajutorul a două funcții de densitate de probabilitate exponențiale independente  $p(t_r)$  și  $p(i)$  pentru durată și intensitate. Valoarea estimată a pierderilor de sol în urma unei ploi torențiale de durată și intensitate necunoscută este dată de:

$$M = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} E p(t_r) p(i) dt_r di \quad (2.88)$$

$p(t_r)$  și  $p(i)$  reprezentând densitatea de repartiție pentru durata și intensitatea ploii.

$M$  depinde de durata medie și de intensitatea medie a ploii torențiale,  $\bar{t}_r$ , respectiv  $\bar{i}$ .

$$M = A_e \alpha S^\beta L^{\gamma-1} \Gamma(\gamma + \delta + 1) C P \bar{t}_r \bar{i}^{\gamma+\delta} \quad (2.89)$$

unde  $\Gamma(\gamma + \delta + 1)$  este funcția gamma.

**Domenii de aplicabilitate:**

- în relația (2.86) intensitatea ploii torențiale se consideră constantă
- se obțin rezultate bune în estimarea pierderilor de sol cu relațiile (2.88) și (2.89) dacă durata medie a ploii și intensitatea medie se calculează pentru un număr de cel puțin 50 ploi torențiale.

2. Model bazat pe ecuația de bilanț dintre intensitatea precipitațiilor, a scurgerii de suprafață și a infiltrațiilor [Govindaraju et al, 1991]

Structura modelului:

Pentru faza lichidă se aplică ecuațiile de continuitate și de conservare al momentului:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial(Vy)}{\partial x} = R(x, t) - f(x, t) = i(x, t) \quad 0 < x < L, t > 0 \quad (2.90)$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} - \frac{iV}{gy}$$

unde:  $y(x,t)$  – adâncimea apei scurgerii de suprafață;  $V(x,t)$  – viteza medie a scurgerii;  $L$  – lungimea pantei;  $S_0$  – panta;  $i(x,t)$  – intensitatea scurgerii de suprafață;  $R(x,t)$  – intensitatea precipitațiilor;  $f(x,t)$  – intensitatea infiltrației;  $S_f$  – panta liniei energetice.

Condițiile la limită care se pun sunt [Foster, 1982]:

$$y(x,0) = 0 \quad 0 \leq x \leq L$$

$$y(0, t) = 0 \quad (2.91)$$

$$\frac{\partial y(L, t)}{\partial x} = 0$$

Pentru faza solidă ecuațiile folosite sunt:

$$\frac{\partial}{\partial t} (cy) + \frac{\partial}{\partial x} (cq) = (D_r + D_l) / \rho_s \quad (2.92)$$

unde:  $c(x,t)$  – concentrația sedimentelor;  $\rho_s$  – densitatea particulelor solide;  $q$  – debitul scurgerii de suprafață;  $D_r$  – rata eroziunii pe ravene (masă/unitatea de arie/unitatea de timp);  $D_l$  – rata eroziunii pe suprafețele dintre ravene (masă/unitatea de arie/unitatea de timp).

Condițiile la limită care se pun sunt:

$$\begin{aligned} c(x,0) &= 0 \\ c(0,t) &= 0 \\ \frac{\partial c(L,t)}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \quad (2.93)$$

**Domenii de aplicabilitate:**

- se aplică pentru versanți cu pante peste 5%, unde factorul principal în antrenarea particulelor solide este scurgerea de suprafață;
- se aplică în cazul în care concentrația particulelor solide în scurgerea de suprafață este suficient de mică ca să nu afecteze dinamica scurgerii apei;
- se aplică pentru pante cu o lungime  $L > 20$  m.

*2.3.5 Estimarea eroziunii totale pe bazine hidrografice mici (sub 1.300 ha)*  
[Popovici, 1991]

1. Estimarea turbidității medii a scurgerii superficiale de pe versanți

$$\rho = 10 \cdot \rho_n \cdot a_p \cdot L^i \cdot t^{-0.65} \quad (2.94)$$

unde:  $\rho$  – turbiditatea medie a scurgerii superficiale pe unitatea de volum ( $\text{kg/m}^3$ );  $\rho_n$  – turbiditatea normată a scurgerii ( $\text{kg/m}^3$ ), se găsește în tabele;  $a_p$  – agresivitatea pluvială în valori relative, se găsește în tabele;  $L$  – lungimea de scurgere (m);  $i$  – panta medie a suprafeței de colectare;  $t$  – durata scurgerii (min).

Efluența aluvionară prin secțiunea de închidere a suprafeței de colectare considerate se calculează cu ajutorul formulei:

$$\begin{aligned} E_a &= C_a \cdot E_t \\ C_a &= \frac{\rho_a}{\rho_u} \end{aligned} \quad (2.95)$$

unde:  $E_a$  – efluența aluvionară;  $C_a$  – coeficientul de efluență aluvionară;  $E_t$  – eroziunea totală;  $\rho_a$  – turbiditatea medie a scurgerii într-o secțiune de control;  $\rho_u$  – turbiditatea medie a scurgerii de pe suprafața de colectare unitară.

2. Metoda încărcării potențiale

$$I_p = f(h, i, F_a / F, l_a / l, t_r) \quad (2.96)$$

unde:  $I_p$  – coeficient de încărcare potențială;  $h$  – stratul de precipitații maxime în 24 ore (mm);  $i$  – panta medie a albiei principale;  $t_r$  – rezistența la antrenare a materialului solid dezagregat;  $F_a$  – suprafața activă care constituie sursa de aluviuni;  $F$  – suprafața bazinului hidrografic;  $l_a$  – lungimea activă a albiei furnizoare de aluviuni;  $l$  – lungimea totală a albiei.

**Domenii de aplicabilitate:**

- se aplică pentru bazine hidrografice mici (sub 1 300 ha)
- se bazează pe determinări experimentale
- volumul de aluviuni se calculează cu ajutorul unor grafice date în literatura de specialitate.

*2.3.6 Modelarea procesului de eroziune pe versanți bazat pe reprezentarea matematică a proceselor hidrologice și de eroziune fundamentale*

Procesele fundamentale de eroziune sunt dislocarea și transportul particulelor solului de către picăturile de ploaie, antrenarea și transportul particulelor solului de către scurgerea de suprafață și sedimentarea acestora [Foster, 1990]. Pentru modelare se aplică două concepte principale. Primul este ecuația conservării masei [Bennett, 1974] :

$$\frac{\partial G}{\partial x} + \frac{\partial(cy)}{\partial t} = D_i + D_f \quad (2.97)$$

unde: G – debitul solid; x – distanța; c – concentrația sedimentelor în scurgerea de suprafață; t – timpul; D<sub>i</sub> – aportul lateral de sedimente; D<sub>f</sub> – cantitatea de particule antrenate sau sedimentate; y – direcția verticală (pe adâncimea scurgerii de suprafață).

Această ecuație arată că debitul solid crește sau scade de-a lungul pantei versantului, iar membrul drept arată debitul solid se modifică prin procesele de antrenare sau sedimentare.

Al doilea concept este relația dintre debitul solid și capacitatea de transport al curentului de apă:

$$D_f = D_c \left(1 - \frac{G}{T_c}\right) \quad (2.98)$$

unde: D<sub>c</sub> – capacitatea de antrenare a curentului de apă; T<sub>c</sub> – capacitatea de transport a curentului de apă.

Pentru procesul de sedimentare, se poate aplica ecuația:

$$D_f = (\beta V_f / \sigma x)(T_c - G) \quad (2.99)$$

unde: β – factor de turbulență, care arată tendința curentului de apă de a menține particula în suspensie; V<sub>f</sub> – viteza de sedimentare a particulei; σ – ploaia în exces.

Scurgerea apei pe versanți are loc prin microrigole și pe suprafețele dintre acestea (figura 2.22) [William et al, 1995]. Antrenarea particulelor solide se produce

atât în aceste microrigole (datorită mai ales curentului de apă), cât și pe suprafețele dintre ele (datorită mai ales impactului picăturilor de ploaie).

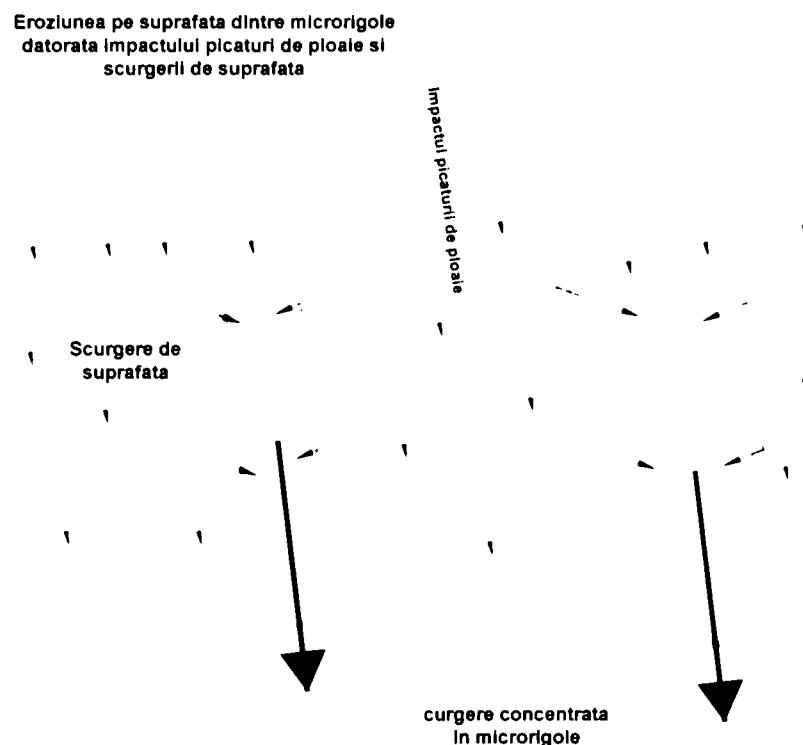


Fig.2.22 Suprafața versanților cu microrigole (după William, 1995)

Pentru calculul ratei de antrenare pentru suprafața dintre microrigole se poate utiliza următoarea relație:

$$P_i = i^2 K_i C_i C_g C_s \quad (2.100)$$

unde:  $P_i$  – rata de antrenare;  $i$  – intensitatea ploii;  $K_i$  – factor de erodabilitate al solului la picătura de ploaie;  $C_i$  – coeficient dat de protecția oferită de arbori;  $C_g$  – coeficient dat de protecția oferită de vegetație;  $C_s$  – coeficient dat de protecția oferită de biomasa solului.

Relația este determinată pe cale empirică, valorile coeficienților trebuiesc determinate experimental. Relațiile dintre procesele fundamentale de eroziune pe aceste suprafețe sunt ilustrate în figura 2.23.

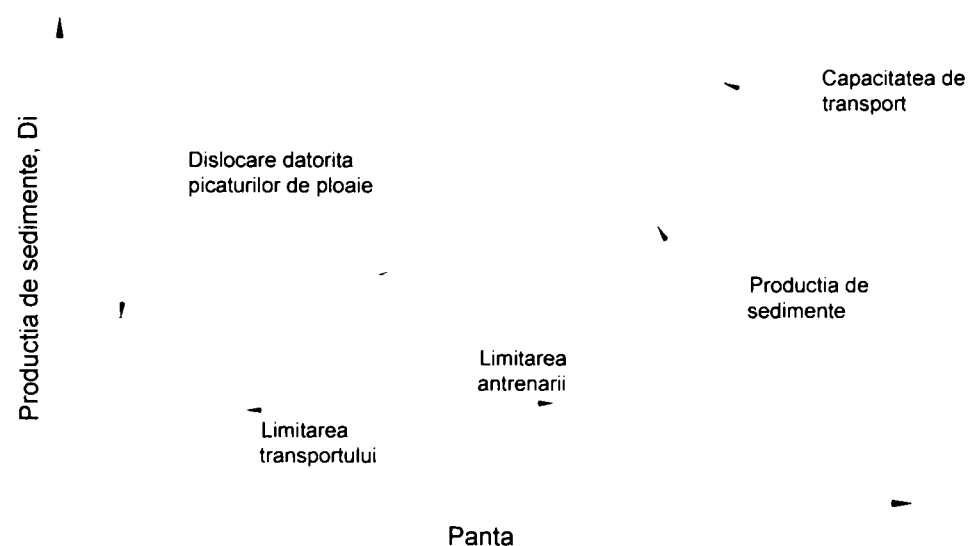


Fig.2.23 Relațiile dintre procesele fundamentale de eroziune (după Foster, 1990)

Relația de mai sus pentru  $P_i$  este valabilă dacă capacitatea de transport al curentului de apă este mai mare decât rata de dislocare a sedimentelor de picăturile de ploaie. Având în vedere cele de mai sus, se poate scrie următoarea ecuație pentru calculul lui  $D_i$ :

$$D_i = (\varphi \frac{dT_c}{dx} + P_i) / (1 + \varphi) \quad (2.101)$$

unde:  $\varphi = \beta V_f / \sigma$ .

Pentru microrigole se poate scrie relația:

$$D_c = K_r (\tau_s - \tau_c) \quad (2.102)$$

unde:  $K_r$  – factor de erodabilitate al solului;  $\tau_s$  – efortul tangențial dezvoltat de apă asupra solului;  $\tau_c$  – efortul tangențial critic de antrenare, care s-a calculat la paragraful 2.1.

$$\tau_s = \gamma \cdot v_{cr} f_s / 8g \quad (2.103)$$

unde:  $\gamma$  – greutatea specifică a apei;  $v_{cr}$  – viteza apei;  $f_s$  – coeficient de frecare;  $g$  – accelerația gravitațională.

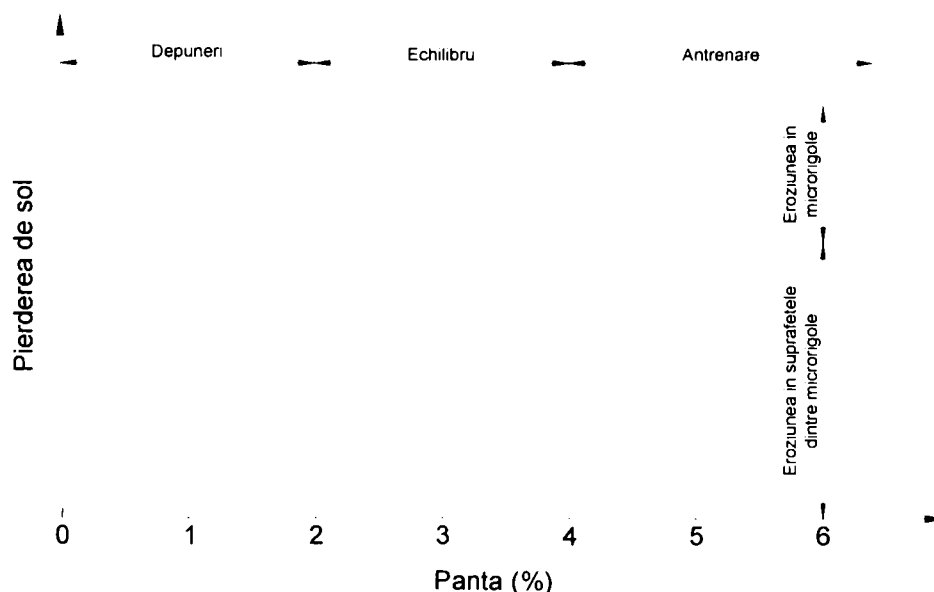
Dacă rata de producere a sedimentelor este mai mare decât capacitatea de transport al curentului de apă, atunci au loc depuneri, a căror cantitate se poate determina cu:

$$A = (\varphi \frac{dT_c}{dx} + D_i) / (1 + \varphi) \quad (2.104)$$

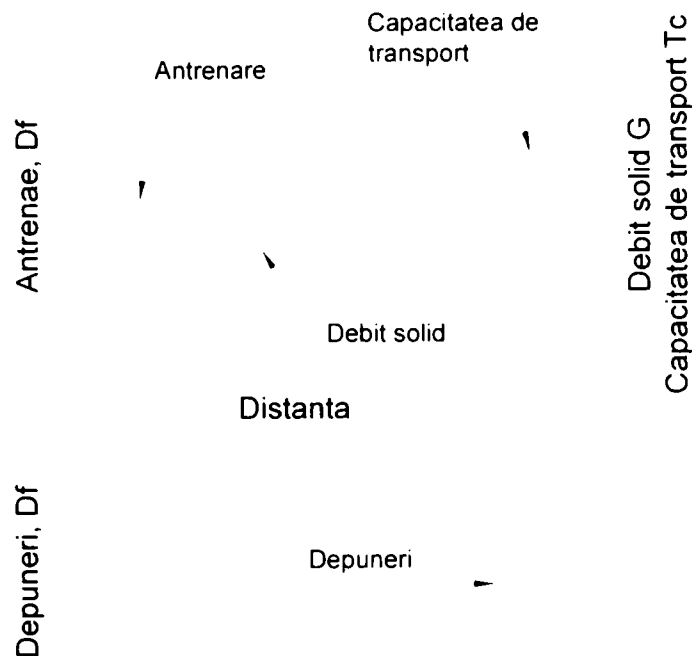
unde  $A$  se exprimă în unități de greutate raportate la suprafață.

Relația dintre panta versantului și procesele de eroziune este arătată în figura 2.24.

Ceea ce am prezentat mai sus se baza pe ipoteza unei pante uniforme a versantului, dar în realitate versanții au o pantă neuniformă. Variația proceselor erozionale pe acest tip de versanți este prezentată în figura 2.25.



2.24 Relația dintre panta versantului și procesele de eroziune (după Foster, 1990)



2.25 Relația dintre panta versantului și procesele de eroziune pentru un versant cu pantă neuniformă (după Foster, 1990)

**Domenii de aplicabilitate:**

- modelul se poate aplica cu rezultate bune pentru suprafețe cu folosință agricolă.

*2.3.7 Model de eroziune bazat pe modelul undei cinematice*

Modelul constă din trei ecuații de bază [Laguna et al, 1993]:

- ecuația de conservare a masei pentru faza lichidă

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i - f \tag{2.105}$$

unde: h – adâncimea apei; q – debitul unitar; i – intensitatea ploii torențiale; f – intensitatea infiltrației; t – timpul; x – distanța de-a lungul versantului.

- ecuația conservării momentului

$$q = \alpha \cdot h^a \tag{2.106}$$

unde: α - coeficientul Manning sau Chezy; a – exponent.

- ecuația de conservare a masei pentru faza solidă

$$\frac{\partial(hc)}{\partial t} + \frac{\partial(qc)}{\partial x} = E_i + E_r \tag{2.107}$$

unde: c – concentrația sedimentelor în scurgerea de suprafață; E<sub>i</sub> – rata de producție a sedimentelor pe suprafețele dintre microrigole în kg/m<sup>2</sup>s; E<sub>r</sub> - rata de producție a sedimentelor în microrigole.



Pentru calculul lui  $E_i$  se poate folosi următoarea relație bazată pe corelația dintre intensitatea ploii și rata de producție a sedimentelor:

$$E_i = B \cdot i^m \quad (2.108)$$

unde:  $B$  – coeficient;  $m$  – exponent.

Pentru calculul lui  $E_r$  se poate utiliza una din următoarele ecuații [Bagnold, 1977]:

$$E_r = \gamma(k \cdot h^b - c \cdot q) \quad (2.109)$$

unde:  $\gamma$  – parametru;  $b$  – exponent, se poate presupune că  $a = b$ .

$$E_r = \xi \left(1 - \frac{q \cdot c}{T_c}\right) \quad (2.110)$$

unde:  $T_c$  – capacitatea de transport a curentului de apă din microrigolă;  $\xi$  – coeficient care se calculează cu formula:

$$\xi = K_r(\tau_s - \tau_c) \quad \text{daca} \quad \left(1 - \frac{q \cdot c}{T_c}\right) > 0$$

sau

$$\xi = \frac{v_c \cdot T_c}{q} \quad \text{daca} \quad \left(1 - \frac{q \cdot c}{T_c}\right) > 0 \quad (2.111)$$

unde:  $v_c$  – viteza critică de antrenare;  $K_r$  – factor de erodabilitate al solului;  $\tau_s$  – efortul tangențial dezvoltat de apă asupra solului;  $\tau_c$  – efortul tangențial critic de antrenare, care s-a calculat la paragraful 2.1.

$$E_r = \rho \cdot g \cdot S_L \cdot K_r \left[ \frac{q_L}{L} + \frac{v_c L}{q_L} \left(1 - \frac{x_*}{x}\right) \right] + \frac{\partial(hc)}{\partial t} \quad (2.112)$$

unde:  $\rho$  – densitatea apei;  $g$  – accelerația gravitațională;  $S_L$  – panta versantului (microrigolei);  $L$  – lungimea versantului;  $q_L$  – debitul de apă;  $x_*$  - lungimea microrigolei pe care nu se produce antrenarea sedimentelor.

Condițiile inițiale și de frontieră sunt următoarele:

$$\begin{aligned} h(x,0) &= 0 & 0 \leq x \leq L \\ h(0,t) &= 0 & t \geq 0 \\ i(x,t) &= i > 0 & 0 < t < T \\ i(x,t) &= 0 & t \geq T \\ f(x,t) &= f > 0 & h(x,t) > 0 \\ f(x,t) &= 0 & h(x,t) = 0 \end{aligned} \quad (2.113)$$

unde:  $T$  – durata ploii.

**Domenii de aplicabilitate:**

- se poate aplica pentru calculul cantității de aluviuni provenite de pe versanți cu pantă relativ uniformă
- se bazează pe ipoteza că pe toată suprafața studiată intensitatea ploii are aceeași valoare

- intensitatea infiltrației se consideră constantă.

### 2.3.8 Estimarea eroziunii în adâncime și a altor forme de eroziune (alunecări de teren)

Se face parcurgând următoarele etape [Popovici, 1991; Bâcov, 1978]:

- pe planurile topografice se trasează toate ogașele și ravenele (din observații pe teren) care, la rândul lor, se divizează în sectoare relativ omogene din punct de vedere al stadiului de evoluție, al pantei longitudinale a talvegului și a caracteristicilor secțiunii transversale
- pentru fiecare sector relativ omogen se măsoară lungimea, panta talvegului, lățimea la bază, înălțimea și deschiderea la partea superioară a secțiunii active, perimetrul acesteia, caracteristicile morfometrice ale treptelor, se notează datele referitoare la condițiile litologice și la gradul de acoperire cu vegetație
- se calculează suprafața activă desfășurată pe sectoare omogene
- se estimează volumul de material solid erodat din fiecare sector în funcție de suprafața activă desfășurată și de rata medie multianuală a eroziunii în adâncime pentru diferite stadii evolutive, ale cărei valori sunt cuprinse între 50 – 1800 m<sup>3</sup>/ha.an, funcție de caracteristicile sectoarelor studiate
- pentru alunecările de teren (figura 2.26) se determină volumul de pământ deplasat.

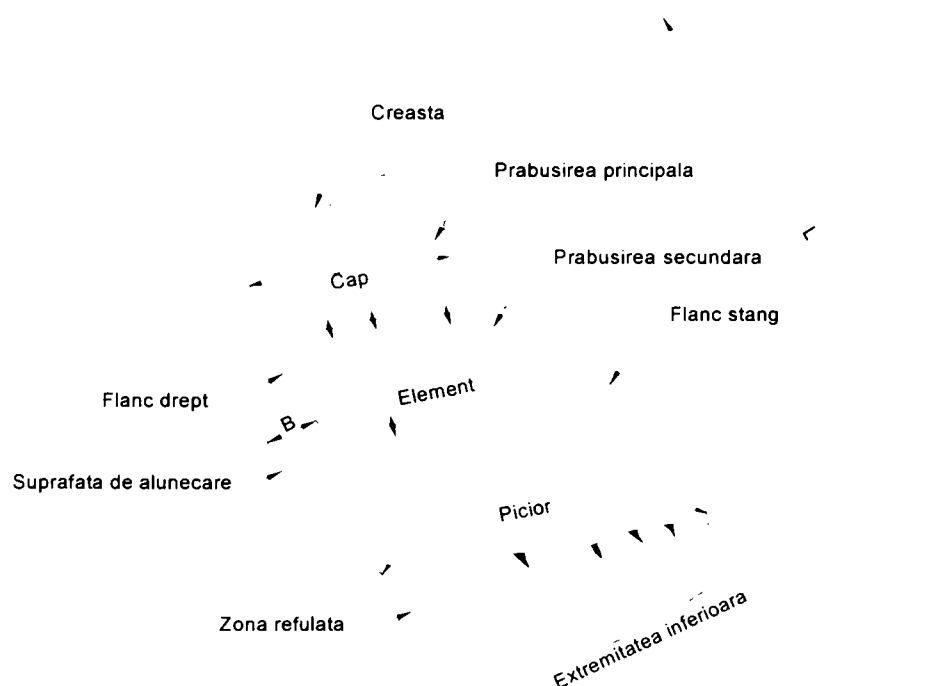


Fig.2.26 Elementele morfologice ale unei alunecări de teren (după Popovici, 1991)

### 2.3.9 Model pentru simularea curgerilor de noroi "mud flow"

Curgerile de noroi (torenții noroioși) sunt fenomene periculoase care apar în regiunile muntoase, ca urmare a alunecărilor de teren de la partea superioară a versanților. Masa de pământ amestecată cu apă alunecă spre baza versantului concentrându-se de obicei pe văile ravenelor sau ale torenților. Ele pot duce la pagube mari și pierderi de vieți omenești, dacă la baza versantului se află așezări omenești. Astfel de fenomene s-au produs în Italia și în Japonia (figura 2.27).

Structura modelului:

Ecuatiile guvernante sunt cele de conservare de masă și moment [MacArthur et al, 1986; Takahashi et al, 1991]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh(S_{0x} + S_{fx}) &= 0 \\ \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh(S_{0y} + S_{fy}) &= 0 \end{aligned} \quad (2.114)$$

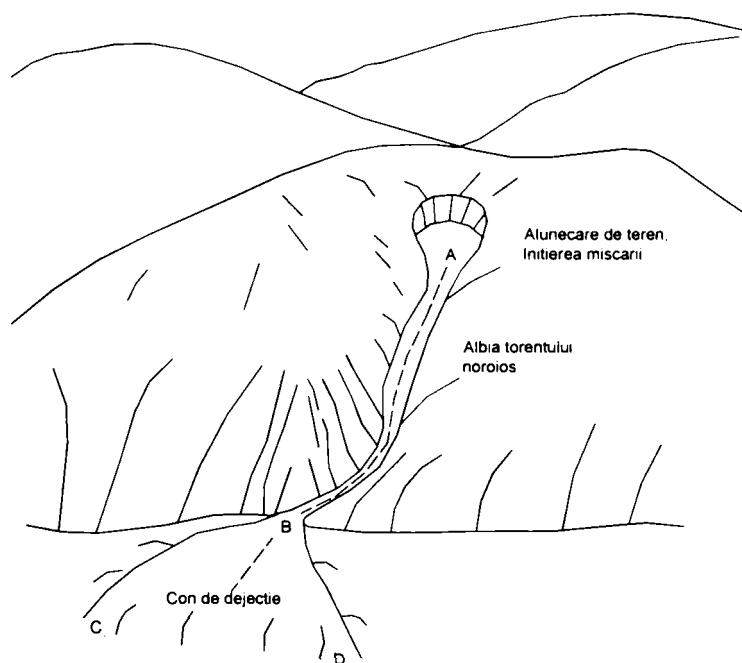


Fig.2.27 Fenomenul de curgere de noroi (după MacArthur, 1986)

unde:  $t$  – timpul;  $x$  – coordonată orizontală;  $y$  – coordonată transversală;  $h$  – adâncimea;  $p$  – debit volumetric pe unitatea de înălțime în direcția  $x$ ;  $q$  – debit volumetric pe unitatea de înălțime în direcția  $y$ ;  $g$  – accelerația gravitațională;  $S_{0x}$  – panta albiei în direcția  $x$ ;  $S_{0y}$  – panta albiei în direcția  $y$ ;  $S_{fx}$  – rezistența la înaintare pe direcția  $x$ ;  $S_{fy}$  – rezistența la înaintare pe direcția  $y$ .

**Domenii de aplicabilitate:**

- este un model bidimensional
- metoda se poate utiliza pentru modelarea fenomenelor de curgeri de noroi, utilizând următoarele ipoteze:
  - distribuție de presiuni hidrostatică
  - fluid omogen
  - concentrația de particule solide rămâne constantă
  - neglijarea depunerilor
  - în direcția verticală vectorul viteză este aproape constant.

*2.3.10 Determinarea cantității totale de sedimente provenite dintr-un bazin hidrografic*

1. Volumul total de aluviuni mediu anual se poate obține cu formula [Popovici, 1991]:

$$W_a = C_p (W_{av} + W_{aa}) \quad (2.115)$$

unde:  $W_{av}$  – ( $m^3/an$ ) volumul aluviunilor antrenate de pe versanți;  $W_{aa}$  – ( $m^3/an$ ) volumul aluviunilor antrenate de pe albi;  $C_p$  – coeficient funcție de înălțimea medie a ploii  $H_m$  pe bazin,  $i$  – intensitatea medie a precipitațiilor dintr-un an;  $T$  – durata precipitațiilor dintr-un an:

$$C_p = f(H_m) \quad \text{sau} \quad C_p = f(i, T) \quad (2.116)$$

$$C_p = \left( \frac{H_m}{800} \right)^{0.5}$$

$$W_{av} = sb \sum_{k=1}^n s_{v,k} \left( \frac{i_{1,k}}{0,3} \right)^{1,3} q_{1,k} \quad (2.117)$$

unde:  $s$  – coeficient funcție de densitatea rețelei hidrografice

$$s = \left( \frac{5F}{L} \right)^{0,5} \quad (2.118)$$

$b$  – coeficient de reducere a volumului de aluviuni efectiv erodate, datorită opririi pe parcurs a unei părți din aceste aluviuni;  $F$  – ( $km^2$ ) suprafața bazinului hidrografic;  $L$  – ( $km$ ) lungimea rețelei hidrografice;  $s_v$  – ( $ha$ ) suprafața terenurilor de pe versanți inclusă într-o categorie;  $i_1$  – panta medie a terenurilor de pe versanți inclusă într-o anumită categorie;  $q_1$  – ( $m^3/ha.an$ ) indicele de eroziune a terenurilor de pe versanți corespunzător categoriilor de terenuri;  $k$  – numărul curent al categoriei de teren.

$$W_{aa} = b \left[ R_k \cdot c_{2,k} \cdot q_{2,k} \cdot \left( \frac{i_{2,k}}{i_k} \right)^{0,5} \right] \quad (2.119)$$

## Capitolul 2 Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale

unde:  $b$  – coeficient de reducere a volumului de aluviuni efectiv erodate, datorită opririi pe parcurs a unei părți din aceste aluviuni;  $R$  – (km) lungimea albiilor dintr-o grupă de albi, stabilită în funcție de acoperirea cu vegetație a bazinului de recepție al albiilor, de panta albiilor și de lățimea lor;  $c_2$  – coeficient de erodabilitate mediu al terenurilor de pe rețeaua de albi și maluri aferente;  $q_2$  – ( $m^3/km \cdot an$ ) indicele de eroziune pe un sector de albie;  $i_2$  – panta medie a albiilor de lungime  $R$ ;  $i$  – panta albiilor dintr-o anumită grupă funcție de acoperirea cu vegetație a bazinului hidrografic și de lățimea albiilor (din grafice);  $k$  – numărul curent al categoriei de albie.

### Domenii de aplicabilitate:

- se recomandă pentru bazinele hidrografice cu activitate torențială puternică, în care predomină transportul de material grosier
- în cazul terenurilor agricole cu eroziune moderată sau puternică și o activitate restrânsă a eroziunii în adâncime se subestimează volumul de aluviuni.

2. Formula lui Williams, 1975 [Di Silvio, 1998] – are aceeași structură cu ecuația universală a pierderilor de sol ( $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ ), cu excepția factorului  $R$ , care este înlocuit cu produsul dintre debitul maxim al scurgerii și volumul scurgerii:

$$G_s \cong 11.8(V \cdot Q_p)^{0.56} \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.120)$$

unde:  $V$  – volumul scurgerii în  $m^3$ ;  $Q_p$  – debitul maxim al scurgerii în  $m^3/s$ ;  $G_s$  – producția de sedimente la o singură ploaie torențială în tone.

Formula a fost dedusă prin studierea a 778 ploi torențiale în 18 bazine hidrografice din Texas și Nebraska.

### Domenii de aplicabilitate:

- este aplicabilă cu destulă precizie doar pentru eroziunea de suprafață de pe terenurile agricole
- dă rezultate eronate pentru terenuri aflate în starea lor naturală (ex. păduri).

3. Determinarea producției lunare de sedimente rezultate în urma ploilor torențiale și a topirii zăpezii dintr-un bazin hidrografic – se poate face utilizând următoarele relații [Julien et al, 1986]:

$$Q_{sp} \cong 2417 \cdot C_s \cdot \bar{C} \cdot C_r \cdot A_t^{1.137} \frac{n \alpha \bar{S}^{-1.66} \bar{L}^{-1.035}}{\lambda_1 \lambda_2^{2.035}} \quad (2.121)$$

$$Q_{sf} \cong 30.7 \cdot C_s \cdot \bar{C} \cdot C_r \cdot A_t^{1.137} \bar{S}^{-1.66} \bar{L}^{-1.035} F^{1.65} \left( \frac{F}{F_T} \right)^{0.37}$$

unde:  $C_s$  – rata de producere a sedimentelor;  $\bar{C}$  – coeficient care depinde de folosința terenului;  $C_r$  – coeficient de scurgere;  $A_t$  – aria bazinului hidrografic în  $km^2$ ;  $n$  – numărul ploilor torențiale dintr-o lună;

$\alpha$  – coeficient care depinde de modul de calcul al debitului solid în t/ms;  $\bar{S}$  – panta medie a bazinului hidrografic;  $\bar{L}$  – lungimea medie a scurgerii;  $\lambda_1$  – parametru care depinde de durata ploii în s<sup>-1</sup>;  $\lambda_2$  – parametru care depinde de intensitatea ploii în s/m;  $F$  – rezerva de apă din zăpadă în m;  $F_T$  – grosimea stratului de zăpadă în m.

Modelul a fost aplicat pentru râul Chaudiere din Canada, diferențele între valorile calculate și măsurate ale cantității lunare de sedimente transportate de râu fiind prezentate în figura 2.28.

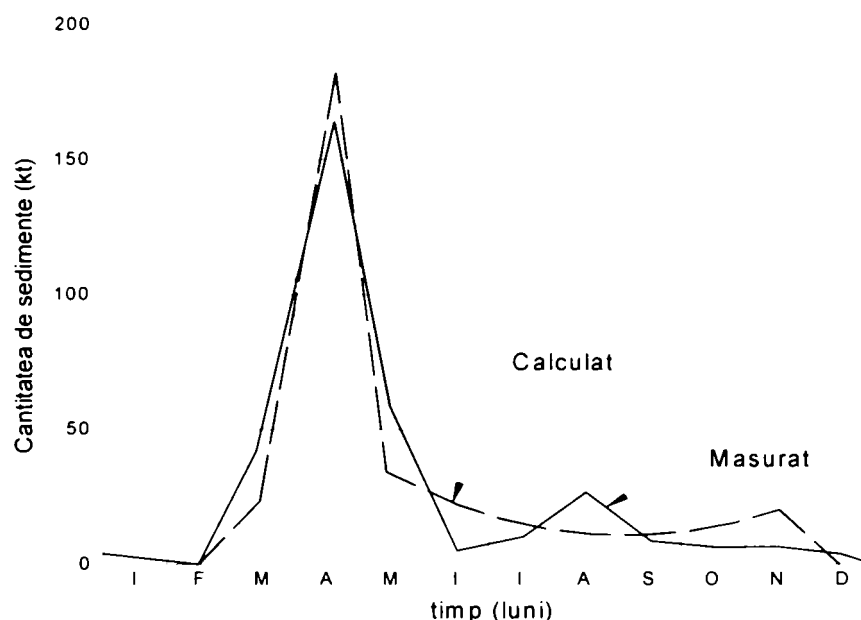


Fig.2.28 Valori calculate și măsurate ale cantității lunare de sedimente transportate (după Julien, 1986)

### Domeniu de aplicabilitate:

- s-au obținut rezultate bune la aplicarea formulelor la bazine hidrografice mari, cu suprafața de peste 500 km<sup>2</sup>.

## 2.4 Modelarea scurgerii lichide în rețeaua hidrografică

### 2.4.1 Modele unidimensionale

Curgerea unidimensională în cursuri de apă naturale e descrisă de ecuațiile Saint – Venant [David, 1990; Chaudhry, 1993; Popa, 1997]:

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{A}{B} \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{q_l}{B} = 0 \quad (2.122)$$

- ecuația conservării momentului:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot (S_f - S_0) = 0 \quad (2.123)$$

## Capitolul 2 Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale

unde:  $h$  – adâncimea apei;  $A$  – aria secțiunii transversale;  $B$  – lățimea oglinzii apei;  $v$  – viteza medie a apei;  $t$  – timpul;  $x$  – direcția de curgere;  $g$  – accelerația gravitațională;  $S_r$  – panta liniei energetice;  $S_0$  – panta talvegului;  $q_l$  – debitul din lateral.

Aceste ecuații se bazează pe următoarele ipoteze simplificatoare:

- curgere unidimensională, cu viteza uniformă în secțiune transversală și suprafață liberă orizontală în direcție transversală;
- curbura liniilor de curent redusă și accelerațiile după verticală neglijabile, astfel încât distribuția de presiune în secțiune transversală este hidrostatică;
- efectele turbulenței și frecărilor la patul albiei sunt descrise de relații identice cu cele din mișcarea permanentă;
- panta medie a talvegului în lungul curgerii este suficient de redusă, astfel încât  $\sin\alpha \cong \text{tg}\alpha = I$  (panta);
- forma geometrică a secțiunii transversale se admite arbitrară și variabilă în lungul albiei, dar cu variații lente care să nu afecteze puternic curbura liniilor de curent.

Un alt set de ecuații care descriu mișcarea unidimensională sunt ecuațiile lui Boussinesq, care se bazează pe aceleași ipoteze simplificatoare ca și ecuațiile Saint – Venant, cu deosebirea că ele consideră că distribuția presiunii în secțiune transversală nu este hidrostatică. Ecuațiile sunt [Chaudhry, 1993]:

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = 0 \quad (2.124)$$

- ecuația conservării momentului:

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right) - \frac{1}{3} \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial t} = 0 \quad (2.125)$$

semnificațiile notațiilor sunt aceleași ca la ecuațiile Saint – Venant.

### 2.4.2 Modele bidimensionale

Un model este cel bazat pe ecuația lui Reynolds, adică ecuația de mișcare mediată în timp pentru curgere turbulentă:[Guoxiang et al, 1989]

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = X_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \overline{(-u'_i u'_j)} \quad (2.126)$$

unde:  $u$  – viteza apei,  $u=(u_i)_{i=1,2}$ ;  $X$  – forța volumică;  $p$  – presiunea;  $x=(x_i)_{i=1,2}$ ;  $\tau$  - efortul tangențial dat de vâscozitatea fluidului;  $\overline{-u'_i u'_j}$  - efortul tangențial dat de turbulență (Reynolds).

În cazul curgerii turbulente uniforme, când vâscozitatea este negliabilă, obținem ecuația:

$$\rho g J + \frac{d}{dy} (-\rho \overline{u'v'}) = 0 \quad (2.127)$$

unde:  $J$  – panta liniei energetice;  $\rho$  - densitatea apei.

Un alt model se poate deduce folosind ecuația de continuitate și ecuația Navier – Stokes pentru un fluid incompresibil, prin integrarea lor în raport cu adâncimea apei [Chaudhry, 1993].

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.128)$$

Ecuația Navier - Stokes scrisă detaliat:

- ecuația conservării momentului:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= g_x - \frac{1}{\rho} \frac{\nabla p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= g_y - \frac{1}{\rho} \frac{\nabla p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= g_z - \frac{1}{\rho} \frac{\nabla p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 w \end{aligned} \quad (2.129)$$

unde:  $u, v, w$  – componentele vitezei apei pe cele trei direcții  $x, y, z$ ;  $g_x, g_y, g_z$  – componentele forței gravitaționale;  $\mu$  – vâscozitatea dinamică;  $p$  – presiunea;  $\nabla^2$  – operatorul lui Laplace.

Prin integrare în raport cu adâncimea apei se obține următoarea ecuație matriceală:

$$\mathbf{V}_t + \mathbf{P}_x + \mathbf{R}_y + \mathbf{T} = \mathbf{0} \quad (2.130)$$

unde:

$$\begin{aligned} \mathbf{V} &= \begin{pmatrix} h \\ u \\ v \end{pmatrix}; \quad \mathbf{P} = \begin{pmatrix} uh \\ \frac{1}{2}u^2 + gh \\ uv \end{pmatrix} \\ \mathbf{R} &= \begin{pmatrix} vh \\ uv \\ \frac{1}{2}v^2 + gh \end{pmatrix}; \quad \mathbf{T} = \begin{pmatrix} 0 \\ -g(S_{ox} - S_{fx}) \\ -g(S_{oy} - S_{fy}) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.131)$$

$S_{ox}, S_{oy}$  – panta fundului albiei pe direcțiile  $x, y$ ;  $S_{fx}, S_{fy}$  – panta liniei energetice pe direcțiile  $x, y$ .

#### Domenii de aplicabilitate:

- se aplică pentru studiul mișcării apei în canale cu nivel liber în situațiile în care modelul unidimensional nu este potrivit: în canale neprismatice, la studiul undelor de



viitură produse la accidentele de la construcțiile hidrotehnice sau la ruperea digurilor de protecție împotriva inundațiilor.

### 2.4.3 Modele tridimensionale

Un model tridimensional este cel bazat pe ecuația Navier-Stokes și ecuația de continuitate (forme vectoriale) [Wang, 1990]:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} + \frac{\nabla p}{\rho} - \varepsilon_t \nabla^2 \vec{u} - \vec{B} = 0 \quad (2.132)$$

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

unde:  $u$  – viteza apei,  $\vec{u} = \vec{u}(x, y, z, t)$ ;  $p$  – presiunea hidrostatică;  $\varepsilon_t$  – vâscozitatea (eddy viscosity);  $\rho$  - densitatea apei;  $\vec{B}$  - forța Coriolis.

#### Domenii de aplicabilitate:

- modelul este util în studiul eroziunilor și sedimentărilor locale în alpii, în apropiere de structuri hidrotehnice, poduri etc.; datorită formei destul de complicate, nu este recomandat pentru studiul curgerii lichide în sisteme hidraulice complexe.

### 2.4.4 O altă posibilitate de studiu a scurgerii lichide în bazine hidrografice (versanți și alpii)

- presupune următoarele [Bâcov, 1978] :

- calculul timpului de concentrare a scurgerii pe versant:

$$t_v = \frac{L_v}{v_v} \quad (2.133)$$

unde:  $L_v$  – lungimea versantului;  $v_v$  – viteza cu care se deplasează scurgerea superficială

$$v_v = C \cdot I^m h^n \quad \text{sau} \quad v_v = k_v \cdot L_v^{1/2} I^{1/4} \quad (2.134)$$

$C$  – coeficient;  $m, n$  – exponenți dați în tabele;  $I$  – panta versantului;  $h$  – adâncimea medie a apei;  $k_v$  – coeficient în funcție de acoperirea terenului cu vegetație.

- calculul timpului de concentrare a scurgerii în albie:

$$t_a = \frac{L_a}{v_a} \quad (2.135)$$

unde:  $L_a$  – lungimea văii;  $v_a$  – viteza apei

$$v_a = C \sqrt{RI_a} \quad (\text{Chezy}) \quad \text{sau} \quad v_a = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{h}}} \sqrt{hI_a} \quad (\text{Bazin}) \quad (2.136)$$

C – coeficientul lui Chezy; R – raza hidraulică;  $I_a$  – panta albiei;  $\gamma$  – rugozitatea după Bazin; h – adâncimea medie de apă.

- determinarea debitului de calcul pe bazine mici:

$$Q = k \cdot S \cdot i \quad (2.137)$$

unde: k – coeficient de scurgere; S – suprafața luată în calcul; i – intensitatea precipitațiilor.

- determinarea volumului scurgerii pe bazine hidrografice mari – se bazează pe teoria bilanțului scurgerii

$$V_{\text{total}} = V_{\text{scurgerii pe versant la un moment dat}} + V_{\text{acumulat în rețeaua de albie la același moment}} + V_{\text{scurt prin secțiunea de ieșire la același moment}} \quad (2.138)$$

$$V_v = \begin{cases} 710h_0S & \text{daca } t > t_c \\ 710h_1S & \text{daca } t < t_c \end{cases} \quad (2.139)$$

unde:  $h_0 = i_s t_c$ , înălțimea stratului de apă la baza versantului, în cazul în care timpul de concentrare  $t_c$  este mai mic decât intervalul de timp de la începerea scurgerii până la sfârșitul ploii t;  $i_s$  – intensitatea scurgerii de suprafață;  $h_1 = i_s t$ ;  $i_s$  = intensitatea ploii – intensitatea infiltrației.

$$V_a = \frac{1000}{3} \omega L \left( \frac{L + \sum l}{L} \right)^{1/6} \quad (2.140)$$

unde:  $\omega$  – aria secțiunii transversale de ieșire a canalului principal; L – lungimea canalului principal;  $\sum l$  – lungimea canalelor secundare.

$$V_i = 60 \sum t_n Q_n \quad (2.141)$$

în care:  $t_n$  – intervalul de timp în care debitul  $Q_n$  se menține constant.

### **Domenii de aplicabilitate:**

- relațiile se pot aplica pentru bazine hidrografice mici, cu formațiuni ale eroziunii în adâncime.

## 2.5 Modelarea scurgerii solide în rețeaua hidrografică

### 2.5.1 Cazul unidimensional

Structura modelului [Popa, 1997]:

Pentru evoluția fazei lichide se consideră ecuațiile Saint - Venant sub forma:

- ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (2.142)$$

- ecuația de mișcare:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} + g \cdot S_f = 0 \quad (2.143)$$

Pentru transportul de aluviuni se poate deduce o ecuație de continuitate a debitului solid sub forma:

$$(1 - p)\tilde{B} \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = 0 \quad (2.144)$$

la care trebuie să se adauge o relație de calcul pentru debitul total de aluviuni exprimată prin formula generală:

$$Q_s = Q_s(V, h) \quad (2.145)$$

unde:  $h = h(x, t)$  – adâncimea apei;  $V = V(x, t)$  – viteza apei;  $x$  – direcția de curgere a apei;  $t$  – timpul;  $g$  – accelerația gravitațională;  $\xi$  – cota patului albiei față de un plan orizontal de referință;  $S_f$  – panta liniei energetice în regim staționar;  $p$  – porozitatea materialului din patul albiei;  $\tilde{B}$  – lățimea secțiunii transversale afectată de transportul de aluviuni;  $Q_s$  – debitul volumic solid transportat.

#### **Domenii de aplicabilitate:**

- modelul se poate aplica pentru studiul interacțiunii curentului lichid cu patul mobil al albiei, în situațiile în care se pot lua în considerare ipotezele de la ecuațiile Saint – Venant.

#### *2.5.2 Cazul bidimensional*

a). Pentru faza fluidă se poate scrie ecuația lui Reynolds pentru curgere turbulentă (2.126), (2.127).

b). Pentru faza solidă se poate scrie ecuația de transport al sedimentelor în model convectiv - difuziv (curgere neuniformă, sedimente neuniforme) [Cheng, 1985]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} - w \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} k \frac{\partial c}{\partial y} \quad (2.146)$$

unde:  $u$  – viteza de curgere în direcție longitudinală  $x$ ;  $w$  – mărimea hidraulică a particulelor sedimentare;  $y$  – direcția verticală;  $k$  – coeficient de difuzie pentru sedimente;  $c$  – concentrația sedimentelor în suspensie.

Condiții la limită care se pun la rezolvarea analitică sau numerică a acestei ecuații:

$$k \frac{\partial c}{\partial y} + wc = 0, \text{ pentru } y = h \quad (2.147)$$

$$-(k \frac{\partial c}{\partial y} + wc)_{y=0} = -\alpha w(c - c^*)_{y=0} \quad (2.148)$$

unde:  $c^*$  - concentrația la nivelul patului albiei;  $\alpha$  - coeficient adimensional, care reflectă interacțiunea dintre patul albiei și sedimente.

#### **Domenii de aplicabilitate:**

- modelul se poate aplica pentru studiul interacțiunii curentului lichid cu patul mobil al albiei, fiind mai complex decât modelul unidimensional anterior

- modelul ține cont numai de debitul solid în suspensie.

*Model de transport solid în canale artificiale [Singh et al, 1985]*

Structura modelului:

Ecuția pentru calculul debitului de fund (figura 2. 29):

$$(1 - n)\delta(x, t)_{,t} + q_b(x, t)_{,x} = q_0(x, t) \quad (2.149)$$

unde:  $\delta(x, t)$  - grosimea stratului de sedimente;  $q_b(x, t)$  – debitul solid în direcție longitudinală;  $q_0(x, t)$  – debitul solid care intră sau iese din canal la suprafața liberă a apei  $z = \delta(x, t)$ ;  $x$  – direcția longitudinală;  $t$  – timpul;  $n$  – porozitatea materialului solid.

Ecuția pentru calculul debitului solid în suspensie:

$$c(x, t)_{,t} + u(x, t)c(x, t)_{,x} - D(x, t)c(x, t)_{,xx} = S_e(x, t) + S_d(x, t) \quad (2.150)$$

unde:  $c(x, t)$  – concentrația sedimentelor în suspensie;  $u(x, t)$  – viteza apei în direcție longitudinală;  $D(x, t)$  – coeficient de dispersie;  $S_e(x, t)$  - rata eroziunii;  $S_d(x, t)$  – rata depunerilor.

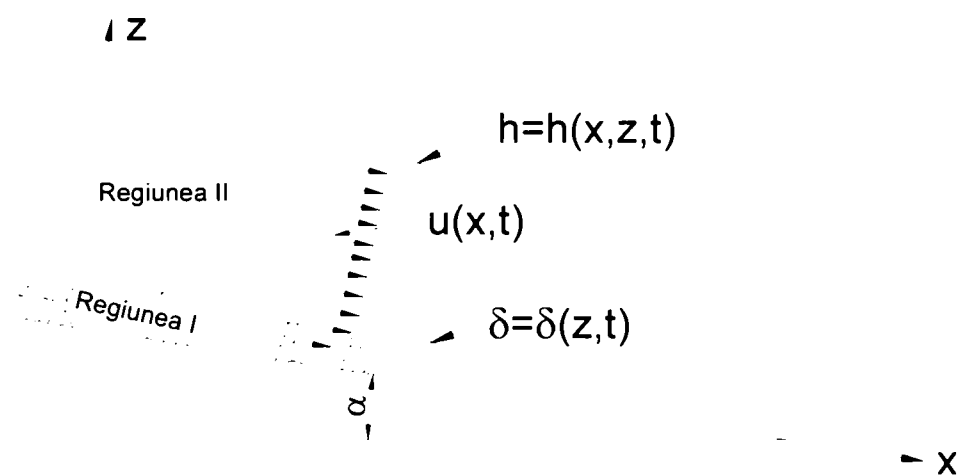


Fig.2.29 Transportul sedimentelor în canale artificiale (după Singh, 1985)

#### **Domenii de aplicabilitate:**

- modelul se poate aplica în cazul canalelor artificiale, cu secțiune transversală cunoscută;
- modelul se bazează pe unele ipoteze simplificatoare: porozitatea materialului de fund rămâne constantă, distribuția sedimentelor în suspensie este uniformă pe verticală;
- ecuațiile se pot asocia cu diferite ecuații ale fazei lichide, funcție de tipul și regimul de mișcare al apei.

### 2.5.3 Cazul tridimensional

Structura modelului:

a). Pentru faza lichidă se scriu ecuațiile Navier-Stokes și ecuația de continuitate (forma vectorială) (2.132).

b). Pentru faza solidă se scrie ecuația de transport (formă vectorială) [Wang, 1990]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} - \nabla \cdot (\epsilon_s \nabla c) + \nabla \cdot (c\bar{u}) - \frac{\partial}{\partial t}(w_s c) = 0 \quad (2.151)$$

unde:  $c$  – concentrația sedimentelor;  $w_s$  – viteza de sedimentare a particulei;  $\epsilon_s$  – coeficient de dispersie turbulentă pentru sedimente.

Ecuția se bazează pe principiul conservării masei sedimentelor și pe transportul difuziv și dispersiv de masă, ecuația a fost dezvoltată de McLaughlin (1961). Curgerea fazei lichide este considerată turbulentă.

Dezvoltarea ecuației de mai sus este [Krishnappan et al, 1989]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial(uc)}{\partial x} + \frac{\partial(vc)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} [(w - w_s)c] - \frac{\partial}{\partial x} (\epsilon_x \frac{\partial c}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (\epsilon_y \frac{\partial c}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z} (\epsilon_z \frac{\partial c}{\partial z}) = 0 \quad (2.152)$$

unde:  $C$  – concentrația sedimentelor în suspensie;  $t$  – timpul;  $w_s$  – viteza de sedimentare a particulelor (mărima hidraulică);  $u, v, w$  – componentele vitezei după cele trei direcții  $x, y, z$  (figura 2.30);  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  – coeficienții de dispersie turbulentă.

Condițiile la limită care se pun sunt:

$$\begin{aligned} (w - w_s)c - \epsilon_z \frac{\partial c}{\partial z} &= 0 \quad \text{dacă } z = h \text{ la sup rafața apei} \\ S_R + (1 - P_d) \cdot w_s \cdot c &= -\epsilon_z \frac{\partial c}{\partial z} \quad \text{dacă } z = 0 \text{ la fundul apei} \\ v \cdot c - \epsilon_y \frac{\partial c}{\partial y} &= q_s \quad \text{și } y = B \text{ pe maluri} \end{aligned} \quad (2.153)$$

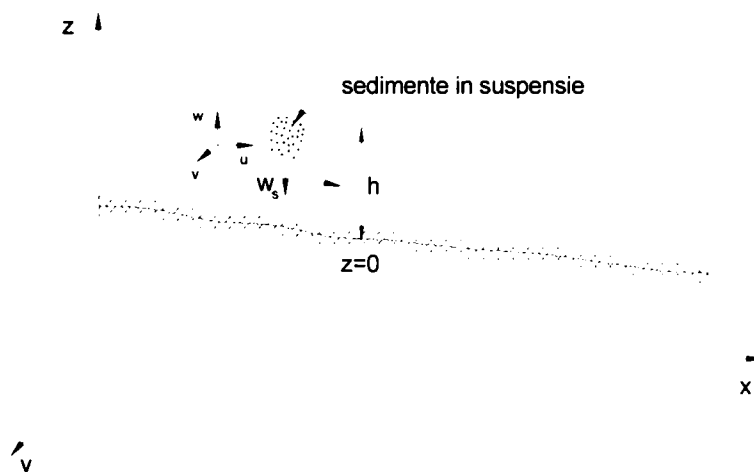


Fig.2.30 Axele de coordonate

unde:  $h$  – adâncimea apei;  $P_d$  – probabilitatea ca o particulă să nu fie antrenată de curentul de apă;  $S_R$  – rata de antrenare a sedimentelor de pe unitatea de suprafață a patului albiei;  $q_s$  – debitul solid provenit din eroziunea malurilor apei.

**Domenii de aplicabilitate:**

- fluid în curgere turbulentă
- se poate utiliza pentru investigarea eroziunilor locale, pentru studiul depunerilor de particule solide în vecinătatea structurilor hidraulice.

*2.5.4 Studiul transportului de sedimente în suspensie pe baza modelului  $k - \epsilon$*

Modelul a fost dezvoltat în scopul studierii mai aprofundate a transportului de sedimente în suspensie în regim turbulent [DeVantier et al, 1986]. Se bazează pe trei ecuații principale:

- ecuația de conservare a masei

$$\frac{\partial}{\partial x_i} V_i = 0 \quad (2.154)$$

- ecuația de conservare a momentului

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (V_i V_j) = -\frac{1}{\rho_b} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (1 + \eta \Lambda) g_i - \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{v_i v_j}) \quad (2.155)$$

- ecuația de conservare a masei sedimentelor

$$V_i \frac{\partial \Lambda}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} [\Lambda(1 - \Lambda)v_{si}] = -\frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{\lambda v_i}) \quad (2.156)$$

unde:  $V_i$  – viteza mediată în timp a apei;  $v_i$  – fluctuația vitezei în timp;  $v_{si}$  – mărimea hidraulică a sedimentelor;  $P$  – presiunea;  $\Lambda$  – volumul mediu de sedimente aflate în mișcare la un moment dat;  $\lambda$  – fluctuația volumului de sedimente aflate în mișcare în timp.

$$\eta = \frac{\rho_f - \rho_s}{\rho_s} \quad - \rho_f - \text{densitatea fluidului, } \rho_s - \text{densitatea sedimentelor}$$

$$-\overline{v_i v_j} = \nu_T \left[ \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right] - 2/3 \cdot k \cdot \delta_{ij} \quad (2.157)$$

unde:  $k$  – energia cinetică turbulentă pe unitatea de masă,  $k = \frac{1}{2} (\overline{v_i v_j})$

$$\nu_T = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad - \text{vâscozitatea turbulentă}$$

$\epsilon$  – rata locală de disipare al lui  $k$ ;  $c_\mu$  – constantă, cu valoarea de 0.09 rezultată din experimente;  $\delta_{ij}$  – simbolul lui Kronecker.

**Domenii de aplicabilitate:**

- pentru cursuri de apă încărcate cu sedimente în suspensie, pentru a studia în principal transportul poluanților (a substanțelor poluante atașate de sedimente), în regim de mișcare turbulent.

**2.5.5 Calculul debitului solid târât**

Majoritatea formulelor de calcul ale debitului solid au fost deduse pe cale experimentală în laboratoare, pentru particule de diferite mărimi și fracțiuni granulometrice și diferite regimuri de curgere.

Calculul debitului solid târât se poate face pe baza a trei concepte [Vladimirescu, 1984; Mateescu, 1961; Cioc, 1975; Chanson, 1999]:

- conceptul efortului tangențial critic de antrenare (Du Boys, Shields, Meyer – Peter – Müller, Einstein – Brown, Schoklitsch, Engelund – Hansen, Yalin, Nielsen etc. )
- conceptul vitezei critice de antrenare (Levy, Schoklitsch, Meyer – Peter etc.)
- conceptului probabilistic (Einstein ).

În tabelul 2.2 se prezintă evoluția formulelor de calcul ale debitului solid târât.

Tabelul 2.2

Autor	Formulare	Observații
0	1	2
Boys (1879)	$q_s = \lambda \tau_0 (\tau_0 - (\tau_0)_c)$	$\lambda$ - coeficient care depinde de caracteristicile sedimentelor.
	$\lambda = \frac{0.54}{(\rho_0 - \rho)g}$ Schoklitsch (1914)	Experimente cu particule uniforme de nisip și porțelan.
	$\lambda \cong d_s^{-3/4}$ Straub (1935); $0.125 < d_s < 4 \text{ mm}$	Bazate pe date experimentale.
Schoklitsch (1930)	$q_s = \lambda (\sin\theta)^k (q - q_c)$ $q_c = 1.944 \times 10^{-2} d_s (\sin\theta)^{-4/3}$ ; $0.305 < d_s < 7.02 \text{ mm}$	Bazate pe date experimentale.
Shields (1936)	$\frac{q_s}{q} = 10 \frac{\sin\theta}{s} \frac{\tau_0 - (\tau_0)_c}{\nu g (s - 1) d_s}$ ; $1.06 < s < 4.25$ $1.56 < d_s < 2.47 \text{ mm}$	Bazate pe date experimentale.
Einstein (1942)	$\frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_s^3}} = 2.15e^{\left(\frac{-0.391 \rho (s-1)gd_s}{\tau_0}\right)}$ $\frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_s^3}} < 0.4$ ; $1.25 < s < 4.25$ $0.315 < d_s < 28.6 \text{ mm}$	Experimente de laborator. Nu se poate aplica pentru nisip. $d_s \approx d_{35}$ la $d_{45}$

0	1	2
Meyer - Peter (1949, 1651)	$\frac{\dot{m}^2 \sin \theta}{d_s} - 9.57(\rho g(s-1))^{10.9} =$ $0.462(s-1) \frac{(\rho g(\dot{m}_s)^2)^{2.3}}{d_s}$ <p style="text-align: center;"><math>1.25 &lt; s &lt; 4.2</math></p>	Experimente de laborator. Distribuție uniformă la pante mici.
	$\frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_s^3}} = \left( \frac{4\tau_0}{\rho(s-1)gd_s} - 0.188 \right)^2$	Experimente de laborator. Particule de diferite forme și dimensiuni. $d_s \approx d_{50}$
Einstein (1950)	$\frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_s^3}} = f\left(\frac{\rho(s-1)gd_s}{\tau_0}\right); \quad \frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_s^3}} < 10$ <p style="text-align: center;"><math>1.25 &lt; s &lt; 4.25</math> <math>0.315 &lt; d_s &lt; 28.6 \text{ mm}</math></p>	Experimente de laborator. Pentru nisipiuri. $d_s \approx d_{35} \text{ la } d_{45}$
Schoklitsch (1950)	$\dot{m}_s = 2500(\sin \theta)^{3/2} (q - q_c)$ $q_c = 0.26(s-1)^{5/3} d_{40}^3 (\sin \theta)^{-7/6}$	Bazat pe experimente și măsurători din teren. (fluviile Dunăre și Aare)
Nielsen (1992)	$\frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd_s^3}} = \left( \frac{12\tau_0}{\rho(s-1)gd_s} - 0.05 \right) \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho(s-1)gd_s}}$ <p style="text-align: center;"><math>1.25 &lt; s &lt; 4.22</math> <math>0.69 &lt; d_s &lt; 28.7 \text{ mm}</math></p>	Reanalizarea datelor de laborator

unde:  $\dot{m}$  - debitul masic de apă pe unitatea de lățime a albiei;  $\dot{m}_s$  - debitul masic de sedimente pe unitatea de lățime a albiei;  $q$  - debitul de apă pe unitatea de lățime a albiei;  $q_s$  - debitul solid pe unitatea de lățime a albiei;  $(\tau_0)_{cr}$  - efortul tangențial critic de antrenare;  $\tau_0$  - efortul tangențial;  $s$  - raportul dintre densitatea sedimentelor și densitatea apei;  $d_s$  - diametrul sedimentelor.

Determinarea debitului solid târât prin măsurători pe teren se face cu diferite tipuri de batometre, prin prelevări de probe de pe fundul albiei. Debitul solid târât este:

$$G_{st} = \frac{1}{2} g_1 l_1 + \frac{1}{2} (g_1 + g_2) l_2 + \dots + \frac{1}{2} g_n l_{n+1} \quad (2.158)$$

$$\text{unde } g_i = \frac{100P_i}{bt} \quad [g/m.s]$$

unde:  $P_i$  - greutatea aluviunilor care trec prin  $b$  (care este de fapt lățimea batometrului) în timpul  $t$ ;  $l_i$  - distanța dintre verticale, care însumate dau lățimea activă de circulație a aluviunilor de fund.

O altă metodă de calcul este:

$$G_{st} = aG_a + bG_b + \dots \quad (2.159)$$

unde:  $G_{st}$  - debitul solid de fund;  $G_a, G_b, \dots$  - debitele solide pentru fiecare fracțiune granulometrică  $a, b, \dots$  - procente de greutate ale fracțiunilor granulometrice ( $a + b + \dots = 1$ ).



### 2.5.6 Calculul debitului solid în suspensie

Formulele pentru calculul debitului solid în suspensie au la bază una din următoarele teorii: teoria difuziei turbulente, teoria energetică și teoria gravitațională. Cea mai răspândită este teoria difuziei turbulente [Șerban et al, 1989]:

$$q_{ss} = \rho_s \cdot g \cdot \int_a^h c v dy \quad (2.160)$$

unde:  $q_{ss}$  – debit solid în suspensie  $v$  – viteza apei;  $\rho_s$  – densitatea medie a sedimentelor;  $g$  – accelerația gravitațională;  $c$  – concentrația aluviunilor la nivelul  $y$ , care se obține utilizând teoria difuziei turbulente.

Pentru determinarea lui  $c$  se pornește de la ecuația difuziei turbulente sub formă bidimensională:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = w_s \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (2.161)$$

unde:  $u, v$  - vitezele medii ale apei în direcțiile  $x$  și  $y$ ;  $t$  – timpul;  $w_s$  – mărimea hidraulică;  $\varepsilon_s$  – coeficient de difuzie turbulentă pentru apă cu suspensii în direcție verticală;  $\frac{\partial c}{\partial y}$  – gradientul concentrației aluviunilor în suspensie pe direcție verticală.

Dacă suspensia este stabilă, fluxul net pe verticală este nul și ecuația se reduce la:

$$w_s c + \varepsilon_s \frac{\partial c}{\partial y} = 0 \quad (2.162)$$

cu o soluție analitică de forma:

$$c = c_a \cdot e^{-w_s \int_a^h \frac{dy}{\varepsilon_s}} \quad (2.163)$$

unde:  $y = a$  – nivel de referință unde concentrația suspensiilor este  $c_a$ , de obicei se ia  $a =$  grosimea zonei transportului târât.

Dacă se admite că relația Prandtl-Kármán este valabilă în interiorul curgerii, unde predomină tensiunea tangențială turbulentă, și că tensiunea turbulentă are o distribuție liniară, se poate scrie (figura 2.31) [Hug, 1975]:

$$\frac{c}{c_a} = \left[ \left( \frac{h-y}{y} \right) \left( \frac{a}{h-a} \right) \right]^{\frac{w_s}{\sigma_s \chi U^*}} \quad (2.164)$$

unde:  $\sigma_s$  - numărul lui Prandl turbulent pentru similitudinea dintre transferul de cantitate de mișcare și transferul masic;  $\chi$  - constanta universală al lui von Kármán;  $U_* = \sqrt{ghI}$  - viteza dinamică a scurgerii;  $I$  - panta.

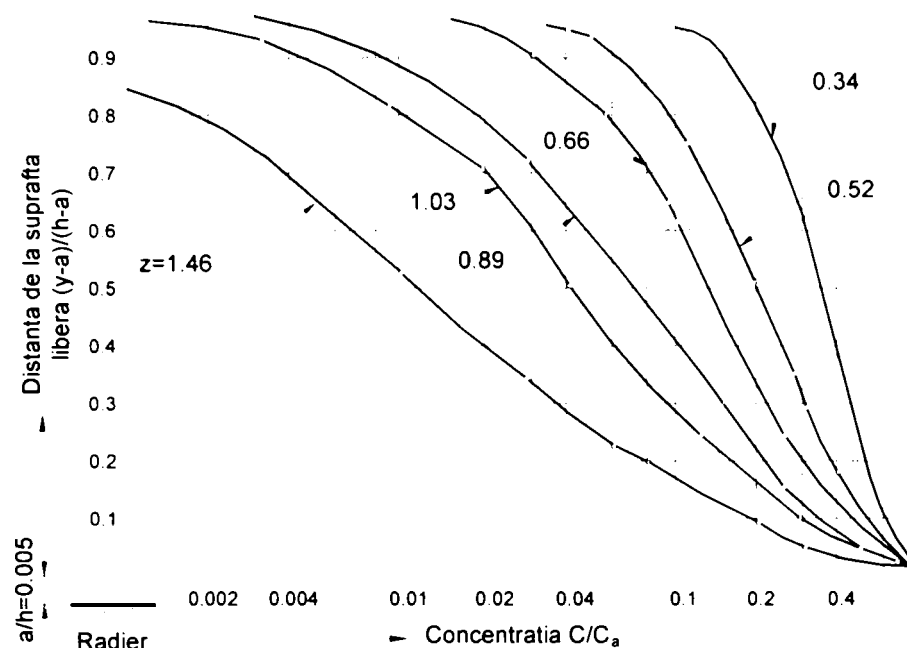


Fig.2.31 Profile de concentrație laterală (după Hug, 1975)

În literatura de specialitate întâlnim relațiile:

- formula Schimdt - Rouse

$$\frac{C_y}{C_a} = \left( \frac{a}{h-a} \right)^z e^{-2z \left( \frac{2y}{h} - 1 \right)} \quad (2.165)$$

unde:  $z = W/0,4U_*$  este numărul lui Schimdt - Rouse, care exprimă raportul dintre forța de gravitație și forța ascendentă a turbulenței;  $U_* = \sqrt{ghI}$  - viteza dinamică a scurgerii;  $h$  - adâncimea apei;  $I$  - panta

- formula Van Rijn

$$Q_{ss} = \int_0^h c_y dQ \quad (2.166)$$

$$dQ = v_y dy = 2,5U_* \ln \left( \frac{y}{30k_s} \right) dy$$

unde:  $k_s$  - rugozitatea echivalentă Nikuradze.

Determinarea debitului solid în suspensie prin măsurători pe teren se face cu diferite tipuri de batometre speciale pentru suspensii, prin prelevări de probe din secțiunea transversală a albiei pe un număr de verticale stabilite în funcție de lățimea albiei. Debitul solid în suspensie este:

$$G_{ss} = \sum b \cdot v_m c_m$$

$$c = 10^6 \frac{P}{V} \left[ \text{g/m}^3 \right] \quad (2.167)$$

unde:  $b$  – semisuma distanței până la verticalele imediat alăturate verticalei considerate;  $v_m$  – viteza medie a apei pe verticală;  $c_m$  – concentrația medie a suspensiilor pe verticală;  $P$  – greutatea aluviunilor din probe (g);  $V$  – volumul total al probei ( $\text{cm}^3$ ).

### 2.5.7 Calculul debitului solid total

Cea mai simplă metodă de calcul este prin însumarea debitului solid târât cu cel în suspensie:

$$Q_{\text{solid total}} = Q_{\text{solid târât}} + Q_{\text{solid în suspensie}} \quad (2.168)$$

În literatura de specialitate întâlnim și alte modalități de calcul, dintre care cea mai complexă este metoda lui Tofaletti, care se bazează pe conceptele dezvoltate de Einstein, dar care sunt laborioase și nu pot fi utilizate direct pentru elaborarea unui program de calcul [Șerban et al, 1989].

Un procedeu de calcul a debitului solid total în bazine hidrografice mici a fost elaborat și de G. Di Silvio în 1998 [Di Silvio, 1998]. Metoda se bazează pe relația dintre transportul adimensional  $T^*$  și numărul lui Froude  $Fr^*$ , scrisă sub forma:

$$T^* = f(Fr^*)$$

$$T^* = \frac{q_s}{d \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d}} \quad (2.169)$$

$$Fr^* = \frac{u^{*2}}{g \cdot \Delta \cdot d}$$

unde:  $q_s$  – debitul solid pe unitatea de lățime a albiei;  $d$  – diametrul mediu al particulelor

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \text{ - densitatea relativă a particulelor aluvionare; } g \text{ - accelerația gravitațională}$$

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}; \tau \text{ - efortul tangențial.}$$

O relație aproximativă pentru dependența dintre  $T^*$  și  $Fr^*$  este următoarea:

$$T^* = \alpha \cdot (Fr^*)^\beta \quad (2.170)$$

unde  $\alpha$  și  $\beta$  constante, de obicei  $\beta = 2.5 \dots 3$ .

La ecuația de mai sus se poate asocia o relație pentru calculul vitezei apei în regim uniform, care în cazul de față este formula Gauckler – Strickler – Manning:

$$v = k \cdot h^{2/3} i^{1/2} \quad (2.171)$$

## Capitolul 2 Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale

unde:  $v$  – viteza medie a apei;  $k$  – coeficient de rezistență, proporțional cu  $d^{1/6}$ ;  $h$  – adâncimea apei;  $i$  – panta.

Știind că valoarea lui  $\Delta$  este 1.6 pentru majoritatea sedimentelor și că  $\tau = \gamma \cdot h \cdot i$ , se poate scrie:

$$q_s = \alpha \cdot q^{3\beta} d^{\left(\frac{3-9\beta}{2}-10\right)} i^{7\beta} \quad (2.172)$$

unde  $q = v \cdot h$  debitul lichid unitar pe lățimea albiei.

Debitul solid total este:

$$Q_s = q_s \cdot b = \alpha \frac{Q^{3\beta} i^{7\beta}}{b^{\left(\frac{3\beta}{5}-1\right)} d^{\left(\frac{9\beta}{10}-3\right)}} \quad (2.173)$$

unde  $b$  este lățimea albiei.

Valorile constantelor  $\alpha$  și  $\beta$  depind de setul de date determinate experimental. Valoarea lui  $\beta$  este de obicei 2.5 pentru râuri cu pantă mică și 3 pentru torenți, în această situație valoarea lui  $Q_s$  fiind:

$$Q_s = \alpha \frac{Q^{9/5} i^{21/10}}{b^{5/4} d^{12/10}} \quad (2.174)$$

Din relația de mai sus se poate deduce volumul de sedimente transportat de torentul respectiv la o singură ploaie torențială de durată  $H$  (se consideră că  $b$ ,  $d$  și  $i$  sunt constante):

$$T_H = \int_H Q_s dt = \alpha \frac{i^{21/10}}{b^{5/4} d^{12/10}} \int_H Q^{9/5} dt = \frac{5}{7} \alpha \frac{i^{21/10}}{b^{5/4} d^{12/10}} \left( Q_H^{5/4} V_H \right) \quad (2.175)$$

unde  $Q_H$  este debitul maxim al scurgerii, iar  $V_H$  este volumul scurgerii de suprafață.

În mod asemănător se poate deduce prin integrarea relației (2.174) cantitatea de sedimente transportat de torentul respectiv în decursul unui an normal din punct de vedere hidrologic (pierderea de sol dintr-un an), în aceleași ipoteze. Se consideră curba de durată a debitelor scrisă sub forma:

$$Q = Q_0 e^{-\frac{\varphi t}{y}} \quad (2.176)$$

unde:  $Q$  – debitul lichid;  $Q_0$  – debitul maxim anual;  $y$  – durata unui an;  $\varphi$  – coeficient care depinde de caracteristicile climatice și de caracteristicile morfologice ale bazinului hidrografic studiat.

Volumul scurgerii de suprafață dintr-un an se poate calcula astfel:

$$V_0 = \int_y Q dt = \frac{Q_0}{\varphi} (1 - e^{-\varphi}) \cong \frac{Q_0}{\varphi} \quad (2.177)$$

Volumul total de sedimente transportat în decursul unui an normal este:

$$\begin{aligned} T_0 &= \int_y Q_s dt = \alpha \frac{i^{10}}{b^5 d^{10}} \int_y Q^5 dt = \\ &= \frac{5}{9} \frac{\alpha}{\varphi} \frac{i^{10}}{b^5 d^{10}} Q_0^5 \left( 1 - e^{-\frac{9}{5} \varphi} \right) = \frac{5}{9} \frac{\alpha}{\varphi} \frac{i^{10}}{b^5 d^{10}} Q_0^5 \end{aligned} \quad (2.178)$$

Deoarece  $Q_0 = \varphi \cdot V_0$ , rezultă că:

$$T_0 = \frac{5}{9} \alpha \frac{i^{10}}{b^5 d^{10}} (Q_0^5 V_0) \quad (2.179)$$

Relația de mai sus arată că cantitatea de sedimente provenită de pe versanți în decursul unui an normal – mediu – depinde de:

- caracteristicile morfologice ale albiei exprimate prin factorul a:

$$a = \frac{5}{9} \alpha \frac{i^{10}}{b^5 d^{10}} \quad (2.180)$$

- caracteristicile hidrologice ale bazinului exprimate prin factorul h:

$$h = (Q_0^5 V_0) \quad (2.181)$$

**Limite ale metodei** – nu se iau în considerare particulele antrenate din albie, metoda se referă numai la cantitatea de sedimente provenite de pe versanți; se consideră b, d și i constante, ceea ce presupune că nu au loc fenomene de eroziune în văile torenților care să modifice aceste caracteristici.

## 2.6 Prognoza fenomenelor erozionale

### 2.6.1 Definirea modelelor de prognoză

Prognoza, prin definiție, este cunoașterea cu anticipație pe baze științifice a evoluției, caracterului și intensității fenomenelor (hidrologice, meteorologice, în cazul de față – a fenomenelor de eroziune).

Prognozele pot fi de lungă sau scurtă durată. De obicei, pentru fenomenele de eroziune se pretează prognozele pe termen lung (prognoze pe un an sau pe mai mulți ani), dar se pot face și prognoze de scurtă durată (de exemplu prognozarea pierderilor de sol de pe o suprafață, ca urmare a unei singure ploi torențiale).

Un model de prognoză [Șerban, 1995] trebuie să fie format dintr-un model de simulare și o procedură de reactualizare a prognozelor (figura 2.32).

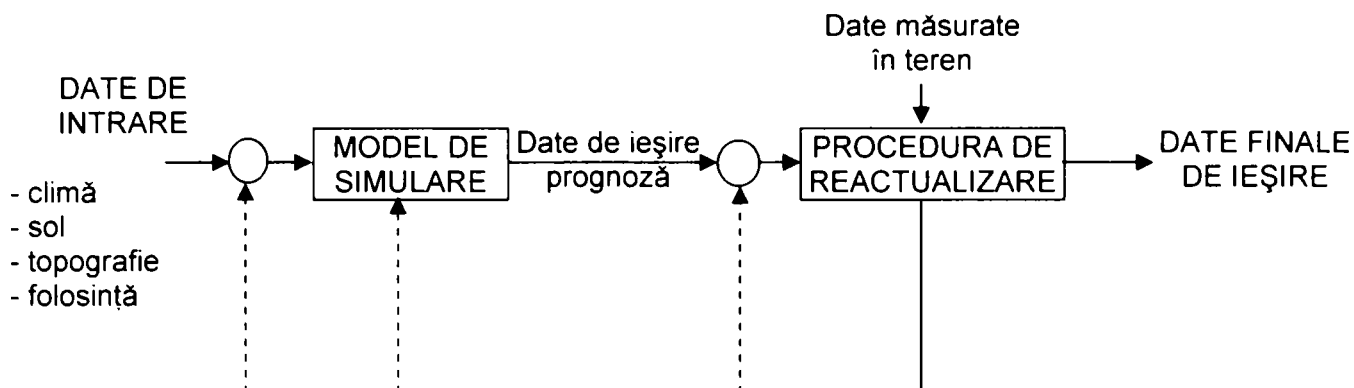


Fig.2.32 Schema unui model de prognoză (după Șerban, 1995)

Procedurile de reactualizare a prognozelor diferă în funcție de variabilele care se modifică [Șerban, 1995] (figura 2.33).

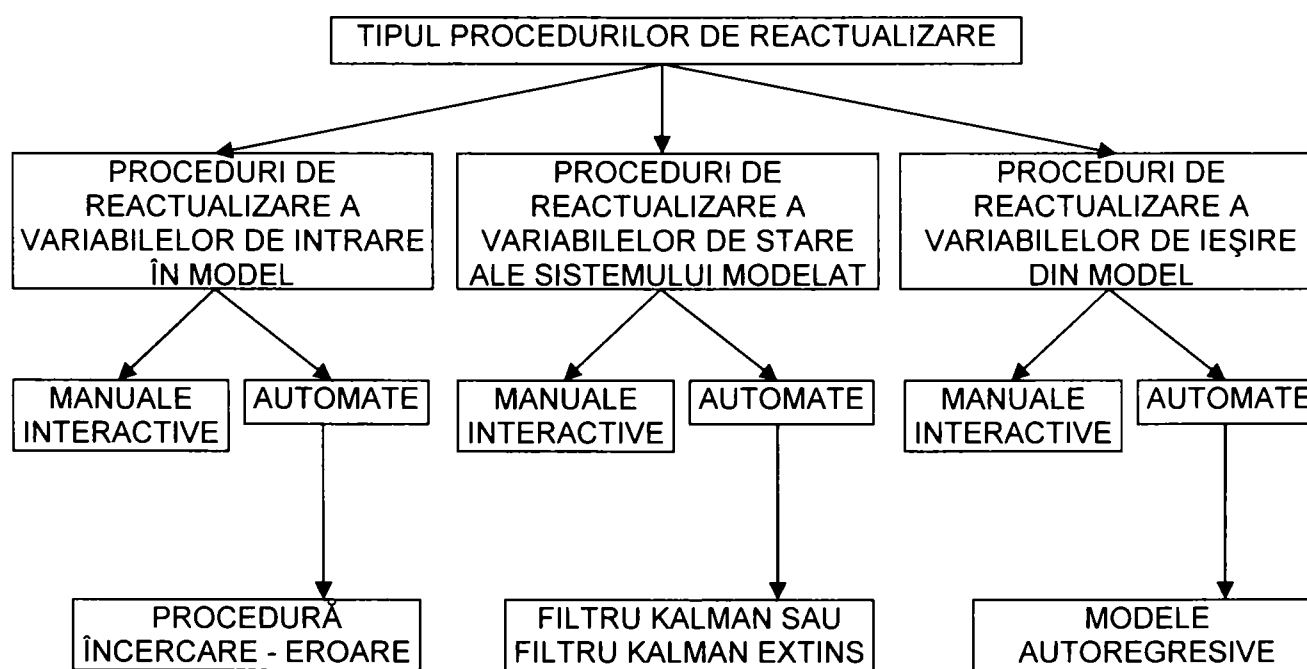


Fig.2.33 Procedurile de reactualizare a prognozelor (după Șerban, 1995)

Un model de prognoză, în general, trebuie să aibă următoarele caracteristici:

- să conțină structuri adecvate în vederea reactualizării prognozei
- să de-a erori acceptabile, în condițiile în care nu se dispune în totalitate sau parțial de toate datele necesare elaborării prognozei (mai ales date referitoare la caracteristicile precipitațiilor)
- să nu aibă o complexitate foarte mare (să fie ușor utilizabil).

Modele de prognoză ale proceselor erozionale trebuie să aibă următoarele capabilități:

- să elaboreze prognoze pe termen lung
- să compare eficiența diferitelor moduri de folosință a terenului
- să compare efectele date de diferiți factori de mediu
- să prognozeze și efectele acestor procese asupra bazinului hidrografic (de exemplu: evoluția calității apei).

În practică nu există încă un model care să satisfacă toate aceste cerințe. Alegerea modelului de prognoză depinde de scopul prognozei, perioada de timp pe care se dorește prognozarea și de particularitățile fenomenului studiat. Modelele de prognoză folosite cel mai des în prezent, în funcție de scopul prognozei sunt [*www.library.uq.edu.au, 2005*]:

- pentru stabilirea deciziilor manageriale și pentru evaluarea calității terenurilor – modelele USLE și PERFECT
- pentru determinarea efectelor eroziunii asupra productivității solului și pentru compararea efectelor diferitelor tipuri de folosință pe termen lung – modelele EPIC și PERFECT
- pentru evaluarea efectelor folosințelor terenurilor asupra volumului de aluviuni - modelele CREAMS și WEPP
- pentru evaluarea pierderilor anuale de sol și a efectelor proceselor de eroziune asupra modificării pantelor versanților – modelul WEPP
- pentru interpretarea datelor experimentale și pentru generalizarea rezultatelor experimentale – modelul CREAMS
- pentru evaluarea influenței proceselor de eroziune de pe suprafețele agricole asupra calității apei din rețeaua hidrografică - modelul AGNPS.

Pe lângă modelele amintite mai sus mai există și altele: SLEMSA, ANSWERS – MODANSW, SWERB, GUESS etc.

În continuare se prezintă câteva din aceste modele de prognoză [*www.library.uq.edu.au, 2005; Manrique, 1993; Wischmeier, 1976; Lane et al, 1992; Young et al, 1989; Littleboy et al, 1999*].

**2.6.2 Modelul USLE**– Universal Soil Loss Equation – se află în continuă dezvoltare din 1960, primul care l-a pus sub forma cunoscută azi a fost W.H. Wischmeier (USDA) din SUA, a fost testat pe bazine hidrografice din vestul SUA.

- se bazează pe ecuația universală a pierderilor de sol, scrisă sub diverse forme (USLE, RUSLE, MUSLE) prezentate la paragraful 2.3. Forma cea mai uzuală este (semnificația termenilor este prezentată la paragraful 2.3):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.182)$$

Modelul se poate utiliza pentru:

- prognozarea cantității medii de sol pierdute în decursul unui an pentru o suprafață dată și în condiții date (termenul din paranteză indică factorul care se calculează):

$$(A) = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.183)$$

- determinarea lucrărilor de combatere a eroziunii solului necesare unei zone specifice și a folosinței care se pretează – se înlocuiește A cu T – limita admisibilă a pierderilor de sol:

$$(C \cdot P) = T \cdot R^{-1} \cdot K^{-1} \cdot L^{-1} \cdot S^{-1} \quad (2.184)$$

- estimarea pierderilor de sol la schimbarea folosinței terenului, adică a coeficientului C:

$$(A) = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot [C] \cdot P \quad (2.185)$$

- estimarea pierderilor de sol la schimbarea lucrărilor de combatere a eroziunii solului, adică a coeficientului P:

$$(A) = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot [P] \quad (2.186)$$

- prognoza cantității de sol pierdute la alte folosințe ale terenului (amplasamente ale unor construcții, păduri, zone de recreere etc):

$$(A) = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.187)$$

**2.6.3 Modelul *CREAMS*** – A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management System – dezvoltat în 1980 de Department of Agriculture (USDA) și Science and Education Administration-Agriculture Research (SEA-AR) din SUA, a fost testat în mai multe țări din SUA și Europa.

Modelul are trei componente: componenta hidrologică (scurgere, infiltrație, evapotranspirație, percolație), componenta erozională (eroziune de suprafață, eroziuni și depuneri din albi) și componenta chimică (transportul de către sedimente a substanțelor chimice din sol). Modelul poate opera pentru o singură ploaie torențială, dar poate da și prognoze pe termen lung (2 – 50 ani).

Componenta hidrologică a modelului se bazează pe relațiile dezvoltate de Williams și La Seur în 1976 – modelul scurgerii de suprafață - și pe modelul de evapotranspirație al lui Ritchie din 1972; componenta erozională se bazează pe



ecuația universală a pierderilor de sol modificată MUSLE, dar este inclusă și capacitatea de transport a scurgerii de suprafață; iar componenta chimică se bazează pe descrierea proceselor de mineralizare, nitrificare și denitrificare și pe determinarea concentrației substanțelor chimice din apa încărcată cu sedimente.

Modelul se poate aplica considerând următoarele ipoteze: o singură folosință a terenului, sol relativ omogen, intensitatea ploii distribuită uniform pe toată suprafața studiată. Ecuațiile pe care se bazează modelul sunt asemănătoare cu cele ale modelului WEPP și vor fi prezentate în detaliu la paragraful 2.6.8.

**2.6.4 Modelul PERFECT** - Productivity Erosion Runoff Functions to Evaluate Conservation Techniques - dezvoltat inițial în 1983 de Queensland Department of Primary Industries, continuat apoi de National Soil Conservation Program și de Land and Water Resources Research and Development Corporation din Australia, a fost testat cu succes în regiunile subtropicale din Australia, dar a dat rezultate bune și pentru zonele semiaride din Queensland și India.

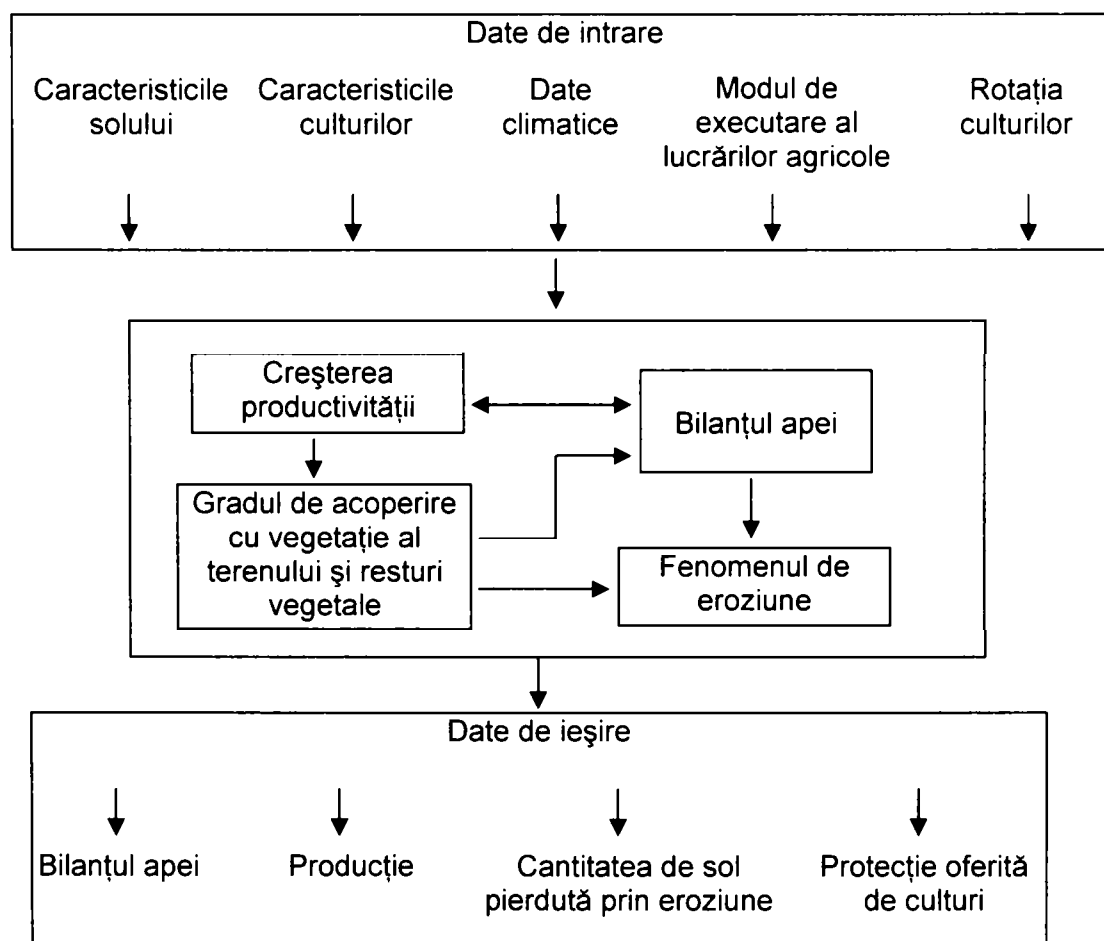


Fig.2.34 Modulele PERFECT

PERFECT este un model biofizic de simulare a interacțiunilor plantă – sol – apă – management în sistemele agricole. A fost dezvoltat pentru a simula efectele majore ale managementului și factorilor de mediu asupra sistemului agricol și pentru

a prognoza volumul scurgerii de suprafață, pierderile de sol, bilanțul apei din sol, infiltrațiile, sporul de recoltă și productivitatea terenurilor. Modelul conține mai multe module pentru simularea bilanțului apei din sol, pentru prognoza productivității, gradului de protecție a terenului de către vegetație, cantității de resturi vegetale, a pierderilor de sol ca urmare a proceselor de eroziune (figura 2.34).

Ecuțiile modului referitoare la eroziune se bazează pe relația MUSLE și sunt:

$$E = (16.52 - 0.46COVER + 0.0031 COVER^2) LS.K.P. \frac{Q}{10} \quad COVER < 50\% \quad (2.188)$$

$$E = (-0.0254 COVER + 2.54) LS.K.P. \frac{Q}{10} \quad COVER \geq 50\% \quad (2.189)$$

unde: E – pierderea de sol la o ploaie torențială (t/ha); Cover – gradul de acoperire al solului dat de vegetație (%); Q – volumul scurgerii; K – coeficientul de erodabilitate al solului; LS – factorul dat de lungime și pantă; P – coeficientul dat de lucrările de combatere a eroziunii solului.

Pentru calculul lui LS se folosesc relațiile:

$$LS = \left[ \frac{\lambda}{72.6} \right]^{(\beta + 1) \times (10.8 \sin(\theta) + 0.03)} \quad \text{Slope} < 9\% \quad (2.190)$$

$$LS = \left[ \frac{\lambda}{72.6} \right]^{(\beta + 1) \times (16.8 \sin(\theta) - 0.5)} \quad \text{Slope} \geq 9\% \quad (2.191)$$

$$\lambda = 3.281 \sqrt{\text{LENGTH}^2 + \text{AHT}^2} \quad (2.192)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\text{AHT}}{\text{LENGTH}}\right) \quad (2.193)$$

$$\text{AHT} = \frac{\text{SLOPE} \cdot \text{LENGTH}}{100} \quad (2.194)$$

unde: SLOPE - panta versantului (%); LENGTH - lungimea versantului (m);  $\beta$  – raportul dintre microrigole și suprafața dintre microrigole, definit de utilizator.

**2.6.5 Modelul EPIC** – Erosion - Productivity Impact Calculator, dezvoltat în 1983 de Williams, J.R., P.T. Dyke și C.A. Jones (USDA) din SUA. Este un model de simulare pentru prognoza efectelor pe termen lung a diverselor forme de eroziune asupra productivității terenurilor [Williams et al, 1983]. Modelul este folosit în peste 60 de țări din Asia, America de Sud și Europa. Modelul necesită date de intrare date de GIS – topografice – date climatice, de asemenea necesită date referitoare la soluri, folosințe ale terenurilor. Și acest model are mai multe module referitoare la: eroziunea solului, analiză economică, procese hidrologice, climatice, nutrienți, dinamica dezvoltării plantelor, managementul terenului.

2.6.6. Modelul **AGNPS** – Agricultural NonPoint Source – a fost dezvoltat în 1988 de către USDA în colaborare cu Minnesota Pollution Control Agency, a fost testat pe bazine hidrografice din nordul și centrul SUA, cu rezultate bune. Scopul principal pentru care a fost creat este acela de a prognoza calitatea apei (influențată de surse de poluare difuză – transportul substanțelor chimice de către particulele de sol provenite din eroziunea de suprafață) din bazinele hidrografice cu folosință predominant agricolă și pentru a evalua influența efectelor diferitelor folosințe ale terenului asupra calității apei.

Schema modelului este:

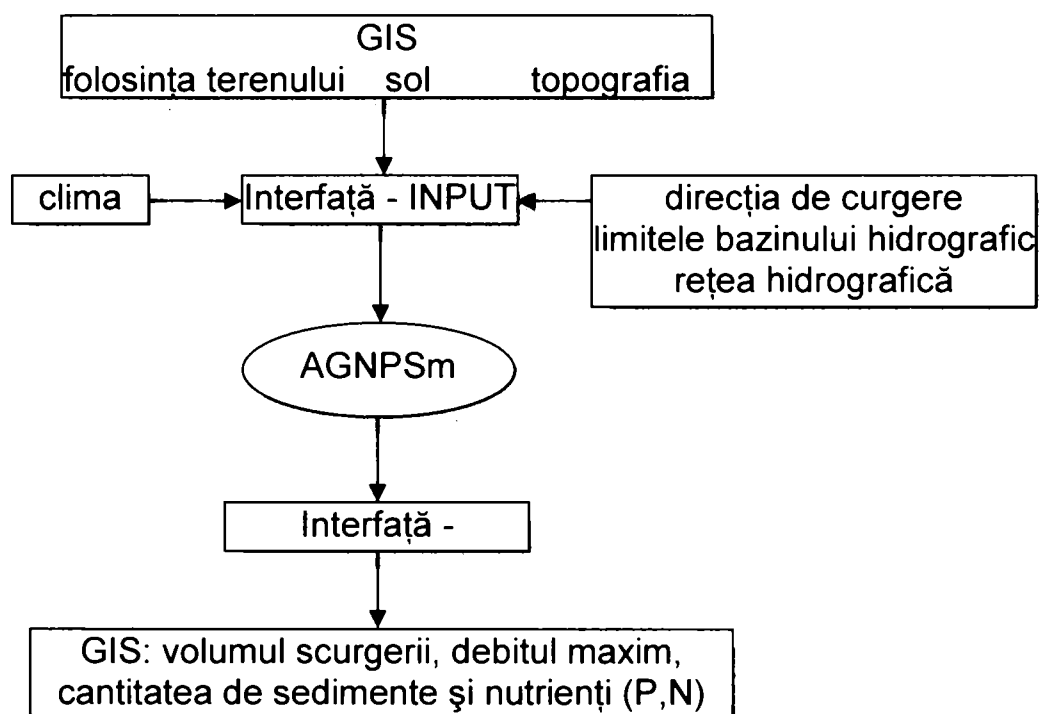


Fig.2.35 Schema modelului AGNPS

Pentru a putea aplica modelul de prognoză e nevoie de discretizarea bazinului hidrografic, se împarte suprafața bazinului hidrografic în elemente pătrate de aceeași suprafață (figura 2.36).

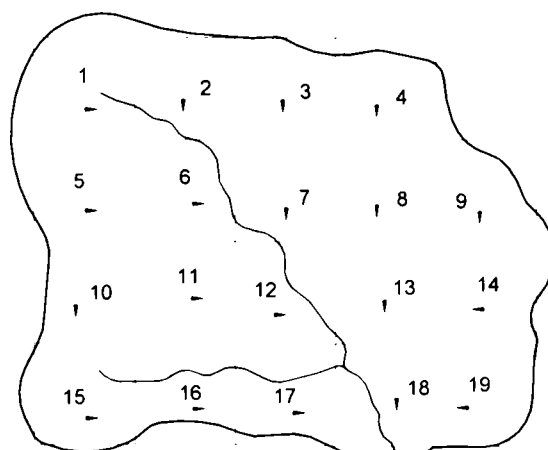


Fig.2.36 Discretizarea bazinului hidrografic

Pentru fiecare element trebuie determinați 22 de caracteristici (panta medie a terenului, panta medie a albiei, textura solului, folosința terenului, nivelul de fertilizare cu îngrășăminte chimice etc.).

Modelul se bazează pe următoarele ecuații:

- modulul hidrologic are la bază metoda curbelor SCS, dezvoltată de USDA în 1972 – care determină volumul scurgerii de suprafață la o singură ploaie torențială, în funcție de grupa hidrologică de sol și folosința terenului (curbe  $V = V(P)$ ), cu formula:

$$V = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad (2.195)$$

unde:  $V$  – volumul scurgerii de suprafață;  $P$  – înălțimea precipitației;  $S$  – cantitatea maximă de apă reținută pe versant.

- debitul maxim al scurgerii se determină cu relația Smith – Williams, [Smith et al, 1980]:

$$Q_{\max} = 3.79A^{0.7}I^{0.16} \left( \frac{V}{25,4} \right)^{0.903A^{0.017}} \left( \frac{L^2}{A} \right)^{-0.19} \quad (2.196)$$

unde:  $A$  – suprafața bazinului hidrografic;  $I$  – panta medie a albiei;  $L$  – lungimea versantului după linia de cea mai mare pantă.

- pierderile de sol prin eroziunea de suprafață se calculează cu USLE, 1978 ( tabelul 2.1)
- depunerea materialului solid transportat de scurgerea de suprafață se calculează cu relația dezvoltată de Foster (1981) și Lane (1982) [Lane, 1982]:

$$D(x) = \frac{w}{q(x)} [q_s(x) - g_s(x)] \quad (2.197)$$

unde:  $D(x)$  – rata de depunere a sedimentelor ( $\text{kg/s.m}^2$ );  $w$  – mărimea hidraulică a particulelor ( $\text{m/s}$ );  $q(x)$  – debitul lichid pe unitatea de lățime ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $q_s(x)$  – debitul solid pe unitatea de lungime ( $\text{kg/s.m}$ );  $g_s(x)$  – capacitatea de transport efectivă a scurgerii de suprafață ( $\text{kg/s.m}$ ).

- capacitatea de transport se determină cu relația lui Bagnold [Bagnold, 1966]:

$$g_s = e_t \cdot k \cdot \tau \cdot \frac{v_a}{w} \quad (2.198)$$

unde:  $e_t$  – coeficient;  $k$  – factor de transport efectiv;  $\tau$  – efortul tangențial ( $\text{kg/m}^2$ );  $v_a$  – viteza medie a apei.

**2.6.7 Modelul EUROSEM** - European Soil Erosion Model - a fost dezvoltat în scopul modelării proceselor de eroziune de pe versanți pentru determinarea

măsurilor de protecție a solului împotriva eroziunii. Schema logică a modelului este prezentată în figura 2.37. [Morgan et al, 1998]

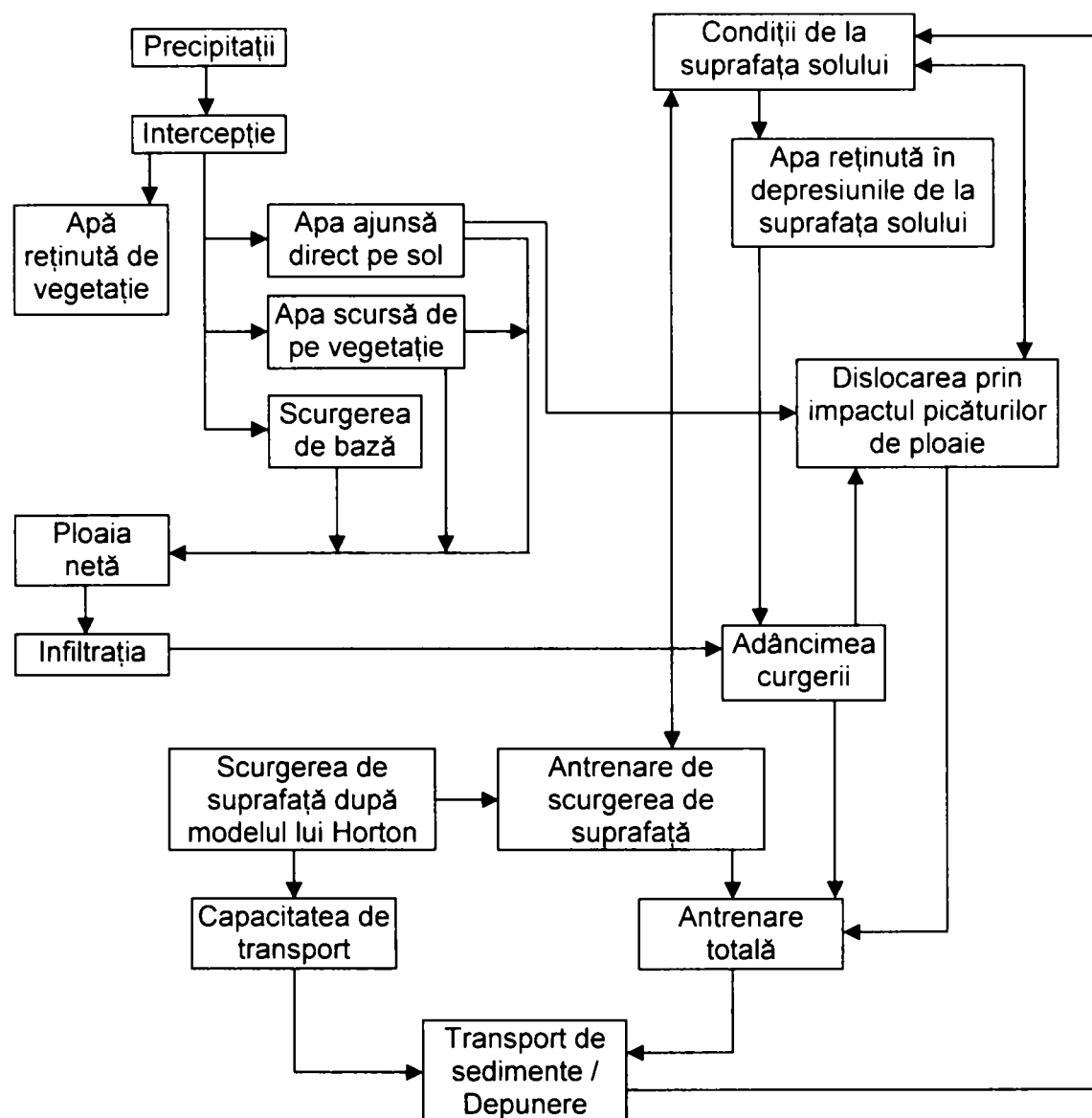


Fig.2.37 Schema logică a modelului EUROSEM (după Morgan, 1998)

Ecuțiile modelului (figura 2.38):

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} - e(x, t) = q_s(x, t) \quad (2.199)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = i - f - r$$

unde: C – concentrația sedimentelor; A – aria secțiunii transversale a curgerii; Q – debitul lichid;  $q_s$  – aportul lateral, pe unitatea de lungime, de sedimente ( $m^3/s.cm$ ) (atunci când ecuația se aplică scurgerii pe suprafața versantului  $q_s = 0$ ); e – rata de antrenare a particulelor solide pe unitatea de lungime (particulele dislocate de picăturile de ploaie și antrenate de scurgerea de suprafață); x – distanța; t – timpul; q – aportul lateral, pe unitatea de lungime, de debit lichid; i – intensitatea ploii; f – intensitatea infiltrației; r – intercepția.

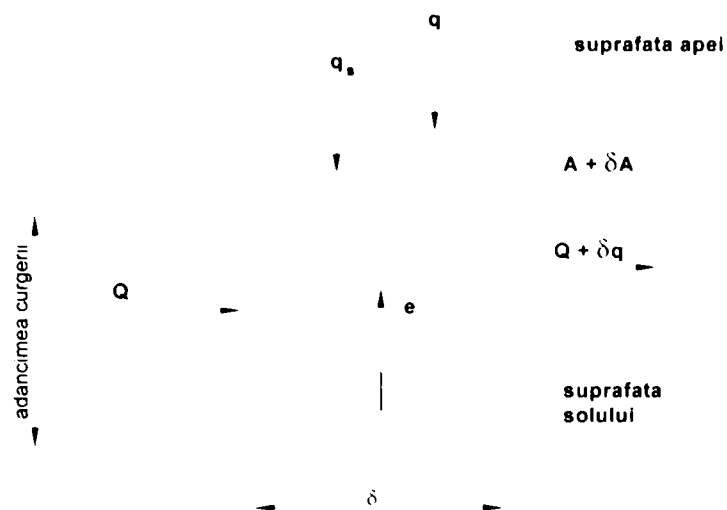


Fig.2.38 Reprezentarea ecuației de bilanț a sedimentelor (după Morgan, 1998)

**Domenii de aplicabilitate:**

- se poate aplica pe orice tip de bazin hidrografic
- modelul conține mai multe module (calculul interceptiei, energiei cinetice a picăturilor de ploaie, calculul volumului scurgerii, capacității de transport a scurgerii de suprafață etc), fiecare modul fiind dezvoltat atât cât permite stadiul cercetării în prezent.

2.6.8 Modelul **WEPP** - Water Erosion Prediction Project - este un model de prognoză a proceselor erozionale din bazinele hidrografice [WEPP User's Manual, 1995], dezvoltat de USDA Forest Service, Agricultural Research Service, Natural Resources Conservation Service, Department of Interior's Bureau of Land Management și de Geological Survey din SUA, este cel mai folosit în ultimul timp, se află în permanentă dezvoltare începând cu anul 1985.

Programul se poate utiliza atât pentru modelarea proceselor de eroziune de pe un singur versant, cât și dintr-un întreg bazin hidrografic (figura 2.39). În cazul modelării proceselor de eroziune pe un singur versant, programul necesită 4 fișiere de intrare, referitoare la: climă, pantă, tipuri de sol și managementul terenului. În cazul modelării proceselor de eroziune pe un întreg bazin hidrografic, programul are nevoie de 7 fișiere de intrare, referitoare la: versanți, structura bazinului hidrografic, pante, tipuri de sol, managementul terenului, climă și albiei. Modelul consideră versantul brăzdat de microrigole paralele, eroziunea de suprafață se produce pe suprafețele dintre aceste microrigole, iar particulele de sol antrenate sunt transportate la vale prin microrigole de către apa de scurgere (de asemenea, se ține cont și de particulele solide antrenate în microrigole).

Datele de ieșire se referă la: modificarea pantei versanților, delimitarea zonelor de eroziune, transport și depuneri de sedimente de-a lungul pantei versanților, pierderile anuale de sol, pierderile de sol la o singură ploaie torențială, modificarea biomasei, cantitățile de sedimente reținute de structurile hidrotehnice din bazinul hidrografic etc.

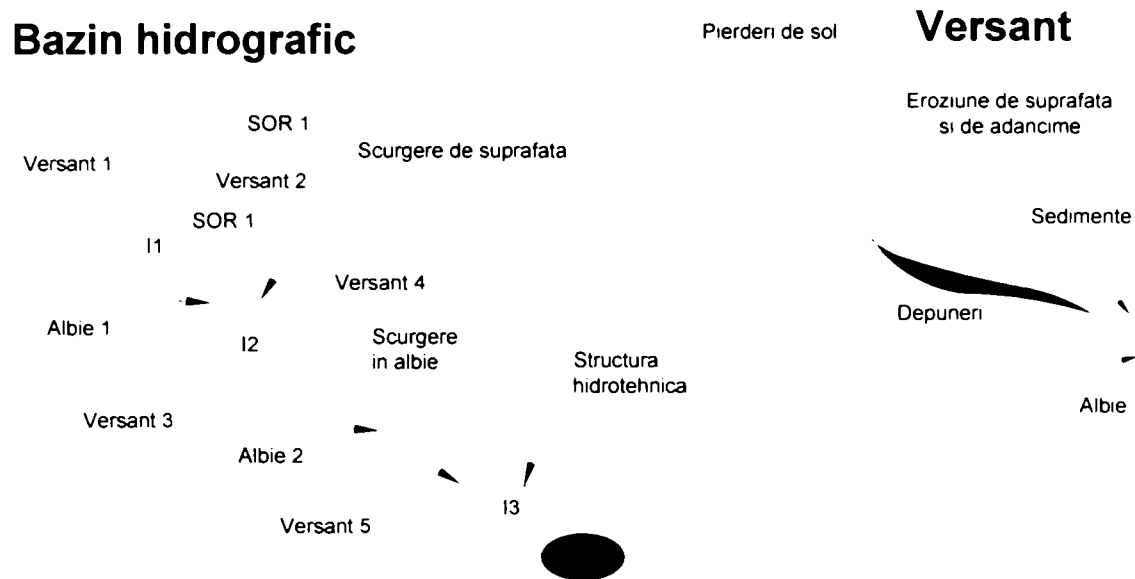


Fig.2.39 Modelul WEPP

Modelul are două componente de bază:

*a. Componenta erozională*

Se bazează pe ecuația de continuitate:

$$\frac{dG}{dx} = D_r + D_i \quad (2.200)$$

unde:  $G$  – debitul solid (kg/s.m);  $x$  – distanța de-a lungul pantei (m);  $D_r$  – rata de eroziune în microrigole (+ pentru antrenare, - pentru depunere);  $D_i$  – rata de eroziune pe suprafețele dintre microrigole (kg/s.m<sup>2</sup>).

Pentru calculul lui  $D_i$  se folosește relația:

$$D_i = K_{iadj} I_e \sigma_{ir} SDR_{RR} F_{nozzle} \left[ \frac{R_s}{w} \right] \quad (2.201)$$

unde:  $K_{iadj}$  – coeficient de erodabilitate pe suprafețele dintre microrigole;  $I_e$  – intensitatea efectivă a ploii (m/s);  $\sigma_{ir}$  – viteza scurgerii de suprafață (m/s);  $SDR_{RR}$  – rata de antrenare a sedimentelor (depinde de rugozitate, pantă, mărimea particulelor de sol);  $F_{nozzle}$  – factor dat de irigații (dacă e cazul);  $R_s$  – distanța dintre microrigole (m);  $w$  – lățimea microrigolelor.

Eroziunea în microrigole e divizată în două părți: antrenare și depunere. Antrenarea are loc atunci când efortul tangențial dat de scurgerea de suprafață depășește efortul tangențial critic de antrenare și atunci când debitul solid este mai

mic decât capacitatea de transport. Pentru calculul ratei de antrenare din microrigole se folosește relația:

$$D_r = D_c \left( 1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad (2.202)$$

unde:  $D_c$  – capacitatea de antrenare a apei ( $\text{kg/s.m}^2$ );  $T_c$  – capacitatea de transport solid ( $\text{kg/s.m}$ ).

$$D_c = K_r (\tau_f - \tau_c) \quad (2.203)$$

unde:  $K_r$  - coeficient de erodabilitate în microrigole;  $\tau_f$  - efortul tangențial dat de scurgerea de suprafață (Pa);  $\tau_c$  - efortul tangențial critic de antrenare (Pa).

Pentru calculul ratei de depunere în microrigole se utilizează relația:

$$D_r = \frac{\beta V_f}{q} (T_c - G) \quad (2.204)$$

unde:  $V_f$  – mărimea hidraulică a sedimentelor ( $\text{m/s}$ );  $q$  – debitul lichid pe unitatea de lățime ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $\beta$  – coeficient de turbulență a scurgerii dat de precipitația torențială.

Efortul tangențial  $\tau$  se calculează cu relația:

$$\tau = \gamma R \frac{f_s}{f_t} \sin \alpha \quad (2.205)$$

unde:  $\gamma$  – greutatea specifică a apei ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$ );  $R$  – raza hidraulică (m);  $\alpha$  – unghiul de înclinare al versantului;  $f_s/f_t$  – raportul dintre coeficientul de rezistență hidraulică a solului fără vegetație (gol) și coeficientul de rezistență hidraulică total.

Coeficientul de rezistență hidraulică se calculează cu relația Darcy-Weisbach:

$$f = \frac{8gRS}{V^2} \quad (2.206)$$

unde:  $g$  – accelerația gravitațională ( $\text{m/s}^2$ );  $R$  – raza hidraulică (m);  $S$  – panta medie a microrigolei (%);  $V$  – viteza apei ( $\text{m/s}$ ).

Capacitatea de transport solid a scurgerii din microrigole se calculează cu relația dezvoltată de Yalin în 1963:

$$T_c = k_t \tau_f^{3/2} \quad (2.207)$$

unde:  $k_t$  – coeficient de transport ( $\text{m}^{0.5} \text{s}^2/\text{kg}^{0.5}$ ), depinde de panta versantului;  $\tau_f$  - efortul tangențial dat de scurgerea de suprafață (Pa).

### *b. Componenta hidrologică*

Se calculează următoarele caracteristici: debitul maxim al scurgerii de suprafață, durata efectivă a scurgerii de suprafață, intensitatea efectivă a ploii, durata efectivă a ploii.

Cantitatea de apă infiltrată se calculează cu ecuațiile Green - Ampt și Mein – Larson (figura 2.40):



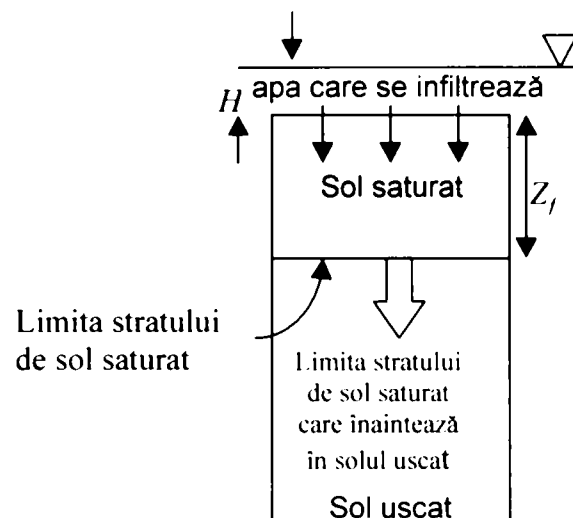


Fig.2.40 Notățiile pentru ecuațiile Green - Ampt și Mein – Larson

Pentru  $F < F_s$ :

$$f = i \quad \text{și} \quad F_s = \frac{S \cdot \text{IMD}}{i/K_s - 1} \quad \text{pentru } i > K_s \quad (2.208)$$

nu se calculează  $F_s$  pentru  $i \leq K_s$

Pentru  $F \geq F_s$ :

$$f = f_p \quad \text{și} \quad f_p = K_s \left( 1 + \frac{S \cdot \text{IMD}}{F} \right) \quad (2.209)$$

unde:  $f$  – infiltrația;  $f_p$  – capacitatea de infiltrație;  $i$  – intensitatea ploii;  $F$  – volumul cumulat infiltrate;  $F_s$  – volumul cumulat necesar a fi infiltrat pentru saturarea părții superficiale a solului;  $S$  – sucțiunea capilară medie a stratului de sol saturat;  $\text{IMD}$  – deficitul inițial de umiditate a solului;  $K_s$  – conductivitatea hidraulică a solului saturat.

Cantitatea de apă reținută în depresiunile terenului:

$$S_d = 0.112 \cdot r_r + 3.1 \cdot r_r^2 - 1.2 \cdot r_r \cdot S_0 \quad (2.210)$$

unde:  $r_r$  – rugozitatea terenului;  $S_0$  – panta hidraulică a scurgerii de suprafață.

Debitul maxim al scurgerii de suprafață se determină cu modelul undei cinematice:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i - f \quad (2.211)$$

unde:  $i$  – intensitatea ploii;  $f$  – intensitatea infiltrației;  $h$  – adâncimea scurgerii de suprafață;  $q$  – debitul lichid pe unitatea de lățime;  $t$  – timpul;  $x$  – distanța.

$$q = C \cdot S_0^{0.5} h^{1.5} \quad (2.212)$$

unde:  $C$  – coeficientul lui Chezy;  $S_0$  – panta versantului.

Durata efectivă a ploii (intensitatea ploii > intensitatea infiltrației) se calculează cu:

$$t_e = \left[ \frac{L}{C \cdot S_0^{0.5} (i-f)^{0.5}} \right]^{1/1.5} \quad (2.213)$$

unde: L – lungimea scurgerii de suprafață (versantului).

Durata efectivă a scurgerii de suprafață este:

$$t_r = \frac{V_t}{P_r} \quad (2.214)$$

unde:  $V_t$  – volumul scurgerii;  $P_r$  – debitul maxim al scurgerii.

Intensitatea efectivă a ploii este:

$$I_e = \frac{\int I dt}{t_e} \quad (2.215)$$

unde: I – intensitatea ploii.

**2.6.9 Modelul DUFLOW** – este un model unidimensional de prognoză a cantității și calității apei din cursuri de apă. A fost dezvoltat de International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE) Delft, The Rijkswaterstaat (Public Works Department), Tidal Water Division, The Hague, The Delft University of Technology, Olanda.

Pentru aplicarea modelului e nevoie de planul de situație al zonei studiate pentru discretizarea rețelei hidrografice și a bazinului hidrografic aferent. Rețeaua hidrografică se împarte în sectoare de diferite lungimi prin noduri, astfel ca tronsoanele liniare dintre două noduri consecutive să urmărească satisfăcător curburile axului talvegului. În fiecare nod e nevoie de precizarea nivelului talvegului și a lățimii oglinzii apei la diferite nivele de apă. Se delimitează suprafața aferentă bazinului hidrografic după linia de cea mai mare pantă și apoi succesiv suprafețele asociate de scurgere care se vor concentra în nodurile discrete.

Mișcarea nestaționară a apei în sisteme deschise cu suprafață liberă este descrisă de ecuații cu derivate parțiale, ce se obțin din condiția de conservare a masei (2.216) și a momentului cinetic (2.217), la care se adaugă relația debitului (2.218):

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.216)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial(\alpha Qv)}{\partial x} + \frac{g|Q|Q}{C^2 AR} = byw^2 \cos(\Phi - \varphi) \quad (2.217)$$

$$Q = v A \quad (2.218)$$

## Capitolul 2 Modele de calcul și prognoză a proceselor erozionale

unde:  $t$  - timpul (s);  $x$  - distanța curentă măsurată în lungul axului curgerii (m);  $H(x,t)$  - nivelul apei față de un nivel de referință (m);  $v(x,t)$  - viteza apei la distanța  $x$  și timpul  $t$  (m/s);  $Q(x,t)$  - debitul de apă la distanța  $x$  și timpul  $t$  ( $m^3/s$ );  $R(x,H)$  - raza hidraulică (m);  $A(x,H)$  - aria secțiunii transversale la distanța  $x$  ( $m^2$ );  $b(x,H)$  - lățimea secțiunii transversale la distanța  $x$  (m);  $B(x,H)$  - lățimea albiei majore a secțiunii la distanța  $x$  (m);  $g$  - accelerația gravitațională ( $m/s^2$ );  $C(x,H)$  - coeficientul Chezy;  $w(t)$  - viteza de bătaie a vântului (m/s);  $\alpha$  - factor de corecție pentru neuniformitatea distribuției de viteze:

$$\alpha = \frac{A}{Q^2} \int v(y,z)^2 dydz \quad (2.219)$$

$\gamma$  - coeficient de conversie asociat vântului;  $\varphi$  - unghiul dintre direcția axului albiei și direcția nordului geografic ( $^\circ$ );  $\Phi$  - direcția de bătaie a vântului ( $^\circ$ ).

Pentru modelarea mișcării aluviunilor din cursul de apă se folosește următoarea ecuație de transport:

$$\frac{\partial(BC)}{\partial t} = -\frac{\partial(QC)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) + P \quad (2.220)$$

unde:  $C$  - concentrația aluviunilor în suspensie ( $g/m^3$ );  $P$  - producția de aluviuni pe unitatea de lungime a râului ( $g/m.s$ );  $D$  - coeficientul de dispersie ( $m^2/s$ ).

Ecuațiile cu derivate parțiale de mai sus sunt rezolvate prin metode numerice (diferențe finite și metoda Galerkin) [David et al, 1998]. Pentru rezolvare e necesară adăugarea unor condiții inițiale și de margine ale rețelei. Condițiile definite de utilizator și condițiile de margine pot fi asociate nivelelor, debitelor sau o relație dintre debite și nivele (curba cheie). În nodurile interioare ale rețelei, nivelele de apă sunt continue în fiecare joncțiune de nod, iar debitele de intrare sau de ieșire dintr-o joncțiune respectă condiția de continuitate, rezultând condiția generală:

$$\sum_{j=1}^k Q_{j-i} + Q_i = 0 \quad (2.221)$$

unde:  $i$  - reprezintă numărul de nod al joncțiunii;  $Q_{j-i}$  - debitul de la nodul  $j$  la nodul  $i$ ;  $Q_i$  - debitul adițional sau lateral curgerii în nodul  $i$ .

La timpul de început (de Start) al execuției simulării mișcării nepermanente, valorile inițiale pentru nivelele ( $H$ ) și debitele ( $Q$ ) sunt necesare să fie cunoscute. Aceste valori inițiale pot fi precizate de utilizator, pot fi cunoscute dintr-o analiză anterioară sau obținute din măsurători.

Efectul adițional al vântului și condițiile din precipitații trebuie de asemenea să fie specificate și sunt introduse de utilizator.

Scurgerea lichidă provenită din precipitații pentru bazine hidrografice mici se determină cu relația următoare:

$$Q = i \cdot 0.001 \cdot S \cdot 10000 \cdot k / (24 \cdot 3600) \quad (2.222)$$

unde:  $Q$  - debitul scurgerii de suprafață ( $m^3/s$ );  $S$  - suprafața bazinului (ha);  $i$  - intensitatea ploii ( $mm/zi$ );  $k$  - coeficientul de scurgere (coeficientul Runoff) definit de relația:

$$k = \frac{h_s}{h} < 1 \quad (2.223)$$

în care  $h_s$  este înălțimea scurgerii de suprafață generată de o ploaie torențială de înălțime  $h$ .

Formula debitului (2.222) se poate utiliza și pentru bazine hidrografice de 10... 100  $km^2$ , cu timp de concentrare ce depășește 60 minute, dar necesită introducerea unui coeficient de reducere ( $m$ ) datorită scăderii intensității ploii  $i^{(1-m)}$ , unde  $m = 0.3$  ... 0.5 pentru zone de munte și deal înalt și  $m = 0.5$ ... 0.7 pentru zona dealurilor joase.

Datele rezultate din aplicarea modelului DUFLOW sunt: variația debitelor și nivelelor de apă și a concentrației de materiale aluvionare sau de diferite substanțe chimice în fiecare nod al rețelei.

Fiind un model unidimensional, modelul are și o serie de limite de aplicare: viteza apei e mediată atât pe verticală cât și pe orizontală, nu se poate aplica pentru curgerea stratificată, consideră concentrația diferitelor elemente constantă pe toată secțiunea transversală. Un alt dezavantaj este acela că precipitațiile, chiar dacă se pot introduce variabile în timp, modelul consideră că ele acționează simultan în toate nodurile rețelei.

**2.6.10 Modelul PROPRIU** – este un model de calcul a pierderilor de sol de pe un versant datorită unei ploi torențiale cu intensitatea  $i$   $mm/min$ . Din analiza din capitolele anterioare se poate deduce că pierderile de sol de pe un versant depind de mai mulți factori, dintre care cei mai importanți sunt: lungimea versantului, panta medie a versantului, intensitatea ploii torențiale, caracteristicile solului (textură, structură, umiditate inițială, proprietăți de infiltrație) și, nu în ultimul rând, folosințele terenului. S – a încercat deducerea unei formule de calcul a pierderilor de sol de pe un versant în urma unei ploi torențiale de următoarea formă:

$$E = \alpha \cdot L^a \cdot I^b \cdot i^c \quad (2.224)$$

unde:  $E$  – pierderea de sol ( $t/ha$ );  $\alpha$  – coeficient;  $L$  – lungimea medie a versantului ( $m$ ),  $I$  – panta medie a versantului,  $i$  – intensitatea ploii torențiale ( $mm/min$ ),  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – parametrii care se vor deduce .

Relația (2.224) are forma unei corelații neliniare multiple. Parametrii  $\alpha$ ,  $a$ ,  $b$ , și  $c$  se vor deduce prin metoda celor mai mici pătrate, transformând corelația neliniară într-o corelație liniară multiplă prin logaritizarea relației (2.224). Metoda este prezentată în cele ce urmează [Drobot, 1997].

$$\ln E = \ln \alpha + a \cdot \ln L + b \cdot \ln I + c \cdot \ln i \quad (2.225)$$

Se fac următoarele notații:

$$y_i^e = \ln E; \beta = \ln \alpha; x_1 = \ln L; x_2 = \ln I; x_3 = \ln i \quad (2.226)$$

Se notează:

$$\bar{Y}_{x_1, x_2, x_3} = \beta + a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3 \quad (2.227)$$

Aplicând metoda celor mai mici pătrate:

$$F = \sum_{i=1}^n (\bar{Y}_{x_1, x_2, x_3} - y_i^e)^2 \rightarrow \text{min im} \quad (2.228)$$

care se realizează pentru:

$$\frac{\partial F}{\partial \beta} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial b} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial c} = 0 \quad (2.229)$$

rezultă următorul sistem de ecuații din care se vor calcula parametrii  $\alpha$ ,  $a$ ,  $b$  și  $c$ :

$$\begin{cases} n \cdot \beta + a \sum_{i=1}^n x_{1i} + b \sum_{i=1}^n x_{2i} + c \sum_{i=1}^n x_{3i} = \sum_{i=1}^n y_i^e \\ \beta \sum_{i=1}^n x_{1i} + a \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + b \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + c \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{3i} = \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i^e \\ \beta \sum_{i=1}^n x_{2i} + a \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + b \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 + c \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{3i} = \sum_{i=1}^n x_{2i} y_i^e \\ \beta \sum_{i=1}^n x_{3i} + a \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{3i} + b \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{3i} + c \sum_{i=1}^n x_{3i}^2 = \sum_{i=1}^n x_{3i} y_i^e \end{cases} \quad (2.230)$$

sau scris matriceal:

$$A X = B \quad (2.231)$$

unde  $X = (\beta, a, b, c)^t$  este vectorul necunoscutelor,  $A$  matricea coeficienților, iar  $B$  termenul liber. De aici rezultă:

$$X = A^{-1} B \quad (2.232)$$

Rezultatele aplicării modelului PROPRIU vor fi prezentate în capitolul 4.

## **Capitolul 3**

### ***Impactul scurgerilor solide asupra mediului***

- 3.1 Efectele scurgerii solide asupra spațiului hidrografic
  - 3.1.1 Efecte pozitive
  - 3.1.2 Efecte negative
  - 3.1.3 Efectele negative ale scurgerilor solide asupra versanților
  - 3.1.4 Efectele negative ale scurgerilor solide asupra rețelei hidrografice
  - 3.1.5 Efectele social – economice negative ale scurgerilor solide
- 3.2 Metodă de evaluare a impactului scurgerii solide dintr-un bazin hidrografic asupra mediului
- 3.3 Sedimentele – parte a monitoringului integrat al calității apelor
- 3.4 Eficiența soluțiilor de amenajare pentru reducerea efectelor scurgerilor solide
  - 3.4.1 Lucrări pe versanți
  - 3.4.2 Amenajarea formațiunilor torențiale
  - 3.4.3 Estimarea volumului de aluviuni care pot fi reținute de barajele de amenajare a torenților
  - 3.4.4 Alte măsuri non – constructive
  - 3.4.5 Eficiența măsurilor constructive și non – constructive de reducere a efectelor negative ale scurgerilor solide

### 3.1 Efectele scurgerii solide asupra spațiului hidrografic

În general, efectele scurgerii solide asupra bazinului hidrografic se pot clasifica în efecte pozitive și efecte negative, cele negative având ponderea cea mai mare.

Cauzele și efectele cele mai importante ale eroziunilor și scurgerilor solide asupra spațiului hidrografic sunt ilustrate în figura 3.1 [www.fao.org, 2006]:

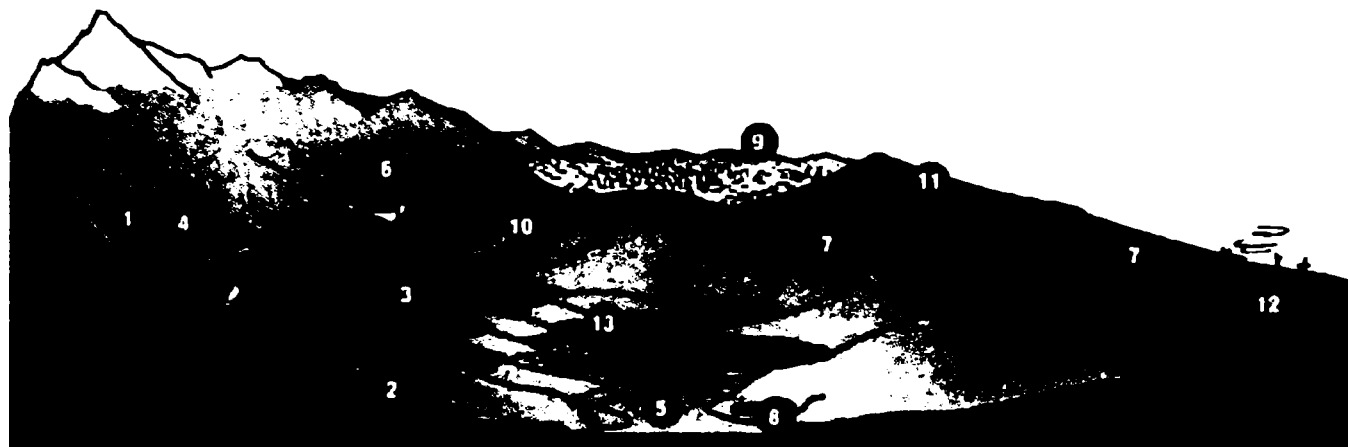


Fig.3.1 Impactul asupra mediului ale eroziunilor și scurgerilor solide

- 1 – Defrișarea pădurilor
- 2 – Lucrarea terenurilor cu pante mari după linia de cea mai mare pantă, folosințe necorespunzătoare
- 3 – Monoculturi pe suprafețe întinse de teren
- 4 – Alunecări de teren, prăbușiri de roci – duc la blocarea drumurilor
- 5 – Degradarea populațiilor piscicole în apele puțin adânci
- 6 – Colmatarea lacurilor de acumulare – reducerea duratei de funcționare a amenajărilor hidrotehnice
- 7 – Eroziuni de suprafață și de adâncime – duc la scăderea utilizabilității terenurilor agricole
- 8 – Înrautățirea condițiilor de navigație, datorită depunerilor de sedimente în albiile cursurilor de apă
- 9 – Dezvoltarea marilor aglomerări urbane prin migrația populației din mediul rural în cel urban, din cauza imposibilității satisfacerii nevoilor de trai
- 10 – Distrugerea podurilor și căilor de comunicații terestre în timpul inundațiilor
- 11 – Lăsarea în paragină a terenurilor agricole (neprotejate)
- 12 – Afectarea terenurilor slab protejate de către eroziunea eoliană
- 13 – Părăsirea așezărilor frecvent inundate.

#### 3.1.1 Efecte pozitive

- fertilizarea solurilor din albiile majore
- regenerarea rezervelor de aluviuni exploatabile ca materiale pentru construcții
- asigurarea stării de echilibru morfodinamic a albiilor neamenajate
- realizarea pe cale naturală a unor trasee rectificate de curgere, cum ar fi străpungerea meandrelor prin autodragare, colmatarea câmpurilor de epiuri
- sporirea capacității de evacuare a apelor mari în albiile care au suferit accentuate procese erozionale de adâncire a albiilor.

3.1.2 Efecte negative

- schimbarea sau diminuarea proprietăților fizice și chimice ale solurilor
- scăderea producției agricole proporțional cu înrăutățirea proprietăților solului
- accentuarea fenomenului de secetă prin diminuarea cantității de apă reținute pe versanți și creșterea cantitativă a scurgerii de suprafață
- scoaterea temporară sau definitivă din circuitul agricol a unor importante suprafețe de teren afectate de eroziune și alte procese de degradare
- poluarea mediului ambiant datorită faptului că prin eroziune sunt spălați de pe versanți și se acumulează în zonele joase sau pătrund în pânza freatică și în apele de suprafață o mare parte din îngrășămintele chimice folosite în agricultură
- afectarea terenurilor cu pante mai mari de procesele de eroziune produse de irigații
- creșterea frecvenței apariției viiturilor torențiale
- greutate în exploatarea unor sisteme de irigații și desecări, datorită colmatării rețelelor de canale și conducte
- favorizarea apariției deplasărilor de teren
- modificarea regimului de tranzitare a debitelor lichide, în special a celor de viitură
- modificarea traseului longitudinal prin accelerarea și intensificarea procesului de meandrare
- modificarea calității apelor, cu repercursiuni importante pentru populație și industrie
- colmatarea lacurilor de acumulare
- reducerea capacității de producere a energiei electrice la hidrocentrale
- posibilitatea scoaterii din funcțiune a instalațiilor de golire, captare și control a apei la baraje
- intensificarea proceselor erozionale în biefurile aval
- compromiterea stabilității lucrărilor de regularizare – îndiguire, de barare și traversare
- aluvionarea canalelor din rețeaua de navigație, determinând modificarea parametrilor de funcționare față de valorile proiectate.

O clasificare a efectelor negative ale scurgerilor solide asupra spațiului hidrografic se poate face astfel:

- efecte pe versanții bazinului hidrografic
- efecte în rețeaua hidrografică



- efecte social – economice.

### 3.1.3 Efectele negative ale scurgerilor solide asupra versanților

Aceste efecte se referă la distrugerea stratului superior de sol; distrugerea sau avarierea căilor de comunicație; modificarea însușirilor chimice ale solurilor; deteriorarea proprietăților fizice și ale regimului hidrologic al solului; la scăderea continuă a producției agricole pentru versanții cu folosință agricolă, pomicolă sau viticolă; dezvoltarea formelor eroziunii de adâncime și a alunecărilor de teren; apariția viiturilor torențiale și poluarea mediului ambiant prin spălarea de pe versanți a substanțelor chimice și acumularea lor în zonele joase; modificarea pantei versanților.

**Distrugerea stratului superior de sol** (pierderea de sol prin eroziune) constă în îndepărtarea treptată a stratului superior fertil și scoaterea la suprafață a orizonturilor nefertile, ajungându-se chiar până la roca mamă. Acțiunea agresivă a apei asupra versanților are un efect dublu: spălarea stratului superior fertil de sol și depunerea acestuia la baza versanților, pe luncile râurilor și în lacurile de acumulare, degradând în acest fel atât solurile de pe pante, cât și cele de la baza versanților, precum și calitatea apei din lacurile de acumulare. Se apreciază că [Berar et al, 1983] îndepărtarea unui strat de sol de 1 cm grosime de pe un hectar, înseamnă pierderea a 130 tone de sol, reprezentând în medie, aproape 3 tone de humus, care se soldează cu mari scăderi de producție vegetală. Clasificarea solurilor funcție de gradul de distrugere al straturilor superioare este redat în tabelul 3.1. [Berar et al, 1978]

Tabelul 3.1

Grupa de eroziune	Felul eroziunii	Caracteristici	Notații	Pierderi de humus
I	eroziune de suprafață moderată	orizontul A îndepărtat în proporție de 50%	EA ½ culoare galbenă pe hărți	0.....33 %
II	eroziune de suprafață puternică	orizontul A complet îndepărtat, s-a ajuns la orizontul B	EB culoare portocalie pe hărți	33.....66 %
III	eroziune de suprafață foarte puternică	orizonturile A și B complet îndepărtate, s-a ajuns la orizontul C	EC culoare maro	66.....100 %
IV	eroziune de adâncime	terenul brăzdat de ravene, ogașe, rigole, s-a ajuns chiar la dislocarea rocii mamă.	semne convenționale	

Materialele provenite din distrugerea straturilor de sol sunt transportate de apă (prin scurgerea de suprafață și scurgerea din albiile torenților, ravenelor, ogașelor și rigolelor) și depuse în locurile cu pante reduse, unde viteza apei scade sub viteza de sedimentare a particulelor de sol. După modul și locul de formare, depozitele sunt [Popovici, 1991]:

- deluviile – depozite formate din particule de sol sau material sedimentar detritic provenit din alterarea și dezagregarea rocilor, aflat în curs de transport pe versanți de către apa de șiroire
- coluviile - depozite formate din particule de sol sau material sedimentar detritic provenit din alterarea și dezagregarea rocilor acumulat la baza versanților sub acțiunea apei de șiroire și a gravitației
- proluviile – sau depozitele de aluviuni torențiale – sunt alcătuite din material detritic transportat de cursurile de apă torențiale. Cele mai tipice sunt conurile de dejecție ale torenților.
- aluviile – aluviunile sau prundișurile – sunt depozite de materiale transportate și depuse de apele curgătoare în albiile, pe lunci sau la locul de vărsare.

Relația de bază dintre debitul solid (QS), capacitatea de transport (TC), rata de eroziune (E) și rata de depunere (D) în cazul scurgerii de suprafață (versantul se consideră brăzdat de microrigole) este [Lane et al, 1982]:

$$\text{rata (E sau D)} = \alpha \cdot (TC - QS) \quad (3.1)$$

unde  $\alpha$  este un coeficient, care în cazul eroziunii se determină cu relația:

$$\alpha = EM / TC \quad (3.2)$$

unde EM este rata de eroziunii de suprafață sau, în cazul în care debitul solid este nul, rata maximă de eroziune.

După Foster și Meyer (1972), rata eroziunii de suprafață se poate determina din relația:

$$E / EM + QS / TC = 1 \quad (3.3)$$

Din relația (3.3) rezultă:

$$E = EM(1 - QS / TC) \quad (3.4)$$

Din relația (3.2) rezultă:

$$EM = \alpha \cdot TC \quad (3.5)$$

În mod analog, ecuația pentru rata de depunere este:

$$D / DM + TC / QS = 1 \quad (3.6)$$

unde DM este rata maximă de depunere a aluviunilor transportate de scurgerea de suprafață atunci când capacitatea de transport este zero.

Din ecuația (3.6) rezultă:

$$D = DM(1 - TC / QS) \quad (3.7)$$

Rata maximă de depunere este:

$$DM = -\alpha \cdot QS \quad (3.8)$$

Coeficientul  $\alpha$  este dat de (după Einstein, 1968) următoarea relație:

$$\alpha = e \cdot w / q \quad (3.9)$$

unde:  $w$  – mărimea hidraulică a particulei aluvionare;  $q$  – debitul lichid pe unitatea de lățime a scurgerii de suprafață;  $e$  – coeficient, care are valoarea 0.5 pentru scurgerea de suprafață și 1.0 pentru scurgerea din alpii.

Din ecuațiile (3.1.....3.9) rezultă:

$$E / EM = 1 - QS / TC \quad (3.10)$$

pentru eroziune și

$$D / DM = 1 - 1 / (QS / TC) \quad (3.11)$$

Din relațiile de mai sus se observă că rata relativă de eroziune  $E/EM$  este o funcție liniară de debitul solid relativ  $QS/TC$ , iar rata relativă de depunere  $D/DM$  este proporțională cu inversul debitului solid relativ. Aceste relații sunt prezentate în figura 3.2.

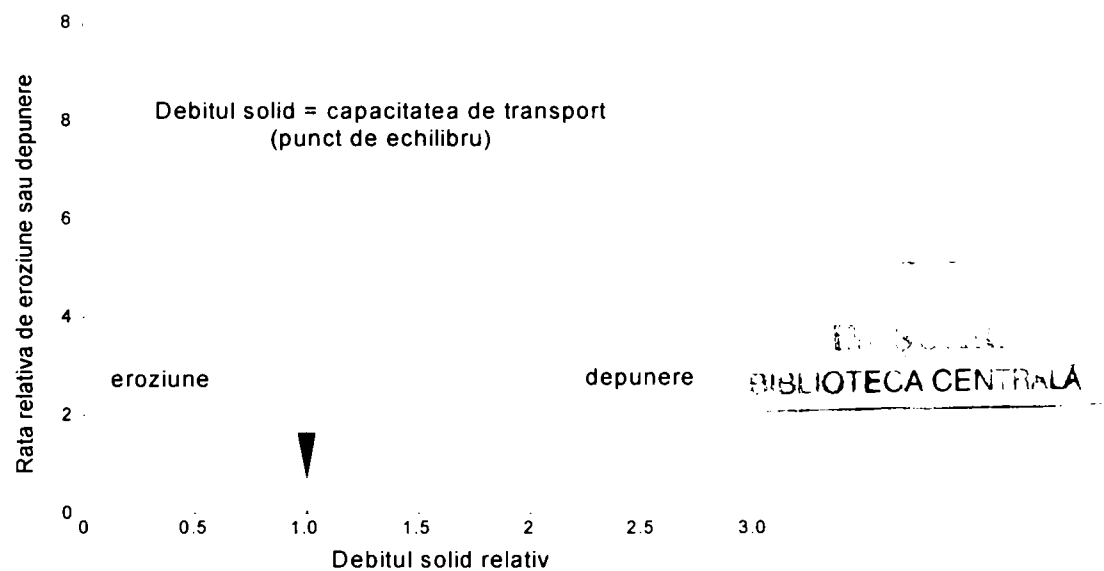


Fig.3.2 Relațiile dintre rata de eroziune, capacitatea de transport și rata de depunere pentru scurgerea de suprafață (după Lane, 1982)

Din figura 3.2 se pot desprinde următoarele concluzii:

- rata de eroziune este maximă atunci când debitul solid este zero
- rata de eroziune descrește liniar cu creșterea valorii raportului  $QS/TC$  până la valoarea la care  $QS = TC$
- rata de depunere este maximă atunci când capacitatea de transport este zero
- rata de depunere crește neliniar cu creșterea valorii raportului  $QS/TC$ .

**Distrugerea sau avarierea căilor de comunicație** – se referă la distrugerea sau avarierea drumurilor de pe versanți, aleilor înierbate sau potecilor, a zonelor de întoarcere, care au rolul de a asigura accesul oamenilor și a utilajelor agricole la suprafețele cultivate de pe versanți. Aceste drumuri au și rolul de a atenua și dispersa eventualele scurgeri, pentru evitarea concentrării lor.

**Modificarea însușirilor chimice ale solurilor** – se referă la modificarea conținutului în substanțe chimice ale orizonturilor solului. Particulele antrenate de pe versanți de către scurgerea de suprafață au un rol important în transportul substanțelor chimice (adsorbite sau absorbite) din sol. Rolul sedimentelor în suspensie în transportul global al elementelor chimice majore de pe versanți în oceanele și mările lumii, prin cursurile de apă, este prezentat în tabelul 3.2 [Walling, 1988].

Tabelul 3.2

Element chimic	Transport asociat sedimentelor	Concentrația (mg / g)
	Transport total (%)	
Al	99,87	90,0
Fe	99,8	51,5
Ti	99,6	5,8
Mn	98	1,0
Si	96	281
P	95	1,15
K	86,5	21,0
F	80	0,97
B	60	0,07
N	57	1,2
Mg	56	11,0
Ca	43	24,5
C	34	20,0
Sr	32	0,015
Na	28	7,1
S	13	2,15
Cl	1	0,5
C anorganic	28	10,0
C organic	45	10,0
N organic	68	1,2
P organic	94	0,45
P anorganic	97	0,70

Spălarea substanțelor chimice din sol se poate realiza pe două căi principale: prin infiltrație și prin scurgerea de suprafață. Au fost dezvoltate mai multe modele de studiu a acestui proces, ele se bazează pe ipoteza că concentrația diferitelor substanțe chimice în scurgerea de suprafață descrește de la o valoare inițială, pe măsură ce o cantitate tot mai mare de substanțe sunt îndepărtate din orizonturile superioare de sol prin infiltrație și scurgere.

Un astfel de model este CREAMS, dezvoltat de USDA în 1980, care consideră că modificările concentrațiilor substanțelor chimice solubile în stratul activ de sol sunt proporționale cu diferența dintre concentrația inițială a acestor substanțe în sol și concentrația acestora din apa de ploaie. Ecuația guvernantă a modelului este:

$$\frac{dc}{dt} = f \cdot (c_{\phi} - c) \cdot k_f - \sigma \cdot (c_{\phi} - c) \cdot k_{\sigma} \quad (3.12)$$

unde:  $c$  – concentrația substanței chimice în apă din zona activă de sol;  $c_{\phi}$  – concentrația substanței chimice în apa de ploaie;  $t$  – timpul;  $f$  – intensitatea infiltrației;  $\sigma$  – ploaia în exces;  $k_f$ ,  $k_{\sigma}$  – constante, care se determină cu formulele:

$$k_f = \frac{\eta_f}{D \cdot P} \quad k_{\sigma} = \frac{\eta_{\sigma}}{D \cdot P} \quad (3.13)$$

unde:  $\eta_f$  – coeficient de extracție pentru apa infiltrată, a cărei valoare după Frere este 0,25 [Frere et al, 1980];  $\eta_{\sigma}$  – coeficient de extracție pentru scurgerea de suprafață, a cărei valoare este 0,075, după același autor;  $D$  – adâncimea zonei active;  $P$  – porozitatea zonei active.

Prin rearanjarea termenilor în relația 3.12, rezultă următoarea ecuație diferențială de ordinul I:

$$\frac{dc}{dt} + (f \cdot k_f + \sigma \cdot k_{\sigma}) \cdot c = (f \cdot k_f + \sigma \cdot k_{\sigma}) \cdot c_{\phi} \quad (3.14)$$

dacă se notează:

$$\beta = (f \cdot k_f + \sigma \cdot k_{\sigma}) \quad (3.15)$$

rezultă:

$$\frac{dc}{dt} + \beta \cdot c = \beta \cdot c_{\phi} \quad (3.16)$$

din care prin integrare și calculul constantei de integrare  $k$  la timpul  $t = t_i$ , rezultă:

$$c = c_{\phi} + (c_i - c_{\phi}) \cdot e^{-\beta(t-t_i)} \quad (3.17)$$

Ecuația 3.17 se poate integra pentru a rezulta concentrația medie a substanței chimice în zona activă a solului într-o perioadă  $\Delta t$ , de la  $t_1$  la  $t_2$  [Flanagan, 1986]:

$$\bar{c} = c_{\phi} + \frac{1}{\beta \Delta t} (c_1 - c_{\phi}) (1 - e^{-\beta \Delta t}) \quad (3.18)$$

Ecuația utilizată pentru determinarea concentrației substanței chimice în scurgerea de suprafață este:

$$c_{\sigma} = c_{\phi} + \eta_{\sigma} \cdot (\bar{c} - c_{\phi}) \quad (3.19)$$

Flanagan și Foster [Flanagan et al, 1989] au studiat pierderile de azot și fosfor din sol prin scurgerea de suprafață. Studiul s-a bazat pe următoarele ipoteze:

- concentrația nutrienților este constantă pentru o concentrație a sedimentelor dată în scurgerea de suprafață
- concentrația nutrienților este constantă pentru o fracțiune granulometrică a sedimentelor dată
- concentrația nutrienților pentru o fracțiune granulometrică dată a sedimentelor este o funcție de finețea particulelor și de conținutul de materie organică.

Autorii studiului au încercat să stabilească corelațiile dintre ratele de îmbogățire a sedimentelor din scurgerea de suprafață în diferite substanțe nutritive (N, P, C etc). Prin rată de îmbogățire se înțelege raportul dintre concentrația nutrienților din sedimente și concentrația nutrienților din solul original. Rezultatele experiențelor sunt prezentate în graficele din figurile 3.3.....3.8.

Se constată că nu se poate stabili o corelație liniară bună (coeficientul de corelație este mai mic decât 0,7) între ratele de îmbogățire a sedimentelor cu diferite substanțe fertilizate și nici între concentrația sedimentelor în scurgerea de suprafață și concentrația substanțelor nutritive în sedimente.

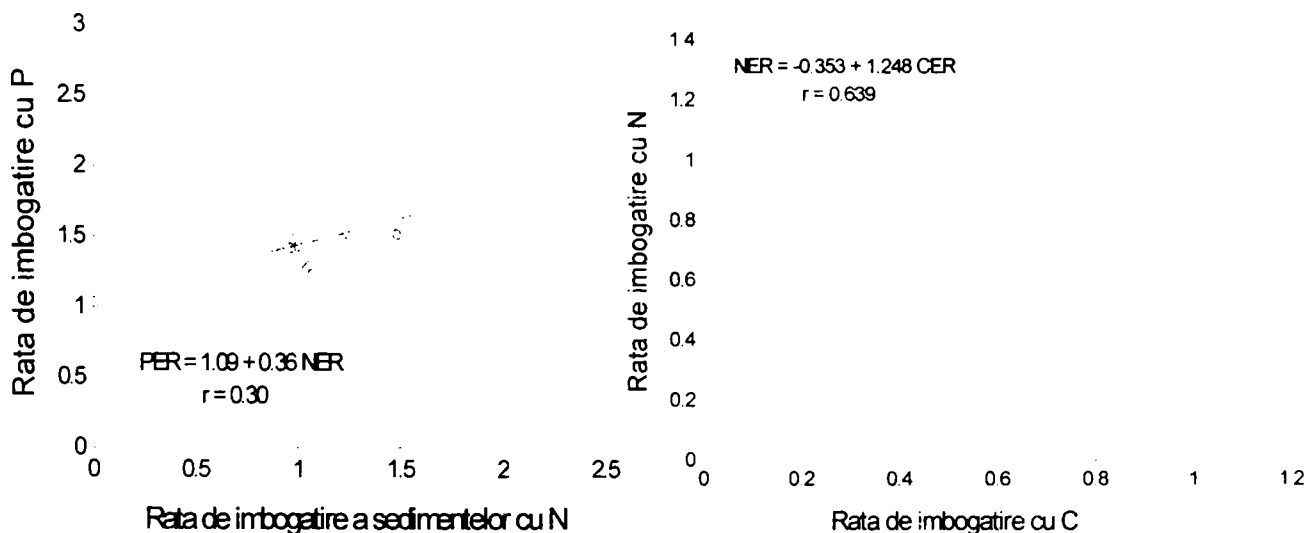


Fig.3.3 Relația dintre rata de îmbogățire a sedimentelor cu P și N

Fig.3.4 Relația dintre rata de îmbogățire a sedimentelor cu N și C

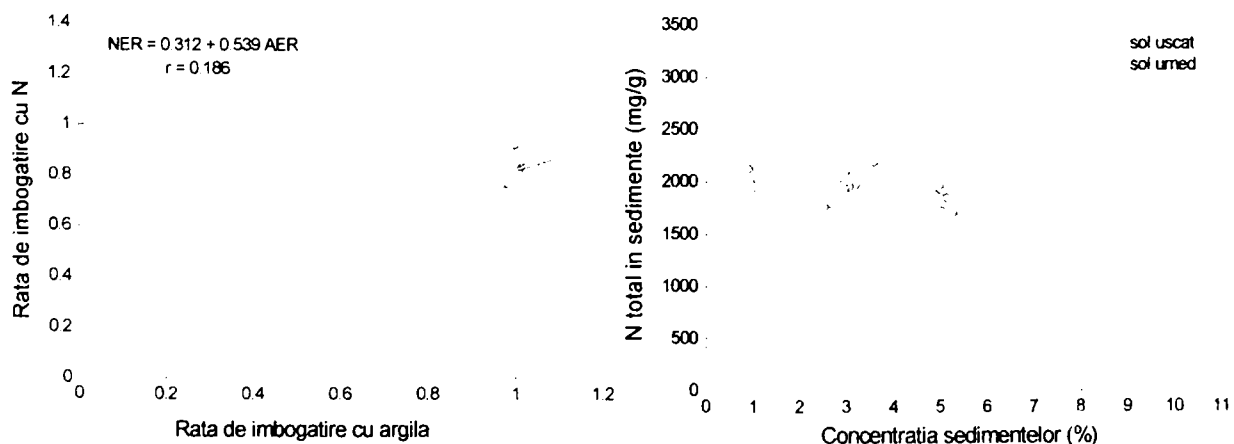


Fig.3.5 Relația dintre rata de îmbogățire a sedimentelor cu N și argilă

Fig.3.6 Relația dintre rata de îmbogățire a sedimentelor cu N și concentrația sedimentelor în scurgerea de suprafață

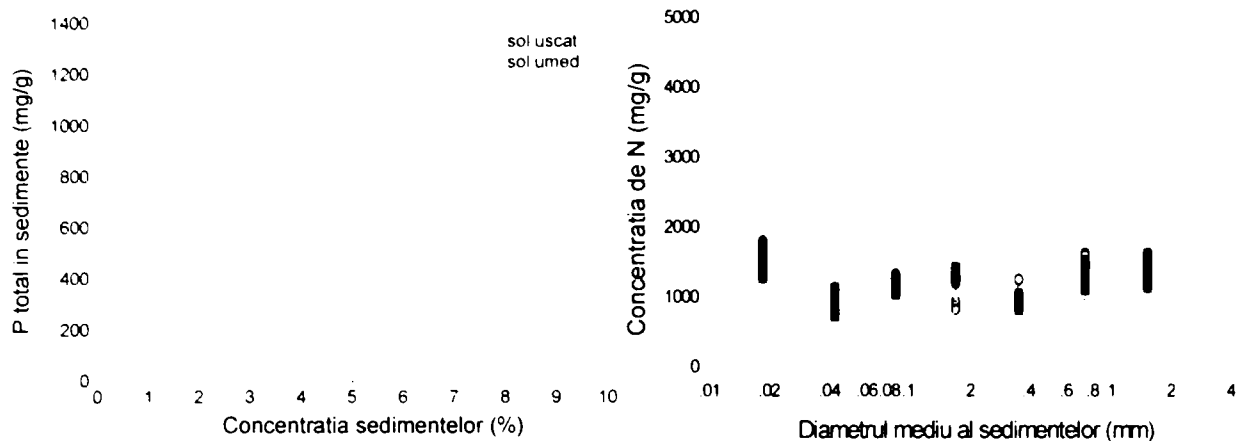


Fig.3.7 Relația dintre rata de îmbogățire a sedimentelor cu P și concentrația sedimentelor în scurgerea de suprafață

Fig.3.8 Relația dintre concentrația de N din sedimente și diametrul mediu al sedimentelor

Un alt studiu cu privire la pierderile de elemente fertilizante din sol datorită eroziunii, a fost făcut de Sharpley în anul 1985 [Walling, 1988] pe parcele experimentale; el a stabilit corelațiile dintre ratele de îmbogățire ale sedimentelor în fosfor, carbon și azot cu pierderile de sol. Rezultatele experimentelor se pot vedea în graficele din figura 3.9.

Din grafice rezultă că există o corelație liniară negativă bună între pierderile de sol și rata îmbogățirii sedimentelor cu nutrienți. Corelația negativă se poate explica prin faptul că o valoare mare a energiei de eroziune duce, pe de o parte, la o rată mai ridicată a pierderii de particule de sol, iar pe de altă parte reduce probabilitatea mobilizării preferențiale a particulelor fine de sol sau a materiei organice.

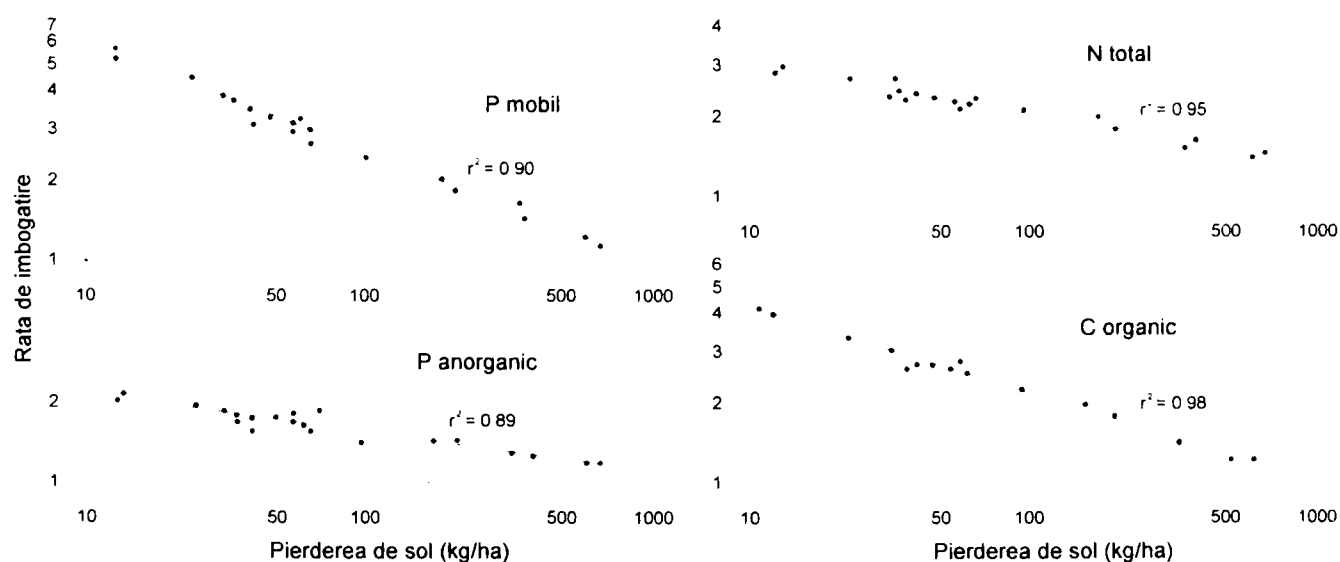


Fig.3.9 Corelațiile dintre ratele de îmbogățire ale sedimentelor în substanțe nutritive și pierderile de sol

În România, s-au efectuat cercetări privind pierderile de elemente fertilizante ale solurilor datorate eroziunii la Stațiunea Centrală de Cercetări pentru Combaterea Eroziunii Solului, Perieni, județul Vaslui. În condițiile pedoclimatice din regiunea

respectivă, s-au obținut următoarele rezultate de către Popa A. și colaboratorii (1984) [Neamțu, 1996]:

Tabelul 3.3

Cultura	Panta terenului 16 %			Panta terenului 24 %		
	Principalele elemente spălate, kg/ha.an					
	Humus	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Humus	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Ierburi perene, anul II	17,0	0,5	0,38	36,5	1,0	0,75
Grâu de toamnă	129,0	4,0	2,90	300,0	8,0	6,05
Mazăre	224,5	7,2	4,95	510,0	11,2	8,45
Porumb	985,0	32,5	22,7	1560,0	55,3	43,00

Se poate observa că pierderile de elemente fertilizante sunt aproximativ duble pentru un teren cu panta de 24 % față de un teren cu aceleași caracteristici, dar cu pantă de 16 %.

Rezultate asemănătoare s-au obținut și în condițiile perimetrului etalon de combaterea eroziunii solului Popești – Podul Illoaiei de către Dumitrescu N. și colaboratorii (1997) [Neamțu, 1996]:

Tabelul 3.4

Cultura	Apă scursă m <sup>3</sup> /ha	Sol erodat t/ha	Panta terenului 16 %		
			Principalele elemente spălate, kg/ha.an		
			humus	fosfor	potasiu
Ierburi perene, anul I	67,9	1,83	73,4	1,83	0,93
Ierburi perene, anul II	66,3	0,10	4,0	0,10	0,06
Grâu	64,8	0,98	39,8	0,98	0,49
Porumb	81,2	5,57	222,7	5,57	2,81
Fasole	65,7	2,58	101,7	2,51	1,29
Floarea – soarelui	71,3	5,79	233,6	6,03	2,94
Mazăre	64,6	3,02	120,2	3,0	1,70

Pierderile principalelor elemente fertilizante din sol pe adâncimea de 0 – 30 cm variază și în funcție de tipul de sol situat pe versanți și mai ales de gradul de eroziune al solului respectiv. Dacă se analizează humusul în comparație cu fosforul, acesta este mai expus agresiunii pluviale și deci spălat mai ușor, cu valori cuprinse între 13 și 25 % față de 12 și 23 % pe solurile cu eroziune slabă și între 76 și 83 % față de 62 și 79 % pe solurile foarte puternic erodate [Neamțu, 1996].

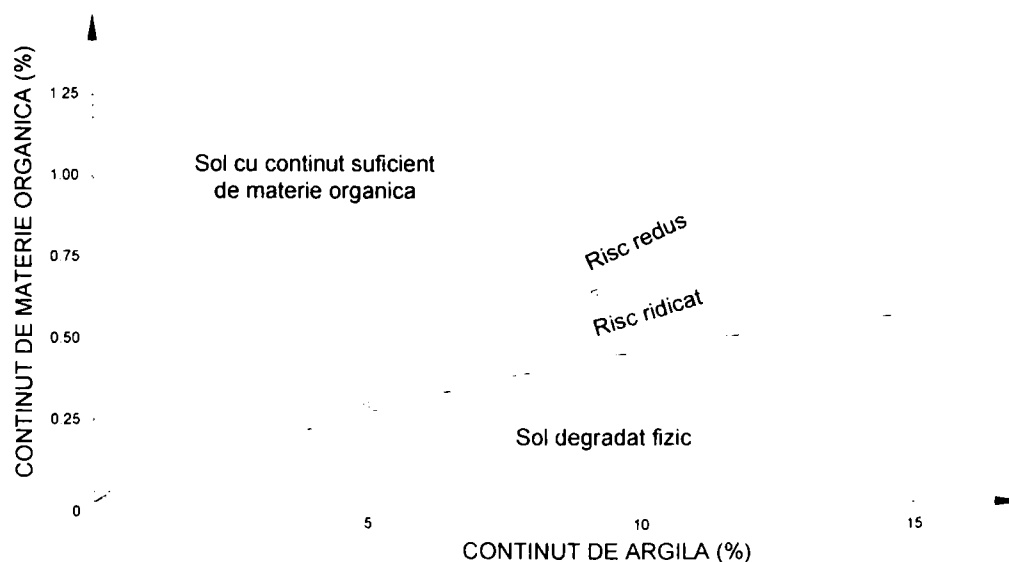
**Poluarea mediului ambiant prin spălarea de pe versanți a substanțelor chimice și acumularea lor în zonele joase** – se aproximează că cca. 50% din îngrășămintele chimice, produsele și substanțele chimice folosite pentru protecția



chimică a culturilor (fungicide, ierbicide, insecticide etc.) sunt spălate prin eroziune de pe versanți și sunt depozitate în zonele joase sau pătrund în pânza freatică și în apele de suprafață. [Popovici, 1991]

**Deteriorarea proprietăților fizice și ale regimului hidrologic al solului** – se referă la modificarea caracteristicilor fizice ale solurilor și a dinamicii apei în sol. Eroziunea contribuie la creșterea densității aparente de profil, a pH – ului, a coeficientului de ofilire, la scăderea porozității, a capacității totale pentru apă a solului, a capacității de câmp, a rezervei de apă utilă etc. Pierderea treptată anuală din orizonturile de la suprafața solului duc la apariția unor orizonturi noi cu însușiri fizice și hidrologice modificate. Efectele imediate ale modificării texturii și structurii solului sunt micșorarea gradului de afânare al solului și mărirea densității aparente a solului. Efectele cele mai importante ale înrăutățirii dinamicii apei în sol, ca mijloc principal de vehiculare a elementelor nutritive din sol, sunt scăderea producției agricole și degradarea covorului vegetal al terenurilor în pantă [Neamțu, 1996]. Un alt efect este accentuarea fenomenului de secetă, prin diminuarea cantității de apă reținută pe versanți și creșterea volumul scurgerii superficiale. Cu accentuarea gradului de spălare a solului compoziția mecanică a solurilor devine mai ușoară. Scăderea cantității de material mâlos și a conținutului de humus, spălarea coloizilor solului și a microorganismelor ce le conțin, provoacă reducerea continuă a coeziunii, majorarea conținutului de particule mari, ceea ce duce la cedarea în continuare mai ușoară a solului la erodare.

În figura 3.10 se prezintă riscul de degradare fizică a solului, funcție de raportul dintre conținutul în procente de materie organică (M.O) și conținutul de argilă (A) a solului [Moțoc, 1992; Guțiu et al, 1995]:



**Scăderea continuă a producției agricole pentru versanții cu folosință agricolă, pomicolă sau viticolă** – se referă la reducerea potențialului productiv al solului cu atât mai mult cu cât eroziunea este mai avansată, însă acesta are loc în mod diferențiat, în funcție de tipul de sol și de intensitatea schimbării principalelor însușiri fizice și chimice ale orizonturilor ajunse la suprafață prin eroziune. În figura 3.11 și 3.12 se prezintă scăderea producției agricole în funcție de adâncimea stratului de sol erodat, respectiv gradul de eroziune al solului [Neamțu, 1996].

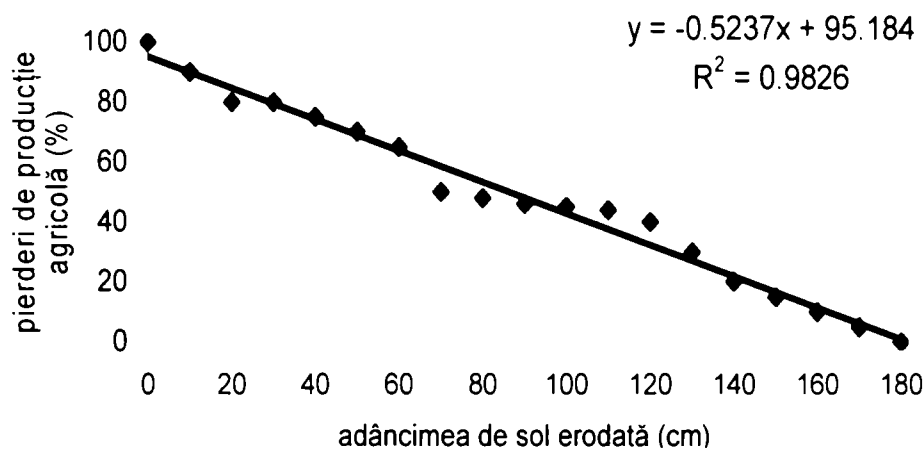


Fig.3.11 Scăderea producției agricole în funcție de adâncimea stratului de sol erodat

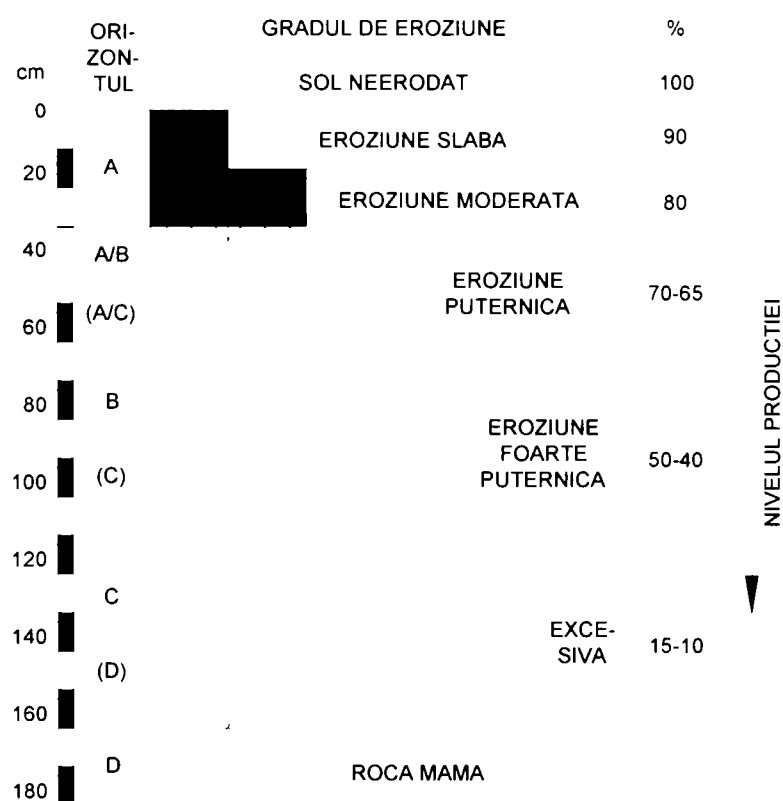


Fig.3.12 Scăderea producției agricole în funcție de gradul de eroziune al solului (după Neamțu, 1996)

Din figura 3.11 se poate observa că există o corelație liniară negativă foarte bună între scăderea nivelului producției agricole și adâncimea de sol erodată.

**Dezvoltarea formelor eroziunii de adâncime** – se referă la evoluția formelor de eroziune în adâncime rigolă → ogaș → ravenă și la dezvoltarea ravenelor. Indicatorii dezvoltării unei ravene sunt [Popovici, 1991]:

- indicele de creștere în lungime a unei ravene – prezintă interes pentru estimarea evoluției densității de fragmentare a reliefului, pentru reducerea gradului de mecanizare a lucrărilor agricole sau pentru stabilirea gradului de periclitate a unor obiective economice. După J.R. Thompson (1964) creșterea în lungime a unei ravene se calculează cu:

$$\Delta L = 0.15 \cdot A^{0.49} \cdot i^{0.14} \cdot p \cdot A_{rg} \quad (3.20)$$

unde:  $\Delta L$  - creșterea în lungime a unei ravene în zona de vârf (feet/an);  $A$  - suprafața bazinului de recepție (acri);  $i$  - panta longitudinală amonte de vârful ravenei (%);  $p$  - suma anuală a înălțimii precipitațiilor maxime în 24 ore, care depășesc 13 mm;  $A_{rg}$  - conținutul în argilă a solului (% raportat la volum).

În România s-a constatat o creștere medie anuală de 20 m la ravenele aflate într-o stare incipientă de dezvoltare și de 3,7.....8 m la cele puternic dezvoltate.

- indicele de creștere a suprafeței ocupate de ravenă – această creștere duce la degradarea și scoaterea definitivă din circuitul economic a unor terenuri cu diverse folosințe. Creșterea suprafeței ocupate de ravenă, după C.E. Beer și H.P. Johnson (1965), se poate aprecia cu:

$$\Delta A = 0,01 \cdot Q^{0,98} \cdot AT^{-0,04} \cdot L_1^{0,80} \cdot L_2^{0,25} \cdot P^{-0,04P} \quad (3.21)$$

unde:  $\Delta A$  - creșterea suprafeței ravenei într-o anumită perioadă de timp (acri);  $Q$  - debitul scurgerii de suprafață (cubic inch/s);  $AT$  - suprafața ocupată de terase în bazinul de colectare a scurgerii (acri);  $L_1$  - lungimea ravenei la începutul perioadei de timp (feet);  $L_2$  - distanța de la vârful ravenei până la cumpăna apelor (feet);  $P$  - abaterea precipitațiilor de la normală (medie) (inch).

În România s-a constatat o medie anuală de creștere a suprafeței ocupate de ravene de 1,0...2,0 ha la ravenele dezvoltate. Dacă se iau în considerare și suprafețele din jurul ravenei, care nu se pot folosi și care pot reprezenta până la 50 % din suprafața ocupată de ravenă, rezultă o suprafață de 1,5.....3,0 ha de teren care este degradată și scoasă din circuit într-un an pentru fiecare ravenă dezvoltată.

- eroziunea efluentă – reprezintă volumul de material solid erodat prin ravenare, ea poate fi doar estimată, deoarece nu se poate separa de cantitatea de material provenit de pe versanți, în cazul ploilor individuale. T.R. Williams (1975) a găsit următoarea formulă de calcul a eroziunii efluente:

$$E = 11,8(V \cdot Q_p)^{0,56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L \cdot S \quad (3.22)$$

unde:  $E$  – eroziunea efluentă;  $V$  – volumul scurgerii;  $Q_p$  – debitul maxim în secțiunea de calcul cu asigurarea de 10 %;  $K$  – coeficient de erodabilitate al solului, cu valori de la 0.6 la 1.2, obținute în raport cu gradul de eroziune, textură și tipul genetic de sol;  $C$  – coeficient de contribuție pentru folosințe și culturi, cu valori de la 0.001 la 1.6;  $P$  – coeficient de contribuție pentru lucrările și măsurile de combatere a eroziunii solului, cu valori de la 0.15 la 1;  $L$  – (m) lungimea medie a versantului;  $S$  – (°) panta medie a versantului.

#### Stabilirea profilului de echilibru dinamic pentru o ravenă [Di Silvio, 1998]

Panta talvegului unei ravene aflate în stare de echilibru dinamic se poate stabili din condiția egalității capacității de transport a ravenei cu cantitatea de sedimente provenite de pe versanți și din albiei pentru o ploaie torențială. După cum am arătat în paragraful 2.5, capacitatea de transport a sedimentelor pentru o secțiune dată este

proporțională cu  $i^{21} \cdot A^{22}$ , unde  $i$  panta albiei și  $A$  suprafața bazinului de recepție. Dacă se consideră că toată cantitatea de sedimente transportate provine din erodarea albiei ravenei (se neglijează eroziunea de suprafață), care este proporțională cu aria erodată  $A_d$  din secțiunea transversală, putem scrie:

$$i^{21} \cdot A^{22} \approx A_d \quad (3.23)$$

sau

$$i = k_g \frac{A_d^{1/2}}{A^{3/4}} \quad (3.24)$$

unde  $k_g$  este o constantă care depinde de caracteristicile solului bazinului de recepție și de caracteristicile climatice ale zonei. Pentru o ravenă dată și pentru un tip de sol dat,  $k_g$  se poate stabili prin corelația liniară dintre valorile celor doi membrii ai relației (3.24) pentru alte ravene stabilizate din zona respectivă (dacă există).

În figura 3.13 se arată evoluția unei ravene până la atingerea profilului de echilibru.

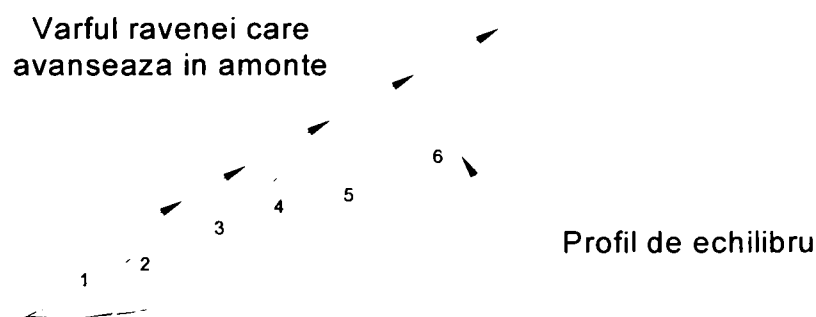


Fig.3.13 Evoluția unei ravene până la atingerea profilului de echilibru

**Apariția viiturilor torențiale** – sunt viituri rezultate în urma ploilor torențiale sau a topirii bruște a zăpezilor. Ele se formează prin concentrarea rapidă ale curenților de apă pe unele formațiuni mai dezvoltate ale eroziunii în adâncime (torenți), pe suprafețe relativ mici ca întindere unde se constată atât procese de eroziune de suprafață, cât și procese de eroziune în adâncime, însă pot exista și alte forme de degradare a terenului, gen alunecări de teren. O clasificare generală a viiturilor torențiale este:

- viituri torențiale numai cu apă
- viituri torențiale cu apă și piatră
- viituri torențiale cu noroi – torenți noroioși.

O altă clasificare a viiturilor torențiale care ține cont și de cantitatea de aluviuni, este cea propusă de Esman și Goncharov în 1948 [Popovici, 1991]:

- grupa I – viituri pe ravene cu viteze mari, pe albie cu panta 0,01 – 0,02, cu conținut de aluviuni până la 2 % (volumetric) și greutatea volumetrică 1,05 t/m<sup>3</sup>
- grupa a II-a – viituri pe ravene de tranziție către scurgeri torențiale cu bolovani, cu viteze mari, pe albie cu panta 0,02 – 0,04, cu conținut de aluviuni până la 5 - 10 % (volumetric) și greutatea volumetrică 1,05 – 1,15 t/m<sup>3</sup>
- grupa a III-a – curenți torențiali cu bolovani, cu viteze mai mici decât curenții fără material solid, în aceleași condiții, pe albie cu panta 0,03 – 0,04, cu conținut de aluviuni până la 10 - 30 % (volumetric), din care material fin 10 %
- grupa a IV-a – curenți torențiali cu argilă și bolovani, cu viteze substanțial mai mici decât curenții fără material solid, în aceleași condiții, pe albie cu panta 0,03 – 0,04, cu conținut de aluviuni până la 33 - 66 % (volumetric), din care material fin 40 - 60 %.

#### **Modificarea pantei versanților [Rodriguez et al, 1997]**

Ecuția de bază pentru evoluția cotei într-un punct dat al unui versant este:

$$\frac{\partial z(x, t)}{\partial t} = -\nabla \cdot F + U + \eta(x, t) \quad (3.25)$$

unde:  $z$  – cota punctului respectiv;  $x (x_1, x_2)$  – coordonatele punctului respectiv într-un sistem arbitrar;  $F$  – vectorul flux de sedimente;  $U$  – forță ascensională arbitrară;  $\eta$  – forțe externe aleatoare;  $t$  – timpul.

În cazul în care  $U = 0$ , rezultă:

$$\frac{\partial z(x, t)}{\partial t} = -\nabla \cdot F \quad (3.26)$$

### Capitolul 3 Impactul scurgerilor solide asupra mediului

în care  $F$  este vectorul flux de sedimente, orientat de obicei în direcția pantei versantului, care rezultă din relația:

$$F = -f \frac{\nabla z}{|\nabla z|} \quad (3.27)$$

unde  $f$  este vectorul de direcție al pantei versantului.

În cazul unidimensional, se obține:

$$\frac{\partial z(x, t)}{\partial t} = -Kz \quad (3.28)$$

unde  $K$  este un coeficient dimensional, care reprezintă inversul pasului de timp caracteristic pentru eroziune.

Soluția ecuației (3.28) este:

$$z(x, t) = z_0(x)e^{-Kt} \quad (3.29)$$

unde  $z_0$  – cota punctului la momentul inițial ( $t = 0$ ).

Un alt model unidimensional de evoluție a pantei versanților a fost dezvoltat de Kirby în 1971, bazându-se pe următoarea relație de proporționalitate:

$$\nabla \cdot F(Q, |\nabla z|) \cong Q^m |\nabla z|^n \quad (3.30)$$

unde:  $Q$  – debitul lichid;  $m, n$  - exponenți, ai căror valori sunt date în tabelul 3.5.

Rezultatele sunt prezentate în figura 3.14.

Tabelul 3.5

Procesul	m	n
alunecare lentă a solului	0	1
dislocarea particulelor de sol datorită picăturilor de ploaie	0	1 - 2
eroziune de suprafață	1,3 - 1,7	1,3 - 2
râuri	2 - 3	3

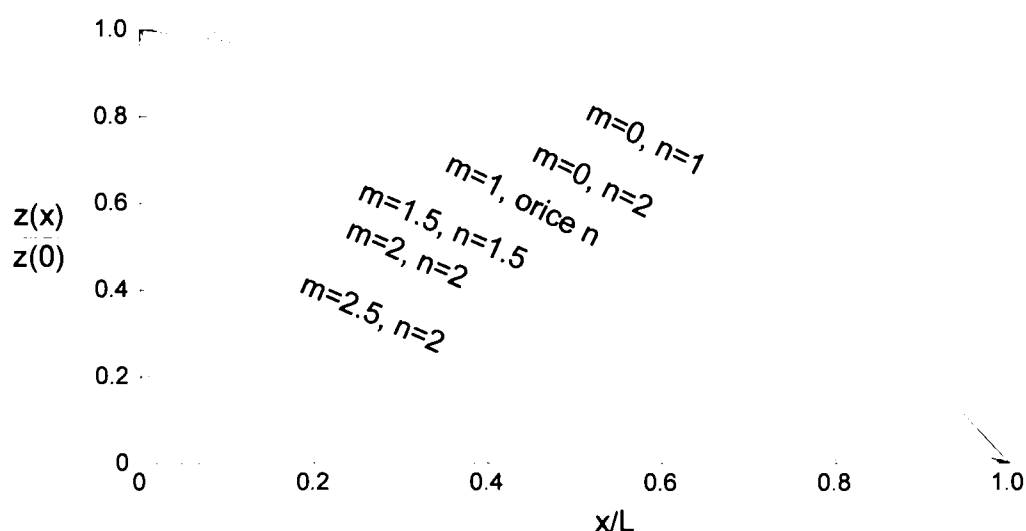


Fig.3.14 Evoluția pantei versanților  $z(x) = z(x, t \rightarrow \infty)$  (după Kirby, 1971)

Modelul cel mai folosit, însă, este cel bazat pe analogia cu teoria difuziei, se consideră că fluxul de sedimente  $F$  este proporțional cu panta locală  $\nabla z$ :

$$F = \mu \nabla z \quad (3.31)$$

unde  $\mu$  joacă rolul coeficientului de difuzie. Rezultă că ecuația de bază pentru evoluția pantei versanților este:

$$\frac{\partial z(x, t)}{\partial t} = \nabla \cdot \mu \nabla z \approx \mu \nabla^2 z \quad (3.32)$$

### 3.1.4 Efectele negative ale scurgerilor solide asupra rețelei hidrografice

Aceste efecte se referă la modificarea regimului de tranzitare a debitelor lichide, în special a celor de viitură; modificarea traseului longitudinal prin accelerarea și intensificarea procesului de meandrare; modificarea calității apelor, cu repercursiuni importante pentru populație și industrie; colmatarea lacurilor de acumulare; reducerea capacității de producere a energiei electrice la hidrocentrale posibilitatea scoaterii din funcțiune a instalațiilor de golire, captare și control a apei la baraje; intensificarea proceselor erozionale în biefurile aval; compromiterea stabilității lucrărilor de regularizare – îndiguire, de barare și traversare; aluvionarea canalelor din rețeaua de navigație, determinând modificarea parametrilor de funcționare față de valorile proiectate.

În continuare se prezintă în detaliu câteva din aceste efecte.

**Colmatarea lacurilor de acumulare** - este un proces complex care începe în momentul intrării în funcțiune al lacului și se termină atunci când lacul este scos din funcțiune. Colmatarea lacurilor de acumulare nu este un proces care poate fi oprit complet, se pot lua doar unele măsuri pentru a o controla - măsuri de reducere a scurgerilor solide de pe versanți, care vor fi prezentate în paragraful 3.3. Scopul studierii fenomenului de colmatare are ca obiective găsirea unor metode adecvate de prognoză ale colmatării, stabilirea măsurilor de atenuare a colmatării pentru a mări durata de funcționare a acumulărilor [Giurma, 1997].

Se știe că lacurile de acumulare reprezintă o necesitate social – economică; s-a ajuns ca în prezent barajele să controleze cea mai mare parte din scurgerea râurilor globului, iar volumul lacurilor de acumulare să reprezinte aproape jumătate din apa existentă la un moment dat în atmosferă și de mai multe ori volumul apei

râurilor lumii, iar suprafața ce o ocupă depășește 1% din aria continentelor [Ichim et al, 1986; Chiriac et al, 1976].

Sursele aluviunilor depuse într-un lac sunt bazinul de recepție aferent lacului și rețeaua hidrografică aflată în legătură cu lacul. Modul de depunere a aluviunilor într-un lac de acumulare depinde de felul debitului solid: târât sau în suspensie și se datorează reducerii vitezei curentului de apă când ajunge la un lac. Cea mai mare parte a debitului solid târât se depune la coada lacului, formând cu timpul un banc de aluviuni care avansează spre baraj. Debitul solid în suspensie se depune în funcție de modul în care are loc curgerea în lac: curgere sub formă de curenți de densitate (în cazul acumulărilor adânci) sau curgerea prin amestecul total al afluxurilor cu volumul de apă dintr-un lac (în cazul acumulărilor cu adâncime mică) În figura 3.15 se prezintă depunerea aluviunilor într-un lac de acumulare în condițiile formării unor curenți de densitate [Giurma, 1997].

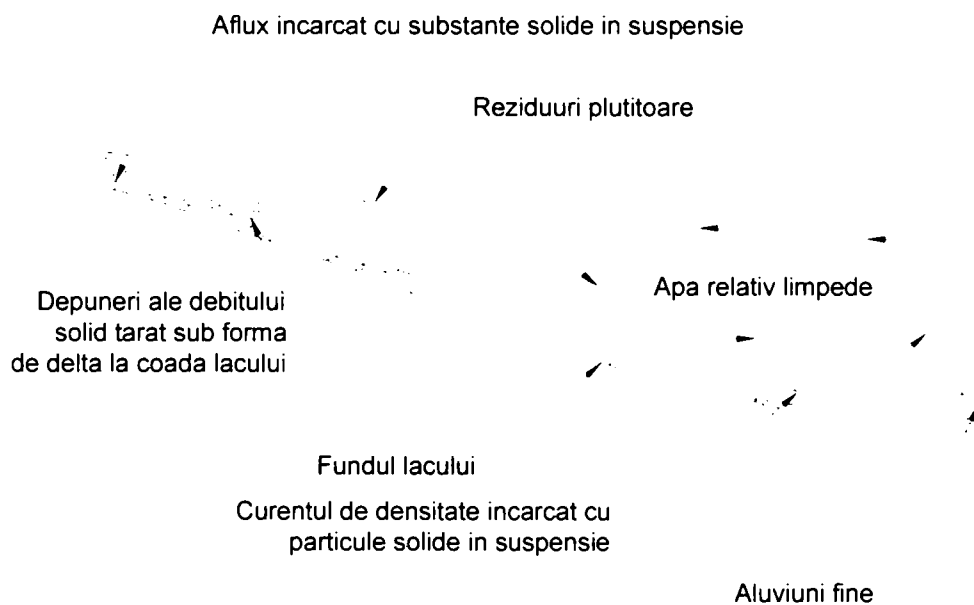


Fig.3.15 Depunerea aluviunilor într-un lac de acumulare în condițiile formării unor curenți de densitate (după Giurma, 1997)

Într-un lac de acumulare se pot distinge mai multe zone de depunere, producându-se și o sortare a aluviunilor [Giurma, 1997] (figura 3.16):

- depuneri în zona barajului unde se acumulează aluviunile cu diametrul mai mic de 0,02 mm
- depuneri pe fundul lacului mai mult sau mai puțin uniforme, diametrul particulelor fiind cuprins între 0,02 și 0,05 mm
- depuneri la coada lacului, particulele având diametrul mai mare de 0,03 – 0,05 mm
- depuneri în amonte de lac, în zona de remuu.



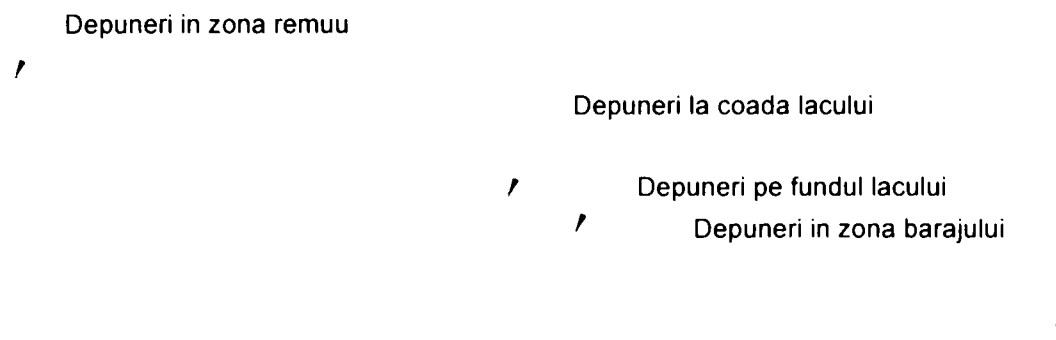


Fig.3.16 Zone de depunere (după Giurma, 1997)

Indicatorii sintetici ai procesului de colmatare sunt:

- rata colmatării ( $r$ ), care este definită prin raportul dintre volumul de aluviuni acumulat în lac timp de un an ( $W_r$ ) și volumul inițial al lacului ( $V$ ):

$$r = \frac{W_r}{V} \cdot 100 \quad \% \quad (3.33)$$

- în proiectare pentru  $r$  (calcul aproximativ) se admit următoarele valori: 0,25 % pentru lacuri mari; 0,5 % pentru lacuri mijlocii și 3,0 % pentru lacurile mici.
- intensitatea colmatării ( $I_c$ ), care este definit ca raportul dintre volumul inițial al lacului ( $v$ ) și scurgerea solidă anuală a afluenților ( $W_a$ ):

$$I_c = \frac{V}{W_a} \quad (3.34)$$

- durata de colmatare totală a lacului ( $T_a$ ) care este inversul ratei de colmatare și reprezintă de fapt durata de funcționare al lacului:

$$T_a = \frac{1}{r} \quad (3.35)$$

- gradul de reținere al aluviunilor ( $g$ ) care reprezintă raportul dintre aluviunile depuse în lac ( $W_r$ ) și aflusul de aluviuni ( $W_s$ ):

$$g = \frac{W_r}{W_s} \quad (3.36)$$

Determinarea cantitativă a colmatării în acumulări se poate face prin prelucrarea datelor din măsurători efectuate prin: ridicări clasice topo-geodezice, ridicări batimetrice, cu ecosonde, prin metode fotogrametrice sau cu dispozitive electronice.

Metodele de prognoză ale colmatării [Ichim et al, 1986] se diferențiază în: metode globale (sunt cele mai expeditiv, se bazează pe datele sintetice privind scurgerea lichidă și solidă și pe caracteristicile principale ale lacurilor - suprafață,

volum, adâncime, lungime), metode semiempirice (care au la bază analiza unor cazuri concrete și stabilirea de relații care se pot aplica și la alte lacuri) și metode bazate pe modele fizice (reconstituirea în laborator a unor situații din teren și cercetarea dinamicii proceselor pe aceste modele) și pe modele matematice (un astfel de model este cel dezvoltat de Giurma și alții în 1985, pe care se bazează programul COLMATFL [Giurma, 1997]).

Pentru calculul volumului de aluviuni există diferite formule de calcul, care se pot aplica în două situații: când există observații directe și când nu există aceste observații. Aceste formule dau doar valori indicative generale.

- Calculul volumului de aluviuni când există măsurători și observații directe se face cu formulele [Mantz et al, 1965; Băloiu, 1967]:

$$\begin{aligned}W_M &= g \cdot \frac{G}{\gamma} \cdot T \\W_a &= \frac{\rho \cdot V_0 \cdot T}{1000 \cdot \gamma_a} \cdot g\end{aligned}\tag{3.37}$$

unde:  $G$  – greutatea totală a aluviunilor transportate de râul barat, în timpul unui an ( $t/an$ );  $\gamma$  – greutatea volumică a stratului aluvionar depus ( $t/m^3$ );  $W_M$ ,  $W_a$  – volumul de aluviuni spre sfârșitul perioadei de funcționare a lacului ( $m^3$ );  $\rho$  – turbiditatea medie anuală ( $g/m^3$ );  $V_0$  – volumul scurgerii anuale medii ( $m^3$ );  $T$  – durata de funcționare al lacului (ani);  $\gamma_a$  – greutatea volumică a aluviunilor ( $kg/m^3$ );  $g$  – coeficientul de corecție, adică cota parte din volumul scurgerii solide anuale care rămâne în lac.

- Calculul volumului de aluviuni când nu există măsurători și observații directe se poate face prin analogie (cu râurile învecinate, pe care există măsurători și observații [Giurma, 1997], fie cu lacurile de acumulare analoage existente) sau prin aproximare sau formule empirice. În acest caz, se determină volumul anual de aluviuni rezultate de pe  $1 \text{ km}^2$  de bazin de recepție  $W_{al}$  și apoi se stabilește volumul de colmatare  $W_a$ , astfel:

$$\begin{aligned}W_{al} &= \frac{S_a \cdot h}{n \cdot F_{bl}} \\W_a &= \frac{S_a \cdot h}{n} \cdot T \cdot g\end{aligned}\tag{3.38}$$

unde:  $S_a$  – suprafața lacului la nivelul NNR ( $m^2$ );  $h$  – grosimea medie a stratului de aluviuni (m);  $n$  – numărul de ani în care s-a format stratul de aluviuni;  $F_{bl}$  – suprafața bazinului de recepție al lacului ( $km^2$ ).

Formule empirice mai des folosite sunt formulele Poliakov [Poliakov, 1953]:

$$W_{al} = \frac{a \cdot j \cdot M_0 \cdot F_b \cdot \beta}{1000 \cdot \gamma_a}$$

$$\rho = 10^4 \cdot \alpha \cdot \sqrt{I}$$

$$G = 0,01 \cdot V \cdot \alpha \cdot \sqrt{I}$$
(3.39)

unde:  $W_{al}$  – volumul de aluviuni care intră în lacul de acumulare în decurs de un an ( $m^3/an$ );  $a$  – coeficient de eroziune;  $j$  – panta văii barate (%);  $M_0$  – debitul specific normal al scurgerii ( $l/s \cdot km^2$ );  $F_b$  – suprafața bazinului de recepție al lacului ( $km^2$ );  $\beta$  – numărul de secunde dintr-un an;  $\gamma_a$  - greutatea volumică a aluviunilor ( $kg/m^3$ );  $\rho$  – turbiditatea medie anuală ( $g/m^3$ );  $\alpha$  – coeficient cu valori între 0.5 – 10.0, funcție de caracteristicile solului;  $I$  – panta râului în zona de stabilire a debitului solid (%);  $G$  – scurgerea solidă (t);  $V$  – volumul total de apă scurs în albie în timpul unui an mediu ( $m^3$ ).

La ieșirea din lacurile de acumulare, care funcționează ca niște mari decantoare, curentul de apă are o capacitate sporită de antrenare și de transport aluvionar. Ca urmare, în aval de baraje se produce o eroziune generală a patului albiei râului pe adâncimi de ordinul metrilor și pe lungimi considerabile, până la restabilirea debitului solid corespunzător condițiilor de echilibru dinamic a râului respectiv.

Consecințele colmatărilor lacurilor de acumulare sunt:

- pierderi de volum util
- blocarea intrării prizelor de apă sau a golirilor de fund
- supraînălțări de niveluri
- deformări ale albiilor în aval de lacuri
- alterarea calității apei din acumulări
- provocarea de praf prin eroziunea eoliană a aluviunilor.

Procesul de colmatare este influențat în mare parte de amplasamentul lacului (caracteristicile zonei) și de modul de exploatare și întreținere al lacului. Îndepărtarea aluviunilor depuse în lacuri se poate face prin una din următoarele metode (costisitoare): spălarea aluviunilor prin golirea de fund cu debite aduse din amonte – metoda spaniolă; spălarea aluviunilor prin unde de viitură; dragarea sau excavarea.

### **Echilibrul morfodinamic al albiilor cursurilor de apă**

În condiții naturale, râurile tind să realizeze o combinație relativ stabilă între diferitele variabile care le caracterizează (figura 3.17) [Diaconu, 1999]:

- variabile independente sau de control – debitul lichid  $Q$ , debitul solid  $Q_s$ , panta hidraulică  $S$  a râului, caracteristicile sedimentologice ale patului albiei și malurilor  $D$ , vegetația riverană care condiționează posibilitățile de migrare laterală a albiei;

- variabile dependente sau de răspuns - lățimea albiei  $W$ , adâncimea medie  $h$ , adâncimea maximă  $h_{max}$ , panta fundului  $S$ , viteza apei  $v$ , distribuția spațială a formelor majore de disipare a energiei de curgere, sinuozitatea traseului în plan  $P$ , diametrul mediu al sedimentelor  $D_{50}$ , extinderea procentuală a părților fine (argile, prafuri) în compoziția granulometrică a materialului aluvionar  $M\%$ , lungimea de undă a sinuozităților  $\lambda$ .

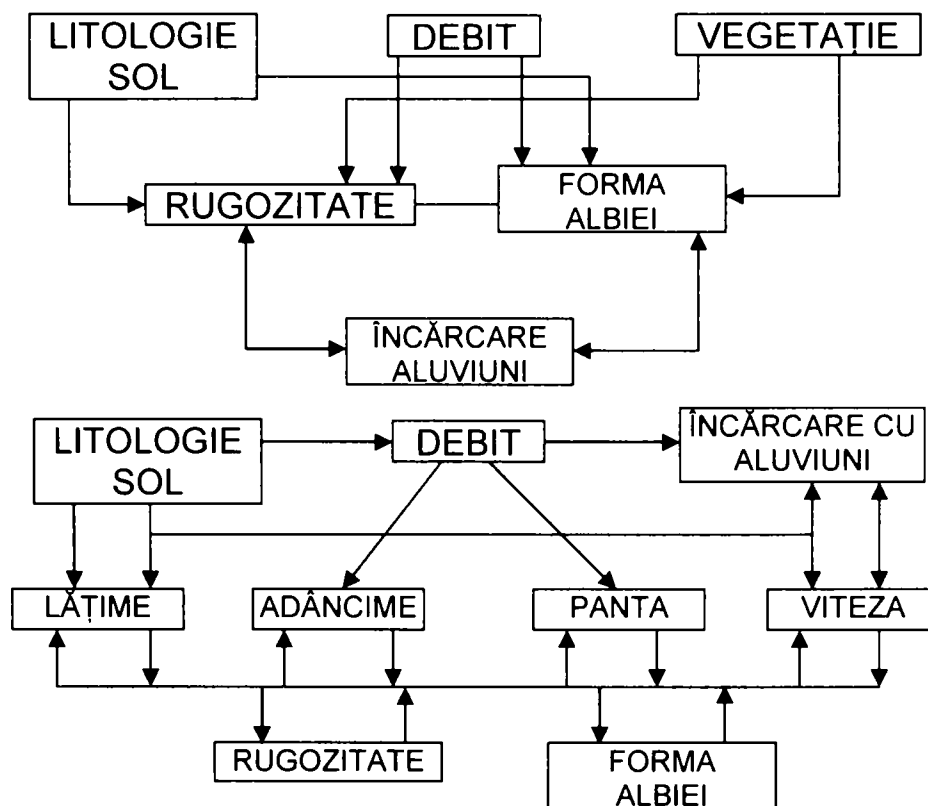


Fig.3.17 Buclele principale de interacțiune și retroacțiune într-o rețea hidrografică (după Diaconu, 1999)

În tabelul 3.6 sunt prezentate tendințele probabile de evoluție ale unor variabile dependente funcție de trei variabile independente: debitul morfogen  $Q$  (viitura cu perioadă medie de revenire o dată la 2 – 10 ani), debitul solid târât relativ  $q_t$  (raportul dintre debitul solid târât și  $Q$ ) și debitul relativ solid în suspensie  $q_s$  (raportul dintre debitul solid în suspensie și  $Q$ ). Semnele + și – arată tendința de creștere sau de scădere a valorilor parametrilor respectivi, când modificările inițiale sunt diferite de cele probabile pe termen mai lung, ele sunt separate prin /.

Un curs de apă se află în echilibru morfodinamic dacă e îndeplinită condiția de proporționalitate [Scheuerlein, 1989]:

$$Q \cdot S \approx Q_s \cdot D \quad (3.40)$$

unde:  $Q$  – debitul lichid;  $S$  – panta talvegului;  $Q_s$  – debitul solid;  $D$  – diametrul mediu al aluviunilor.

Tabelul 3.6

Modificări impuse			Direcția probabilă a transformării							
Q	q <sub>t</sub>	q <sub>s</sub>	W	h	S	D <sub>50</sub>	W/h	λ	P	M
+	-	-	+	+	-	+	-/	+	+	-
-	+	+	-	-	+	-	-/+	-	-	+
	+		+	-	+		+	?	-	-
	-		-	+	?	+	-	?	+	+
		+	-	+	?	-	-	?	+	+
		-	+	-	?	+	+	?	-	-
-	-	-	-		-			-	+	-
-	-	+	-	-	-/+	-		-	?	+
+	+	+	+	+				+	?	
+	+	-	+	+			+	+	-	-

Când relația (3.40) nu mai este valabilă, datorită unor cauze antropice (reducerea lungimii albiei – creșterea lui S sau construirea unor baraje – scăderea lui Q<sub>s</sub>), atingerea echilibrului morfodinamic este posibilă pe următoarele căi:

- scăderea lui Q – realizarea de derivații pentru evacuarea parțială a apei din albie
- scăderea lui S - lungirea traseului râului
- creșterea lui Q<sub>s</sub> - mobilizarea sedimentelor de pe fundul albiei
  - alimentarea artificială cu sedimente
- creșterea lui D - împiedecarea antrenării particulelor aluvionare de dimensiuni mai mari – armarea naturală sau artificială a patului.

### Modificarea caracteristicilor albiilor cursurilor de apă

a). modificarea secțiunii transversale [*Ichim et al, 1989*]:

Depozitele din perimetrul secțiunii transversale, controlează forma acesteia, care este în relație directă cu tipul de debit solid pe care râul îl tranzitează. Astfel, râurile care transportă predominant debit în suspensie au malurile alcătuite, în cea mai mare parte, din material fin (praf și argilă); râurile care transportă predominant debit târât, au malurile alcătuite din depozite nisipoase. Schumm (1960) propune o relație din care să rezulte modificarea secțiunii transversale F (ca raport între lățime – adâncime) funcție de conținutul praf – argilă (M) din perimetrul secțiunii respective.

Parametrul  $M$  reprezintă procentul de material aluvial din maluri mai mic de 0,074 mm și se determină astfel:

$$M = \frac{S_p \cdot B + S_m \cdot h}{B + 2h} \quad (3.41)$$

unde:  $S_p$  – procentul de praf – argilă din patul albiei;  $S_m$  - procentul de praf – argilă din malurile albiei;  $B$  – lățimea albiei;  $h$  – adâncimea medie a apei în secțiunea respectivă.

Forma secțiunii transversale  $F$  variază funcție de  $M$ , conform relației:

$$F = 255M^{-1.08} \quad (3.42)$$

Albiile al căror perimetru este alcătuit predominant din materiale fine, vor tinde spre o formă a secțiunii transversale îngustă și adâncă; iar depozitul predominant grosier în maluri, reflectă o albie cu secțiune largă și puțin adâncă. Lățimea și adâncimea cresc spre aval cu creșterea debitului; iar dacă  $M$  crește spre aval, adâncimea va crește mai repede decât lățimea, întrucât forma albiei se ajustează la schimbarea depozitelor din perimetru.

b). agradarea și degradarea patului albiei [*Michiue et al, 1985; Popa, 1997; Chaundry, 1993*]:

Fenomenul de agradare sau degradare a patului albiei mobile a unui curs de apă are loc atunci când este perturbat echilibrul morfodinamic al albiei dat de debitul lichid, debitul solid și de forma albiei. Acest proces poate fi descris, pentru o curgere neuniformă într-un canal rectangular, de următoarele ecuații:

- ecuația de continuitate pentru faza lichidă

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (3.43)$$

- ecuația de moment pentru faza lichidă

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q^2}{h} + \frac{1}{2} gh^2 \right) + gh \frac{\partial z}{\partial x} + ghS_f = 0 \quad (3.44)$$

- ecuația de continuitate pentru faza solidă

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ (1-p)z + \frac{q_s h}{q} \right] + \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (3.45)$$

unde:  $q$  – debitul lichid pe unitatea de lățime a albiei;  $h$  – adâncimea apei;  $z$  – cota patului albiei față de un plan de referință;  $q_s$  - debitul solid pe unitatea de lățime a albiei;  $S_f$  – panta liniei energetice;  $g$  – accelerația gravitațională;  $p$  – porozitatea materialului patului.

Notațiile se pot vedea în figura 3.18.

Debitul solid unitar poate fi estimat cu relația empirică următoare:

$$q_s = a \left( \frac{q}{h} \right)^b \quad (3.46)$$

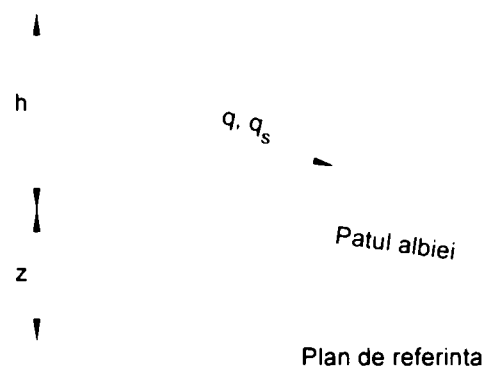


Fig.3.18 Semnificația notațiilor

unde  $a$  și  $b$  reprezintă constante empirice, a căror valori depind de proprietățile aluviunilor.

De notat că relația (3.46) poate fi înlocuită cu orice altă formulă de calcul adecvată a debitului solid, numai că se schimbă metoda de rezolvare numerică a sistemului de ecuații.

Sistemul de ecuații format din (3.43.....3.45) este un sistem de ecuații cu derivate parțiale, el se poate rezolva cu metoda predictor – corector, metodă ușor de utilizat, după cum se observă din ecuațiile următoare:

- etapa predictor

$$\begin{aligned} h_i^* &= h_i^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} (q_{i+1}^k - q_i^k) \\ q_i^* &= q_i^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ \frac{(q_{i+1}^k)^2}{h_{i+1}^k} - \frac{(q_i^k)^2}{h_i^k} + \frac{g}{2} \left[ (h_{i+1}^k)^2 - (h_i^k)^2 \right] \right\} - \\ &\quad - gh_i^k \frac{\Delta t}{\Delta x} (z_{i+1}^k - z_i^k) - gh_i^k \Delta t \frac{(q_i^k)^2}{(h_i^k)^{3.33}} \\ z_i^* &= z_i^k + \frac{1}{1-p} \left[ \left( \frac{q_s h}{q} \right)_i^k - \left( \frac{q_s h}{q} \right)_i^* \right] - \frac{\Delta t}{(1-p)\Delta x} \left[ (q_s)_{i+1}^k - (q_s)_i^k \right] \\ (q_s)_i^* &= a \left( \frac{q_i^*}{h_i^*} \right)^b \end{aligned} \quad (3.47)$$

unde indicele  $*$  indică valorile din etapa predictor, unde s-a utilizat metoda diferențelor finite progresive pentru derivate parțiale spațiale;

- etapa corector

$$\begin{aligned}
 h_i^{**} &= h_i^* - \frac{\Delta t}{\Delta x} (q_i^* - q_{i-1}^*) \\
 q_i^{**} &= q_i^* - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ \frac{(q_i^*)^2}{h_i^*} - \frac{(q_{i-1}^*)^2}{h_{i-1}^*} + \frac{g}{2} [(h_i^*)^2 - (h_{i-1}^*)^2] \right\} - \\
 &\quad - gh_i^* \frac{\Delta t}{\Delta x} (z_i^* - z_{i-1}^*) - gh_i^* \Delta t \frac{(q_{i,n}^*)^2}{(h_i^*)^{3.33}} \\
 z_i^{**} &= z_i^* + \frac{1}{1-p} \left[ \left( \frac{q_s h}{q} \right)_i^* - \left( \frac{q_s h}{q} \right)_i^{**} \right] - \frac{\Delta t}{(1-p)\Delta x} [(q_s)_i^* - (q_s)_{i-1}^*] \\
 (q_s)_i^{**} &= a \left( \frac{q_i^{**}}{h_i^{**}} \right)^b
 \end{aligned} \tag{3.48}$$

unde indicele \*\* indică valorile din etapa corector, unde s-a utilizat metoda diferențelor finite regresive pentru derivate parțiale spațiale.

Deci, valorile necunoscutele la pasul de timp k+1, sunt date de:

$$\begin{aligned}
 h_i^{k+1} &= \frac{1}{2} (h_i^k - h_i^{**}) \\
 q_i^{k+1} &= \frac{1}{2} (q_i^k - q_i^{**}) \\
 z_i^{k+1} &= \frac{1}{2} (z_i^k - z_i^{**})
 \end{aligned} \tag{3.49}$$

Valorile necunoscutele se determină cu relațiile (3.49) pentru fiecare nod interior al discretizării, iar pentru nodurile din margine se utilizează condițiile la limită impuse.

Indiferent de tipul modelului adoptat pentru curgerea pe albie cu pat mobil, pentru integrarea ecuațiilor și găsirea soluției este necesar să se specifice diverse condiții la limite. Nu orice tip de model are însă nevoie de același număr de astfel de condiții, în plus, funcție de problema concretă analizată, pot să fie necesare condiții la frontierele interne ale sistemului (acolo unde ecuațiile de bază își pierd local valabilitatea: baraje, confluențe, deversoare etc.).

Tipurile de condiții la limite frecvent folosite în aplicațiile practice sunt următoarele:

- debitul lichid și debitul solid specificate ca funcții de timp, la frontiera amonte, sub forma:

$$Q(x=0, t) = f_1(t) \quad Q_s(x=0, t) = f_2(t) \tag{3.50}$$



- cota suprafeței libere,  $z' = z + h$ , funcție de timp sau o relație cunoscută (cheia limnometrică a secțiunii) între adâncime și debitul lichid, la frontiera aval, sub forma:

$$z'(x = L, t) = f_3(t) \quad \text{sau} \quad h(x = L) = f_4[Q(x = L)] \quad (3.51)$$

unde L reprezintă lungimea sectorului de râu studiat.

- cota patului albiei ca funcție de timp, impusă la una din frontiere, sub forma:

$$z(x = L, t) = f_5(t) \quad \text{sau} \quad z(x = 0, t) = f_6(t) \quad (3.52)$$

prin care se poate modela o condiție de pat neerodabil ( $f_5 = z^* = \text{const.}$ ), dragarea după o regulă precizată etc.

Pentru frontierele interioare pot apare situații ca:

- variația bruscă a secțiunii transversale a albiei, reprezentată prin condițiile:

$$Q_{j+1} = Q_j; Q_{s_{j+1}} = Q_{s_j}; z'_{j+1} + \frac{v_{j+1}^2}{2g} + z \frac{(v_j - v_{j+1})^2}{2g} = z'_j + \frac{v_j^2}{2g} \quad (3.53)$$

unde v reprezintă viteza medie a apei.

- confluența a două albi cu secțiunile a și b în amonte de joncțiune, respectiv secțiunea c pe cursul principal, în aval de joncțiune, reprezentată prin condițiile:

$$Q_c = Q_a + Q_b; Q_{s_c} = Q_{s_a} + Q_{s_b}; z'_c + \frac{v_c^2}{2g} = z'_a + \frac{v_a^2}{2g} = z'_b + \frac{v_b^2}{2g} \quad (3.54)$$

- baraj în albie, pentru care se vor specifica două condiții asupra debitelor:

$$Q_{j+1} = Q_j; Q_{s_{j+1}} = f(Q_{s_j}) \quad (3.55)$$

și o condiție privind cota suprafeței libere: fie  $z'_j = f(t)$ , fie relația  $Q_j(z'_j)$  a stavilei, deversorului etc., cu barajul în secțiunea j;

- afluent lateral încărcat cu sedimente, pentru care se specifică debitele laterale  $Q_{af}(t)$  și  $Q_{saf}(t)$ , iar condițiile de compatibilitate vor fi:

$$Q_{i+1} = Q_i + Q_{af}(t); Q_{s_{i+1}} = Q_{s_i} + Q_{saf}(t); \\ z'_{i+1} + \frac{v_{i+1}^2}{2g} + z \frac{(v_i - v_{i+1})^2}{2g} = z'_i + \frac{v_i^2}{2g} \quad (3.56)$$

cu afluentul inclus între secțiunile de calcul j și j+1. Spre exemplu, dragarea locală între cele două secțiuni se poate modela precizând  $Q_{saf}(t) < 0$  și  $Q_{af}(t) = 0$ .

c). fenomenul pavării fundului albiei – modificarea granulometriei patului albiei

Se consideră [Seteanu et al, 1981] o porțiune de lungime L din albia unui râu, având o pantă uniformă  $S_0$  a patului și o lățime B, presupusă constantă, în care se

stabilește o curgere uniformă și staționară de debit  $Q$ . Se admite că raportul de debit solid în secțiunea amonte este neglijabil, în timp ce prin secțiunea aval trece un debit solid  $Q_t$  diferit de zero. Se consideră că zona studiată are o lungime suficient de mare pentru ca, în curent, să se stabilească debitul solid de regim al curgerii uniforme și staționare.

Se admite pentru debitul solid următoarea formulă globală:

$$Q_t = f(v, d_e, S_0, \dots) \quad (3.57)$$

unde  $v$  este viteza medie a fazei lichide, iar  $d_e$  reprezintă diametrul efectiv al granulelor din pat, definit în mod variat de diverși autori.

Conform lui H.A. Einstein, în prezent se constată tendința ca, pe considerente semiempirice, să se detaileze descrierea procesului de transport pe fracții granulometrice, pe baza cărora se poate întreprinde o analiză a modificării structurii granulometrice a patului albiei, ca urmare a transportului solid (fenomenul de pavare). Se admite că stratul aluvionar, până la roca de bază, are o grosime suficient de mică, pentru ca să se poată neglija la orice moment de timp, neuniformitatea distribuției granulometrice pe verticală.

Dacă se notează cu  $G_i$  greutatea particulelor corespunzătoare unității de arie a patului și cu  $C$  greutatea particulelor solide care sunt antrenate de curent într-un interval de timp  $\Delta t$ , se obține greutatea finală  $G_f$  a particulelor rămase în pat, cu relația:

$$G_f = G_i - C \quad (3.58)$$

Mărimea  $C$  depinde de pasul de timp  $\Delta t$  și de  $G_f$ . Dacă se notează:

$$C' = C / G_f \quad (3.59)$$

și se impune mărimea lui  $C'$ , se poate obține intervalul de timp  $\Delta t$  necesar pentru realizarea condiției (3.59). Reciproc, se poate estima pentru un interval de timp dat, valoarea lui  $C'$ , care trebuie să îndeplinească condiția:

$$0 \leq C' < 1 \quad (3.60)$$

Calculul se face detaliat pe fracțiuni granulometrice, după procedeul propus de Toffaleti. Dacă notăm cu  $t_i^{(i)}$  și cu  $t_f^{(i)}$  ponderile fracțiilor de diametru  $d_i$ , în debitul masiv solid la sfârșitul și începutul intervalului de timp  $\Delta t$ , cantitatea de material solide de diametru  $d_i$  antrenată din pat în acest interval de timp este:

$$C \left( t_i^{(i)} + t_f^{(i)} \right) / 2 \quad (3.61)$$

Greutatea aceleiași fracții care rămâne în pat este:

$$b_f^{(i)} G_f = b_i^{(i)} (G_i - C) \quad (3.62)$$

unde prin  $b^{(i)}$  s-a notat ponderea fracției  $i$  în pat. Bilanțul masic pentru fracția  $i$  se scrie:

$$b_i^{(i)} G_i - C(t_i^{(i)} + t_f^{(i)})/2 = b_f^{(i)} G_f \quad (3.63)$$

rezultând ponderile fracțiilor în pat la sfârșitul intervalului de timp  $\Delta t$ :

$$b_f^{(i)} = b_i^{(i)} (1 + C') - C'(t_i^{(i)} + t_f^{(i)})/2 \quad (3.64)$$

Pentru a putea efectua bilanțul masic în curent este necesar să se cunoască cantitatea de sedimente conținută la un moment dat în faza lichidă pe distanța  $L$ . Se admite că în zona de lungime  $L$  debitul solid  $Q_t(x)$  are o variație liniară, iar masa solidă conținută pe lungimea  $dx$  trece printr-o secțiune transversală în timpul  $dx/v$ , rezultă:

$$\int_0^L Q_t(x)/v dx = \int_0^L Q_t x / (Lv) dx = Q_t L / (2v) \quad (3.65)$$

Bilanțul masic în curent pe fracția  $i$  se scrie:

$$\Delta t (Q_{ti} t_i^{(i)} + Q_{tf} t_f^{(i)})/2 = L(Q_{ti} - Q_{tf}) / (2v) - CBL(t_i^{(i)} + t_f^{(i)})/2 \quad (3.66)$$

Dacă relația (3.66) se însumează pentru toate fracțiile  $i$  se obține mărimea intervalului de timp:

$$\Delta t = \frac{2LBG_i C'}{(Q_{ti} + Q_{tf})(1 + C')} + \frac{Q_{ti} - Q_{tf}}{Q_{ti} + Q_{tf}} \frac{LBH}{Q} \quad (3.67)$$

unde  $H$  este adâncimea apei.

Relațiile (3.59, 3.64, 3.67) constituie un sistem iterativ din care se poate obține modificarea secvențială a granulometriei sedimentelor.

Modificarea curbei granulometrice a patului aluvionar are ca rezultat schimbarea diametrului efectiv. Porozitatea  $p$  a patului albiei se modifică conform relației:

$$p = 0,245 + 0,03285 / d_{65}^{0,21} \quad (3.68)$$

unde  $d_{65}$  este diametrul unei site prin care trece 65% din materialul solid al unei probe, iar greutatele specifice aparente la începutul și sfârșitul intervalului de timp  $\Delta t$  sunt:

$$\gamma_i = \gamma_s (1 - p_i); \quad \gamma_f = \gamma_s (1 - p_f) \quad (3.69)$$

Adâncimea de erodare are expresia:

$$\Delta h = \frac{2(G_i - G_f)}{(\gamma_i - \gamma_f)} = \frac{G_i C'}{(1 + C') \gamma_s (1 - p)} \quad (3.70)$$

unde:

$$\bar{p} = (p_i + p_f) / 2 \quad (3.71)$$

d). modificarea profilului longitudinal și abraziunea particulelor aluvionare

Schoklitsch în 1930 [Graf, 1971] a formulat ipoteza dependenței pantei unui râu, aflat în echilibru morfodinamic, de dimensiunea particulelor aluvionare, sub forma:

$$S = \alpha_s \cdot W_0 \cdot e^{-\varphi l} \quad (3.72)$$

unde: L – lungimea râului sau sectorului de râu studiat;  $W_0, W$  – greutatea particulei aluvionare la începutul și sfârșitul sectorului;  $\alpha_s$  – coeficient;  $\varphi$  – abraziunea specifică.

Pentru  $l = 0$  și  $S = S_0$ , se obține:

$$\frac{dz}{dl} = S = S_0 e^{-\varphi l} \quad (3.73)$$

Prin integrare și prin introducerea condițiilor la limită ( $x = 0, z = z_0$ ), se obține:

$$(z - z_0) = \frac{S_0}{\varphi} (1 - e^{-\varphi l}) \quad (3.74)$$

Pierderea din greutate a particulelor aluvionare are loc după următoarea relație:

$$W = W_0 e^{-\varphi l} \quad (3.75)$$

Valoarea lui  $\varphi$  pentru diferite materiale aluvionare este dat în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7

Material	$\varphi$ ( $m^{-1}$ )
marnă calcaroasă	0,0000167
calcar	0,0000100
dolomit	0,0000083
quartz	0,0000033
granit și gnais	0,0000050 – 0,0000033
amfibolite	0,0000035 – 0,0000020

### *Mișcarea aluviunilor pe patul albiei*

Experimental, s-au constatat următoarele forme caracteristice de mișcare ale aluviunilor în funcție de numărul lui Froude (figura 3.19) [Cioc, 1975]:

- mișcarea pe pat neted, adică fără schimbarea reliefului patului, la care transportul este slab
- mișcarea cu rifluri
- mișcarea cu dune.

Apariția acestor tipuri de mișcare este funcție și de capacitatea de transport al apei și de panta albiei (figura 3.20) [Graf, 1971].

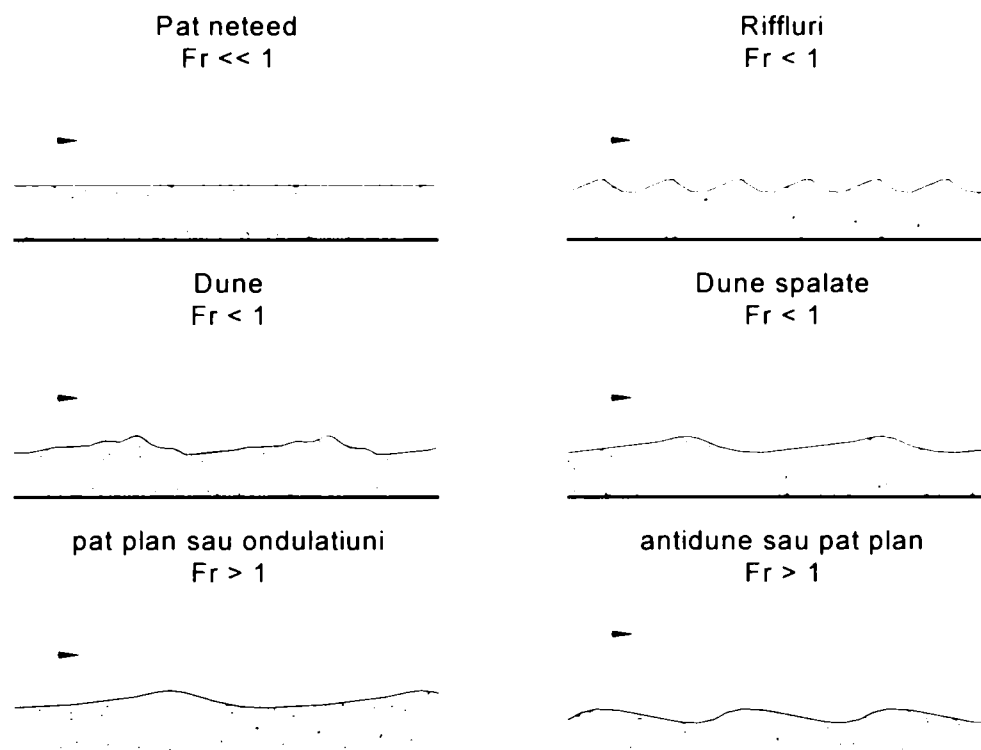


Fig.3.19 Forme tipice de mișcare ale aluviunilor (după Cioc, 1975)

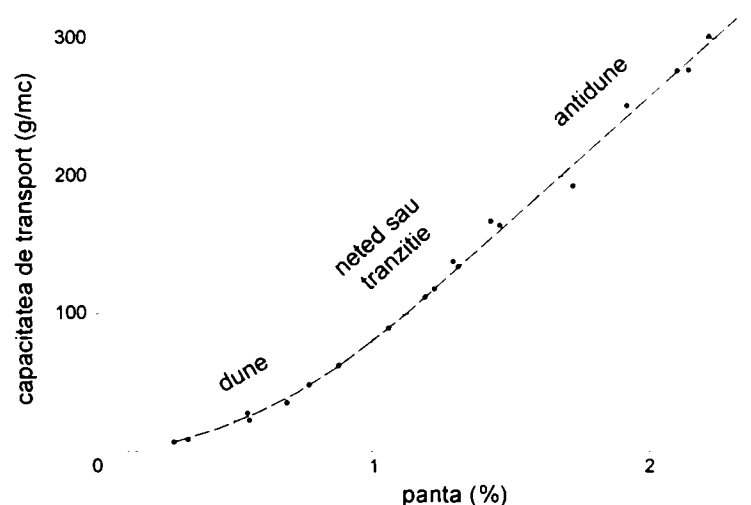


Fig.3.20 Formarea dunelor și antidunelor funcție de pantă și capacitate de transport (după Graf, 1971)

### Modificarea calității apelor [Varduca, 1999]

Interdependența dintre calitatea apei și sedimente trebuie analizată ținând cont de următoarele aspecte: sedimentul este o entitate fizică și are influență asupra caracteristicilor fizico-chimice / biologice ale apei; sedimentul este o parte a sistemului apă – sedimente – încărcare chimică dizolvată. Sedimentele au un rol important în:

- asigurarea capacităților de tamponare a eroziunii de către apele curgătoare, reținerea fosforului și metalelor grele

- procesele de sorbție / desorbție: schimbul ionic, schimb molecular prin legături polare sau de hidrogen, precipitare, activitate catalitică, complexare, dizolvare sau sinteză.

Fiecare din aceste reacții nu constituie un simplu echilibru dintre soluție și materiile în suspensie, ci implică procese de transport (difuziune și transfer masic) și reacții biochimice. Reacțiile de sorbție – desorbție ce apar în timpul transportului pot să fie diferite de cele care apar la interfața apă / sediment.

Pe plan internațional există o înțelegere pentru analizarea fracțiunilor de sedimente la monitorizarea poluării asociate acestora. În tabelul 3.8 se prezintă poluarea asociată sedimentelor din Dunăre (concentrații medii, mg/kg) pe teritoriul Ungariei între 1986 și 1987. După cum se observă, la toate componentele analizate, nivelele cele mai ridicate s-au găsit la fracțiunile cu particulele cele mai mici. Datorită prezenței fracțiunilor argiloase, la materiile în suspensie pot apărea concentrații mai mari de poluanți decât la sedimente.

Tabelul 3.8

Contaminanți	Dimensiune fracțiuni		
	d < 90μm	90μm < d < 250μm	250μm < d < 1000μm
Hg	1,0	0,15	0,16
Cd	2,8	1,33	0,94
Pb	105	42,7	51,1
Cr	50,9	15,1	15,4
As	9,6	2,1	3,2
Cu	228	34,3	30,5
Ni	58	25,9	21,1
Fe	20600	8630	7830
Mn	782	291	232
Zn	381	77	85,9
subst.organică totală, produse petroliere	49700	20200	27400
grăsimi	1050	428	477

**Gospodărirea debitelor solide** [Teodorescu et al, 1973; Crețu, 1976; Roșu, 1999]

Are ca și obiect ansamblul de măsuri și lucrări necesare prevenirii acțiunilor dăunătoare ale materialelor solide transportate de ape și satisfacerea nevoilor folosințelor care utilizează aceste debite. Principalele obiective ale gospodării debitelor solide sunt:

- studiul lucrărilor și măsurilor de gospodărire a debitelor solide pentru satisfacerea folosințelor debitelor solide și pentru combaterea efectelor dăunătoare ale acestora
- studiul influenței reciproce între regimul debitelor solide și amenajările de gospodărire a apelor.

În România, la ora actuală, singurele folosințe ale debitelor solide le constituie balastierele din luncile râurilor. O parte din balastiere afectează depunerile seculare de materiale solide din albiile și nu sunt legate de gospodărirea debitelor solide; altă parte se bazează pe refacerea resurselor existente prin aportul natural de debit solid al cursului de apă respectiv.

În alte țări, în schimb, debitele solide au și alte utilizări, ca de exemplu ele se folosesc pentru fertilizarea terenurilor agricole. În Egipt, calitățile fertilizante ale aluviunilor transportate de Nil și depuse pe terenurile agricole cu ocazia revărsărilor anuale, au constituit timp de milenii baza agriculturii acestei țări.

Nu se ridică problema sporirii debitelor solide și apare în plus necesitatea încadrării balastierelor în schema generală de amenajare complexă a bazinelor hidrografice. Ele se pot amplasa, de exemplu, în zonele de depuneri accentuate din biefurile amonte ale barajilor de albiile sau la coada lacurilor de acumulare. De asemenea, există posibilitatea coordonării activității acestora cu un plan general de rectificarea sau regularizare a albiilor.

#### *3.1.5 Efectele social – economice negative ale scurgerilor solide*

Efectele negative ale scurgerilor solide prezentate anterior au toate și o componentă economică, prin reducerea veniturilor obținute din agricultură, din industrie (prin imposibilitatea satisfacerii cerinței de apă datorită colmatării lacurilor), prin scăderea producției de energie hidroelectrică, prin creșterea costului tratării apei din lacuri și râuri pentru alimentări cu apă, prin scăderea cantității de produse transportate pe apă (datorită colmatării canalelor navigabile), prin creșterea costului de exploatare și întreținere a amenajărilor hidrotehnice și a sistemelor de irigații etc.

La efectele anterioare se mai adaugă avarierea sau distrugerea căilor de comunicație (șosele, căi ferate etc), a așezărilor omenești, a obiectivelor social – economice, a rețelelor de conducte de apă sau gaze naturale sau chiar pierderi de vieți omenești; acestea din urmă în cazul producerii de alunecări de teren sau de viituri torențiale în zone populate.

În afara pagubelor care se pot evalua în bani, procesele de eroziune a terenurilor au și efecte negative care nu pot fi estimate valoric, dar care influențează negativ dezvoltarea economică și socială: înrăutățirea microclimatului și ruina peisajului geografic (prin aspectul dezolant al unor teritorii, care își pierd astfel valoarea turistică).

### 3.2 Metode de evaluare a impactului scurgerii solide dintr-un bazin hidrografic asupra mediului

O posibilitate de evaluare a efectelor scurgerilor solide asupra diferitelor sectoare și domenii de activitate este prezentată în tabelul 3.9 [Djordjevic et al, 1991].

Tabelul 3.9

ACTIVITATE	EFECTE NEGATIVE	EVALUARE
Agricultură	Pierderi de producție	M
	Necesar mai mare de îngrășăminte chimice	M / NM
Păduri	Degradare	M / NM
	Pierderi de producție de material lemnos	M
Resurse de apă	Pagube datorită inundațiilor	M / NM
	Pierderi de putere hidroelectrică	M
	Poluarea apei	M / NM
	Colmatarea acumulărilor	M / NM
Căi de comunicație	Înteruperea traficului	M / NM
	Lucrări de reparații	M
Mediu	Degradare	NM
Populație	Degradarea calității vieții	NM
	Pierderi de locuri de muncă	NM
	Migrația populației	NM
	Modificarea modului tradițional de viață	NM
Dezvoltare regională	Scăderea ritmului de dezvoltare	M / NM
Planuri naționale	Perturbare	NM
M – evaluare monetară, NM - evaluare non-monetară		

Pentru sublinierea necesității reducerii efectelor scurgerilor solide – eroziunii, se prezintă în tabelul 3.10 costul anual al problemelor produse de sedimente în SUA, [Clark et al, 1985].

Tabelul 3.10

Impact	Cost estimat \$ x 10 <sup>6</sup> (nivel 1980)	Contribuția eroziunii de pe versanți \$ x 10 <sup>6</sup> (nivel 1980)
<b>Efecte în rețeaua hidrografică</b>		
Efecte biologice	-	-
Recreere	2000	830
Acumulări de apă	690	220
Navigație, transport pe apă	760	280
Alte activități	900	320
<i>Subtotal</i>	4400	1700
<b>Efecte în afara rețelei hidrografice</b>		
Inundații	770	250
Tratarea apei	100	30
Alte folosințe	800	280
<i>Subtotal</i>	1700	560
<b>Total</b>	6100	2260



**Evaluarea impactului** proceselor de eroziune asupra mediului este necesară în două situații distincte:

- în faza de proiectare a lucrărilor ingineresti ce au legătură cu fenomenele aluvionare, care trebuie investigate în avans, în vederea calculării regimului viitor al dinamicii aluviunilor
- în faza de exploatare a lucrărilor ingineresti, care pe baza prognozei hidrologice, vor trebui exploatate optim, astfel încât să satisfacă anumite folosințe și să diminueze efectele negative ale scurgerilor solide.

*Metodologia de evaluare a impactului asupra mediului [Beilicci et al, 2004; Roșu et al, 1998]*

Se propune următoarea etapizare a elaborării unui studiu de impact în cazul problemei analizate:

- descrierea bazinului hidrografic analizat (climă – precipitațiile, vântul, temperatura – relieful, solul, vegetația, factorii litologici, factorii sociali-economici, factorii antropici, adică a tuturor factorilor care influențează fenomenele de eroziune, transport și depuneri)
- descrierea amenajărilor hidrotehnice existente în bazin, cu influență directă asupra dinamicii aluviunilor
- acțiunile fenomenelor aluvionare asupra mediului
- condițiile de mediu existente înainte și după implementarea amenajărilor hidrotehnice cu influență directă asupra fenomenelor aluvionare
- soluții alternative pentru aceste amenajări
- costurile și analiza cost/beneficiu de mediu
- evaluarea impactului
- luarea deciziei pe baza unui sistem unic de comparație.

#### *Schema de evaluare*

O schemă posibilă de evaluare a impactului asupra mediului determinat de scurgerile solide poate consta în:

- enumerarea și estimarea cantitativă (de mărime) a efectelor directe asupra mediului (apă, aer, sol, subsol, peisaj, patrimoniu, populație)
- identificarea și estimarea cantitativă a efectelor indirecte posibile
- estimarea calitativă a efectelor.

Pentru realizarea unei evaluări globale a impactului se poate utiliza matricea **A** a costurilor, având pe linie acțiunile exercitate asupra mediului de scurgerile solide,

iar pe coloană efectele pozitive sau negative determinate de aceste acțiuni asupra factorilor de mediu.

Acțiunile specifice  $A_i$  pot fi:

$A_1$  - acoperirea cu depuneri solide a anumitor suprafețe de teren în cazul inundațiilor cu modificarea biotopului zonelor respective

$A_2$  - modificarea regimului hidric

$A_3$  - eroziuni și sedimentări

$A_4$  - modificări ale solului (alunecări de teren, pierderea stabilității versanților)

$A_5$  - modificări hidrografice și în gospodărirea resurselor de apă

$A_6$  - acumulări de materiale degradabile la contactul cu solul

$A_7$  - schimbări ale caracteristicilor calitative ale apelor

$A_8$  - întreruperea unor activități sociale și economice.

$A =$

		acțiuni						
		$A_1$	$A_2$	$A_3$	.....	$A_i$	.....	$A_n$
efecte	$E_1$							
	$E_2$							
	$E_3$							
	.....							
	$E_j$							
	$E_m$							

Diagram illustrating the matrix A with arrows pointing to the cell  $C_{ij}$  at the intersection of row  $E_j$  and column  $A_i$ .

Efectele ecologice  $E_j$  (pozitive și/sau negative) pot fi:

$E_1$  - în caracteristicile fizico-chimice ale elementelor mediului prin antrenarea de substanțe poluante depuse pe particulele de sol mobilizate de curenții de apă

$E_2$  - poluarea bacteriologică asupra alimentărilor cu apă a populației și a industriilor alimentare

$E_3$  - colmatarea lacurilor de acumulare ce deservește diverse folosințe, eroziunea generală a patului albiei în aval de baraje

$E_4$  - modificări geomorfologice ale cursurilor de apă, care își pot schimba forma în profil longitudinal și transversal, dar și în plan

$E_5$  - în condițiile biologice (flora, fauna), alterarea calităților originare ale ecosistemelor acvatice și terestre

$E_6$  - consecințe indirecte asupra fertilizării solului inundat cu mătase asupra recoltelor

$E_7$  - în interesele umane și sociale (întreruperea activităților normale, distrugeri de bunuri și valori culturale, starea de panică și evacuarea populației, apariția ulterioară a unor boli endemice, subnutriție în zonele sinistrate și chiar pierderi de vieți omenești - aceste efecte apar mai ales în cazul curgerilor de noroi).

Costurile  $C_{ij}$  reprezintă interdependența valorică dintre acțiunile și efectele asupra mediului, stabilite într-un sistem unitar.

Se acordă fiecărui element un coeficient de pondere  $p = 1, \dots, 10$  în funcție de importanța lui, rezultând o nouă matrice **B**:

**B** =

		acțiuni					
		$A_1$	$A_2$	$A_3$	.....	$A_i$	$A_n$
efecte	$E_1$						
	$E_2$						
	$E_3$						
	.....						
	$E_j$					$p_{ij} C_{ij}$	
	$E_m$						

Diagrama din tabelul de mai sus include două săgeți: una verticală descendentă din celula  $A_i$  în celula  $p_{ij} C_{ij}$ , și una orizontală din celula  $E_j$  în celula  $p_{ij} C_{ij}$ .

Efectele acțiunii  $A_i$  asupra mediului sunt date de relația:

$$E_i = \sum_{j=1}^m p_{ij} C_{ij} \quad (3.76)$$

unde:  $j = 1, 2, \dots, m; i = \text{constant} (\forall i = 1, 2, \dots, n)$ .

Un anumit efect  $E_j$ , determinat de suprapunerea acțiunilor exercitate asupra mediului, este dat de relația:

$$E_j = \sum_{i=1}^n p_{ij} C_{ij} \quad (3.77)$$

unde:  $i = 1, 2, \dots, n; j = \text{constant} (\forall j = 1, 2, \dots, m)$ .

Efectul global al acțiunilor exercitate asupra mediului este dată de relația:

$$E = \sum p_{ij} C_{ij} \quad (3.78)$$

unde:  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ .

Această evaluare permite o confruntare a opiniilor divergente, o urmărire a raționamentului parcurs și o decizie corespunzătoare.

În cazul unor studii de impact se poate pune problema analizei unor metode pentru diferite soluții de reducere a efectelor acțiunilor. Se poate utiliza matricea **C** a costurilor fiecărei acțiuni  $A_i$  pe variante de metode de amenajare pentru reducerea volumului de aluviuni.

*Variantele de amenajare a bazinelor hidrografice pentru reducerea cantitativă și calitativă a fenomenelor aluvionare pot fi [Bâcov, 1978; Giurma, 1997; Di Silvio, 1998]:*

$V_1$  - amenajarea antierozională a zonei de vârf a formațiunilor torențiale (oprirea dezvoltării rețelei torențiale, atenuarea debitului lichid și solid al viiturii care are acces pe la vârful rețelei – prin consolidarea terenului prin înierbări sau împăduriri precedate uneori de lucrări de nivelare-modelare, prin interceptarea și evacuarea dirijată a scurgerilor solide și lichide – șanțuri de colectare etc.)

$V_2$  - amenajarea rețelei de scurgere torențială (prin lucrări transversale sub formă de baraje și praguri, executate din diferite materiale de construcție, canale de evacuare rapidă – debușee, căderi în trepte, ziduri de sprijin etc.)

$V_3$  - amenajarea antierozională a versanților bazinelor hidrografice (prin structurarea corespunzătoare a folosințelor, organizarea interioară a fiecărei folosințe, realizarea de benzi tampon – perdele de protecție, benzi înierbate, specii silvice – culturi în fâșii, lucrări de nivelare-modelare, lucrări de întreținere sub formă de valuri, terase sau canale – toate de nivel – funcție de condițiile de pantă, natura terenului și folosințe etc.).

**C =**

acțiuni variante		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	.....	A <sub>i</sub>	.....	A <sub>n</sub>
		V <sub>1</sub>						
V <sub>2</sub>								
V <sub>3</sub>								
⋮								
V <sub>j</sub>								
⋮								
V <sub>k</sub>								

↓  
→ C<sub>ij</sub>\*

Se dă fiecărui element  $C_{ij}^*$  un coeficient de pondere  $p^* = 0.1, \dots, 1.0$ , funcție de importanța lui, matricea **C** va deveni matricea **D**.

**D =**

acțiuni variante		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	.....	A <sub>i</sub>	.....	A <sub>n</sub>
		V <sub>1</sub>						
V <sub>2</sub>								
V <sub>3</sub>								
⋮								
V <sub>j</sub>								
⋮								
V <sub>k</sub>								

↓  
→ p<sub>ij</sub>\* C<sub>ij</sub>\*

Varianta optimă va fi cea pentru care  $\sum p_{ij}^* C_{ij}^*$  este minimă ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$ ).

Determinantă pentru evaluarea impactului scurgerilor solide asupra mediului este corectitudinea în stabilirea acțiunilor specifice și a efectelor ecologice, aprecierii ponderii lor ca importanță. Pe această bază se pot lua deciziile corespunzătoare, se

pot efectua corecții asupra mărimii oricărei influențe sau se poate face o comparație a concluziilor obținute de diferiți experți utilizând aceeași schemă.

### 3.3 Sedimentele – parte a monitoringului integrat al calității apelor

Activitatea de monitoring este o funcțiune de bază a gospodăririi apelor, ea furnizează o sursă obiectivă de informații pentru a răspunde la problemele de management a resurselor se apă. Monitoringul este o activitate sistematică, de lungă durată, bazată pe rețele și măsurători spațio – temporale, reprezentative pentru caracterizarea calității apei la un moment dat, evaluarea tendințelor de evoluție și controlul poluării. În tabelul 3.11 se prezintă funcțiunile și scopurile generale de monitoring [Varduca, 1999].

Tabelul 3.11

Elemente de caracterizare	Conținut
RESURSE ACVATICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ape de suprafață, subterane, costiere, estuare</li> <li>• comunități acvatice și habitate fizice asociate</li> <li>• <b>sedimente</b></li> </ul>
DATE PRIVIND RESURSELE ACVATICE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fizice</li> <li>• chimice</li> <li>• biologice/ecologice</li> <li>• date asociate: habitatul, utilizarea terenului, date demografice etc.</li> </ul>
FUNȚIUNI DE MONITORING ACTIVITĂȚI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• identificarea și documentarea scopurilor de program</li> <li>• proiectarea și planificarea programelor de monitoring</li> <li>• selectarea indicatorilor de monitoring</li> <li>• stabilirea amplasărilor de puncte ale rețelei de monitoring</li> <li>• selectarea metodelor de colectare a datelor</li> <li>• observații pe teren - prelevare probe</li> <li>• analize de laborator</li> <li>• dezvoltarea și operarea programelor de asigurare a calității datelor analitice</li> <li>• stocarea, manipularea și difuzarea datelor</li> <li>• interpretarea și evaluarea datelor pentru producerea de informații</li> <li>• raportarea și distribuirea rezultatelor de monitoring</li> <li>• evaluarea eficienței programelor de monitoring</li> </ul>
SCOPURI DE MONITORING	<ul style="list-style-type: none"> <li>• evaluarea stării de calitate și a tendințelor de evoluție</li> <li>• caracterizarea și prioritizarea problemelor existente și de urgență</li> <li>• proiectarea și implementarea programelor / proiectelor</li> <li>• evaluarea eficienței programelor / proiectelor</li> <li>• răspuns operativ la situații de urgență</li> </ul>
OBIECTIVE DE MONITORING	<ul style="list-style-type: none"> <li>• caracterizare condiții de calitate, tendințe</li> <li>• transfer flux</li> <li>• încadrarea în criterii și obiective de calitate</li> <li>• avertizare situații de urgență</li> </ul>

În tabelul 3.12 se redau categoriile de indicatori prioritari pentru monitorizarea calității resurselor de apă considerați ca utilizabili pentru obiectivele de management [Varduca, 1999] (xx – indicatori primari recomandați).

Tabelul 3.12

Grupa de indicatori	Sănătate umană		Sănătate ecologică		Interese economice	
	Consum de pești, viețuitoare acvatice	Alimentări cu apă potabilă, industrie alimentară	Recreere (pescuit, îmbăiat)	Viața acvatică și semi-acvatică	Industrie, ape de răcire Energie și transport	Agricultură Silvicultură
<b>RĂSPUNS BIOLOGIC ȘI EXPUNERE (direct)</b>						
Macro-nevertebrate		x	xx	xx		x
Pești	xx		xx	xx		x
Viața semiacvatică	x		xx	xx		x
Patogeni Fito – plancton	xx	xx	xx			xx
Perifiton	xx	x	x	xx	xx	
Plante acvatice		x	xx	x	x	x
Zoo-plancton		x	x	x		x
<b>EXPUNERE CHIMICĂ</b>						
Chimia apei miros, gust	x	xx	xx	xx	x	xx
Chimia sedimentelor	x	x	x	xx	xx	x
Chimia țesuturilor de plante, animale	xx	x		xx	x	
<b>HABITAT FIZIC</b>						
Caracteristici hidrologice	x	xx	x	xx	xx	xx
Temperatura apei	x	x	xx	xx	x	
Geomorfologie și sedimente	x	x	xx	xx	xx	xx
Caracteristici fizice	x	x	xx	xx	xx	xx
Zone riverane	x	xx	xx	xx	x	xx
<b>AGENȚI DE STRESS APĂ</b>						
Utilizări teren		x	x	x	x	x
Localități		x	x	x	x	x

Monitoringul sedimentelor este o activitate relativ recentă, ea efectuându-se în mod diferit în țări diferite. În figura 3.21 se prezintă evaluarea sedimentelor în SUA [Varduca, 1999].

Din cele de mai sus se desprinde necesitatea monitorizării în ansamblu a mediului acvatic – apă, materii în suspensie, sedimente, biotop, biocenoză și a circulației poluanților, transformării și acumulării, biodisponibilității în ecosistemele acvatice.

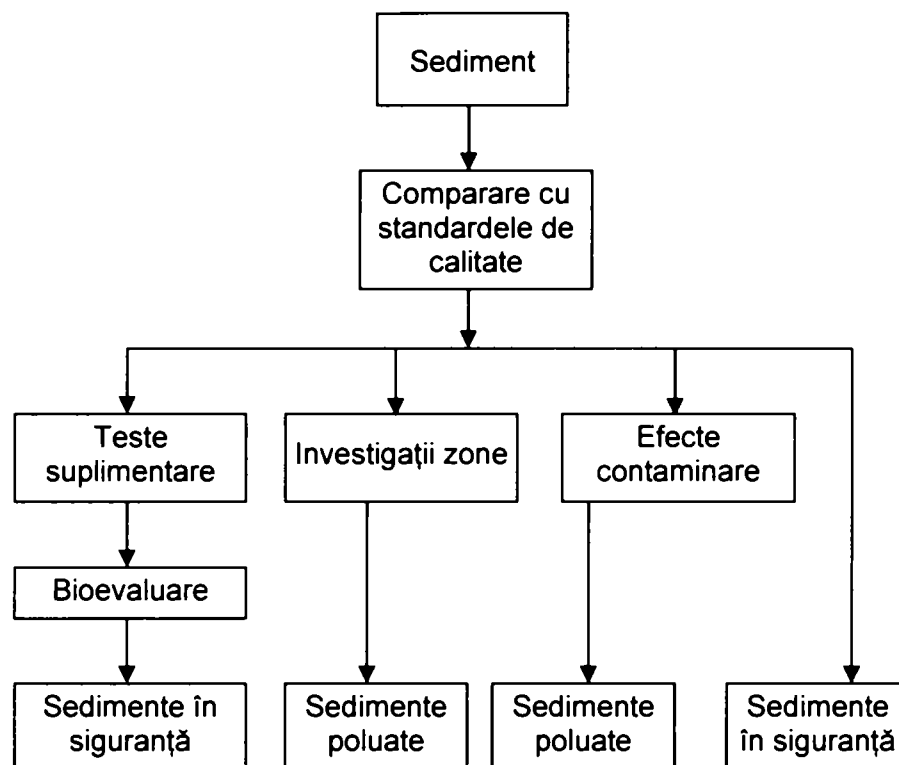


Fig.3.21 Evaluarea sedimentelor în SUA (după Varduca, 1999)

### 3.4 Eficiența soluțiilor de amenajare pentru reducerea efectelor scurgerilor solide

Pentru reducerea efectelor scurgerilor solide asupra spațiului hidrografic există următoarele categorii de lucrări (ilustrate în figura 3.22) [Bâcov, 1996; Popovici, 1991, Giurma, 1997; Di Silvio, 1998; [www.fao.org](http://www.fao.org), 2006]:



Fig. 3.22 Măsuri de reducere a efectelor scurgerilor solide

- 1 – Reîmpăduriri
- 2 – Reducerea dezvoltării ravenelor prin lucrări transversale pe albie și protecții de mal
- 3 – Terasarea terenurilor cu pante mari
- 4 – Lucrarea terenurilor agricole după curbele de nivel
- 5 – Canale și valuri de pământ pentru controlul scurgerii de suprafață

- 6 – Realizarea de noi amenajări hidrotehnice pentru satisfacerea nevoilor populației
- 7 – Realizarea perdelelor de protecție pentru reducerea eroziunii eoliene
- 8 – Rotația culturilor cu benzi înierbate după curbele de nivel pentru reducerea eroziunii de suprafață
- 9 – Plantarea de arbori pe terase la părțile superioare ale versanților
- 10 – Împădurirea versanților limitrofi ai lacurilor de acumulare pentru încetinirea ritmului de colmatare a acumulărilor

### 3.4.1 Lucrări pe versanți (lucrări antierozionale)

Se clasifică în:

- lucrări organizatorice:
  - restructurarea categoriilor de folosință (arabil, viticol, pomicol, pajiști etc.)
  - asigurarea unor rețele de drumuri prin care să se realizeze reducerea cheltuielilor de transport
  - organizarea interioară a noilor categorii de folosință, prin crearea unor unități teritoriale de lucru, corespunzătoare ca formă și dimensiuni, ținând seama de realizarea unui randament maxim în mecanizarea lucrărilor agricole și combaterea eroziunii solului
  - crearea condițiilor pentru introducerea corectă a sistemelor antierozionale și a unei agrotehnici corespunzătoare prin care să se asigure prevenirea și combaterea eroziunii solului și creșterea producției agricole
- lucrări agrotehnice:
  - lucrările de pregătire a solului (metode care nu modifică microrelieful suprafeței, metode de lucrare a solului care modifică microrelieful suprafeței cu scopul de a dispersa și încetini scurgerile, metode speciale pentru reținerea apei pe ogoare)
  - fertilizarea
  - semănatul – pe direcția curbelor de nivel
  - asolamente pe terenurile în pantă
  - sisteme de cultură pe versanți (pe direcția curbelor de nivel, cultura în fâșii, benzi înierbate)
  - agroterase
  - înierbări.
- lucrări și măsuri silvice:
  - plantații viticole și pomicole
  - împăduriri pe terenurile erodate de apă.
- lucrări hidroameliorative (hidrotehnice):
  - valuri și canale de pământ (de nivel și înclinate)



- terase (cu platformă orizontală sau înclinată, individuale, cu zid de sprijin, cu gardulețe)
- canale de coastă (de nivel și înclinate)
- debușee (realizate în văi naturale sau artificiale).

#### 3.4.2 Amenajarea formațiunilor torențiale

Prin amenajarea ravenelor și a torenților se urmărește aplicarea unui complex de măsuri pentru regularizarea scurgerilor de pe versanți și în rețeaua de scurgere, în scopul redării întregii suprafețe a bazinului de recepție categoriilor de folosință economice și antierozionale corespunzătoare, pentru înlăturarea pagubelor produse de viituri.

După locul de aplicare a lucrărilor avem:

- lucrări în zona de vârf (obârșia ravenei):
  - astuparea ramificației și modelarea – nivelarea zonei
  - reținerea scurgerilor pe suprafața zonei (cu canale de nivel)
  - interceptarea și evacuarea dirijată a scurgerilor (canale înclinate, debușee)
  - împăduriri.
- lucrări de amenajare în lungul rețelei de scurgere:
  - împăduriri, înierbări, taluzuri simple, pereuri din piatră sau din dale de beton, ziduri de sprijin, contrabanchete (pentru maluri).
- construcții transversale (pot fi și filtrante):
  - lucrări din lemn – fascine, fascinaje, garnisaje, cleionaje
  - praguri și baraje din piatră și beton – zidării uscate, gabioane
  - lucrări transversale din zidărie de piatră cu mortar de ciment și din beton.
- lucrări hidrotehnice longitudinale:
  - lucrări de consolidare a malurilor
  - lucrări de regularizare – pentru a schimba direcția sau poziția curentului de apă.
- lucrări de amenajare în zona naturală de depunere a aluviunilor:
  - canale de evacuare
  - fixarea materialelor aluvionare depuse
  - crearea condițiilor pentru evacuarea apelor de viitură.

3.4.3 Estimarea volumului de aluviuni care pot fi reținute de barajele de amenajare a torenților

Volumul de aluviuni care pot fi reținute de lucrările transversale depinde de un număr mare de factori dintre care cei mai importanți sunt: capacitatea de retenție a fiecărei lucrări în parte; compoziția granulometrică a aluviunilor; mărimea viiturilor; poziția față de albie a celei mai importante surse de aluviuni; poziția relativă a lucrărilor etc.

$$W_R = f(V, d, Q_v, V_v, I, S, L) \quad (3.79)$$

unde:  $V$  – capacitatea de retenție a lucrării;  $d$  – diametrul aluviunilor;  $Q_v$  – debitul viiturii;  $V_v$  – volumul viiturii;  $I$  – panta albiei,  $S$  – suprafața de versant aferentă lucrării;  $L$  – lungimea albiei ravenei între două lucrări transversale consecutive.

Într-un mod simplificat și aproximativ, volumul de aluviuni care pot fi reținute de aterisamente  $W_R$  ( $m^3$ ) se poate estima cu ajutorul formulei:

$$W_R = A \cdot W_{av} + B \cdot W_{aa} \quad (3.80)$$

unde:  $W_{av}$ ,  $W_{aa}$  se determină cu relațiile (2.117) și (2.119).

$A$  și  $B$  se determină cu formulele:

$$A = \frac{A_0(W_0 + 0.6W_1)}{W_0 + W_1}$$
$$B = \frac{B_0(W_0 + 0.8W_1)}{W_0 + W_1} \quad (3.81)$$

unde:  $W_0$  – volumul aterisamentului la pantă nulă (sub cota deversorului);  $W_1$  – volumul aterisamentului între panta nulă și panta de calcul;  $W_0 + W_1$  – volumul total al aterisamentului;  $A_0$ ,  $B_0$  - coeficienți reprezentând cota parte din aluviuni care pot rămâne în aterisamentul cu pantă nulă, în cazul aluviunilor de pe versanți ( $A_0$ ) și respectiv de pe albie ( $B_0$ ).

3.4.4 Alte măsuri non – constructive [Stănescu et al, 2002]

- dezvoltarea de sisteme informaționale de avertizare și prognoză a viiturilor torențiale și a sistemelor decizionale de acțiune operativă
- realizarea și dezvoltarea sistemului de monitoring al factorilor declanșatori și favorizatori ale fenomenelor periculoase de eroziune
- regândirea regulilor de exploatare a amenajărilor hidrotehnice
- reforma instituțională, prin dezvoltarea cadrului legal de funcționare și coordonare a instituțiilor responsabile cu elaborarea strategiilor și deciziilor operative

- elaborarea sau reactualizarea de regulamente, planuri de acțiune operativă și modele de intervenție pentru diferite scenarii de producere a fenomenelor de eroziune periculoase (viituri torențiale, curgeri de noroi, alunecări de teren)
- elaborarea hărților de risc (mai ales pentru alunecările de teren)
- introducerea restricțiilor în autorizațiile de construcție pentru zonele cu risc
- activități de conștientizare a factorilor de decizie de la diferite nivele și a populației situate în zonele cu risc la fenomene erozionale periculoase
- dezvoltarea unor instrumente economice adecvate: asigurări de bunuri materiale prin societățile de asigurare – reasigurare, sisteme de despăgubire etc.
- strămutarea localităților și a obiectivelor economice din zonele cu risc mare de producere a fenomenelor de eroziune periculoase.

În figura 3.23 se prezintă schema de amenajare a trei formațiuni torențiale de versant, iar în figura 3.24 amenajarea integrală a unei ravene cu toate sectoarele active [Popovici, 1991].

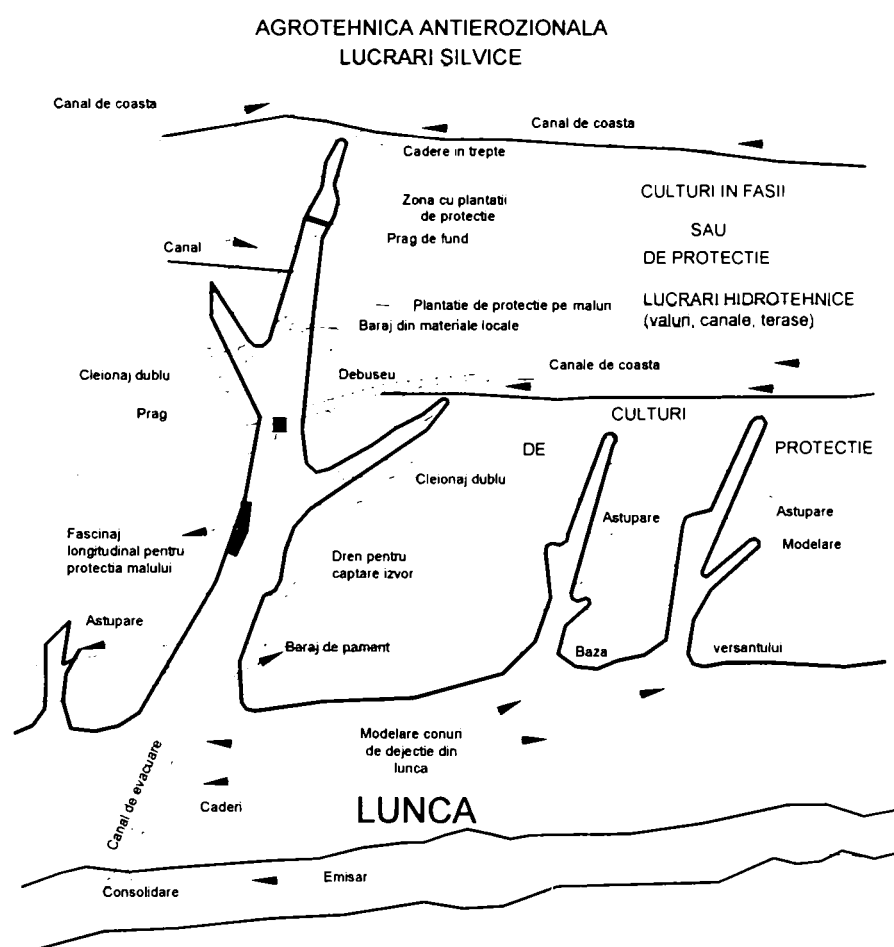


Fig.3.23 Schema de amenajare a trei formațiuni torențiale de versant (după Popovici, 1991)

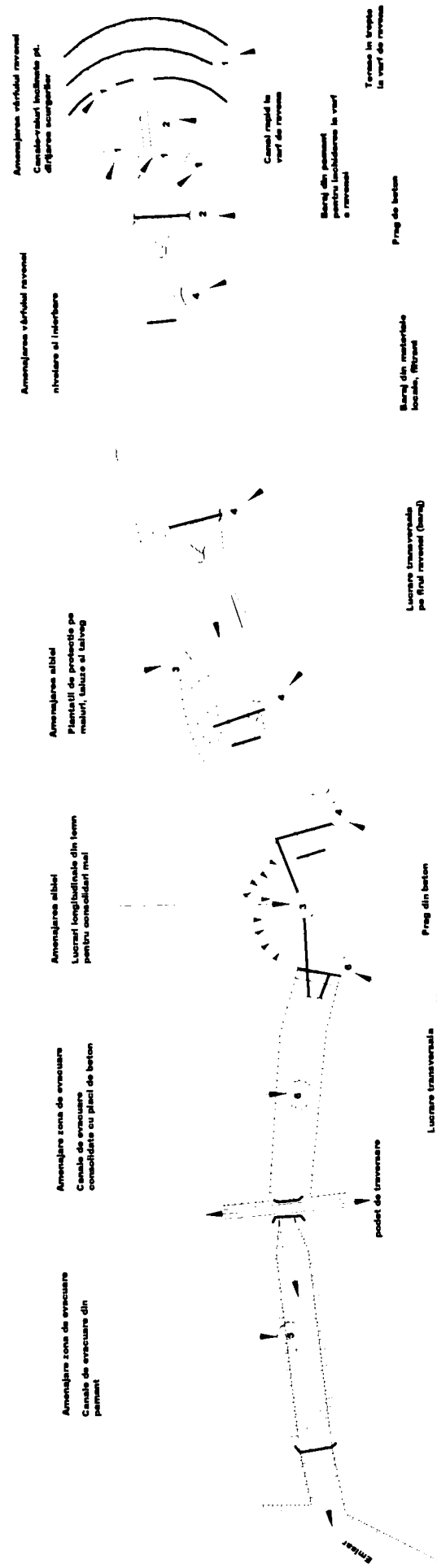


Fig.3.24 Amenajarea integrală a unei ravene cu toate sectoarele active (după Popovici, 1991)

3.4.5 Eficiența măsurilor constructive și non – constructive de reducere a efectelor negative ale scurgerilor solide

Aprecierea măsurii în care lucrările de amenajare a formațiunilor torențiale și a bazinelor torențiale contribuie la diminuarea proceselor de eroziune se poate face prin calcularea următorilor indicatori [Popovici, 1991]:

- efectul hidrologic  $E_{H p\%}$  ( $m^3/s$ ):

$$E_{H p\%} = Q_{1 p\%} - Q_{2 p\%} \quad (3.82)$$

unde:  $Q_{1 p\%}$  - debitul maxim al scurgerii corespunzător ploii cu probabilitatea  $p\%$  în bazinul hidrografic dat

$Q_{2 p\%}$  - debitul maxim al scurgerii în același bazin, după un anumit interval de timp de la executarea lucrărilor, în cazul unei ploi cu aceeași probabilitate.

- efectul antierozional  $E_A$  ( $m^3/an$ ):

$$E_A = V_1 - V_2 \quad (3.83)$$

unde:  $V_1$  – volumul mediu anual al aluviunilor transportate printr-o anumită secțiune, înainte de executarea lucrărilor antierozionale

$V_2$  - volumul mediu anual al aluviunilor transportate prin aceeași secțiune, după un anumit interval de timp de la executarea lucrărilor antierozionale.

- coeficientul eficacității hidrologice  $K_{H p\%}$  - reprezintă raportul dintre efectul hidrologic  $E_{H p\%}$  și  $Q_{1 p\%}$  calculat în bazinul fără lucrări:

$$K_{H p\%} = E_{H p\%} / Q_{1 p\%} \quad (3.84)$$

- coeficientul eficacității antierozionale  $K_A$ :

$$K_A = E_A / V_1 \quad (3.85)$$

Cu cât acești indicatori au valori mai mari, cu atât contribuția lucrărilor de amenajare la diminuarea scurgerilor solide și lichide este mai importantă.

Acești indicatori se pot calcula pentru o singură lucrare de amenajare, pentru un anumit gen de lucrări, cât și pentru întreg sistemul de lucrări de amenajare a rețelei de scurgere și a bazinului hidrografic.

*Eficiența vegetației în reducerea efectelor negative ale scurgerilor solide*

Un rol deosebit de important în reducerea scurgerilor solide o are vegetația, ea constituie un factor care atenuază întotdeauna eroziunea. Realizarea și menținerea unui covor vegetal bine încheșat pe versanți constituie măsura cea mai simplă și ieftină de reducere a scurgerilor solide, lucrările necesare întreținerii

acestea fiind intervenții mult mai puțin brutale asupra mediului, decât realizarea măsurilor structurale.

Efectele directe ale vegetației în procesul de eroziune sunt:

- disipează forța de impact a picăturilor de ploaie
- mărește rugozitatea terenului
- asigură un strat protector pentru scurgerile de suprafață
- reține o parte din cantitatea de precipitații
- micșorează viteza scurgerii de suprafață
- asigură o infiltrare mai mare a apei în sol
- atenuează scurgerea, evitând concentrarea rapidă a scurgerii în albie.

Efectele indirecte sunt:

- mărește porozitatea solului, asigurând o viteză de infiltrare mai mare a apei în sol
- asigură solului temperaturi mai constante vara și iarna
- mărește coeziunea solului
- mărește activitatea microbiană în stratul superior al solului.

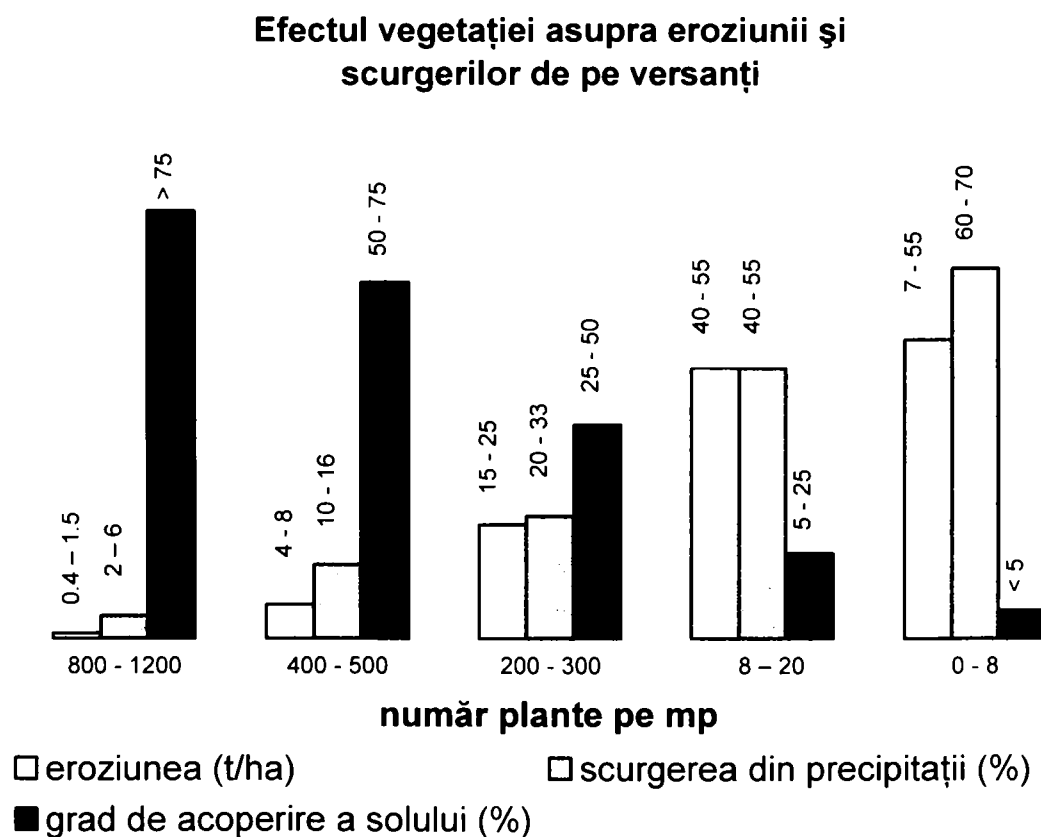


Fig.3.25 Efectul vegetației asupra eroziunii și scurgerii de pe versanți

Eficacitatea antierozională a vegetației a fost testată experimental, ea depinde de stadiul de dezvoltare și durata de menținere a frunzelor, de coincidența

stării de vegetație cu perioada de cădere a ploilor cu caracter torențial. În figura 3.25 se poate vedea dependența dintre vegetație și efectul ei antierozional.

Protecția cea mai bună o oferă pădurea cu un coronament bine încheșat și cu litieră bine dezvoltată, de asemenea, covorul de iarbă are un efect aproximativ egal cu cel al pădurii. Protecția cea mai slabă o oferă plantele prășitoare.

În imaginile următoare se prezintă câteva din lucrările de reducere a efectelor scurgerilor solide asupra spațiului hidrografic [[www.erosion\\_control\\_images](http://www.erosion_control_images), 2004; [www.pasture.ecn.purdue.edu](http://www.pasture.ecn.purdue.edu), 2005]:



Terase



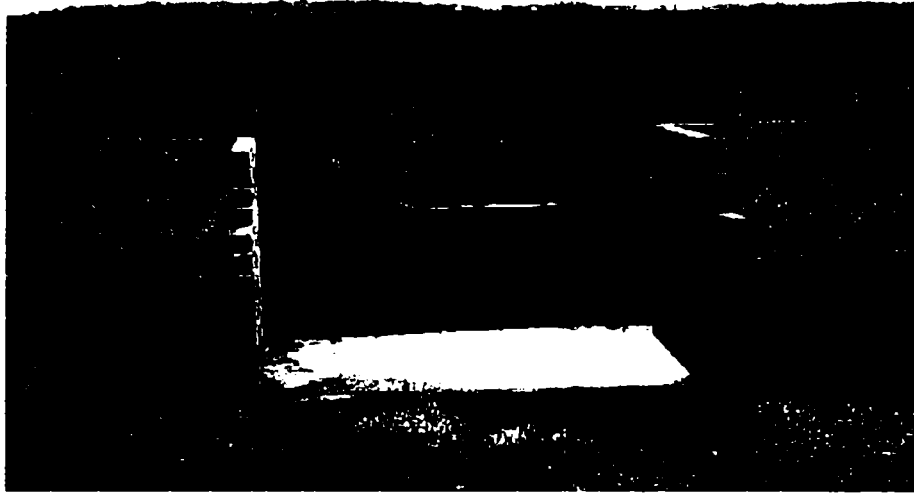
Culturi în fâșii după curbele de nivel



Canal de evacuare a scurgerii



Conductă de evacuare a scurgerii



Evacuator de ape de scurgere de suprafață



Sprjinirea taluzurilor



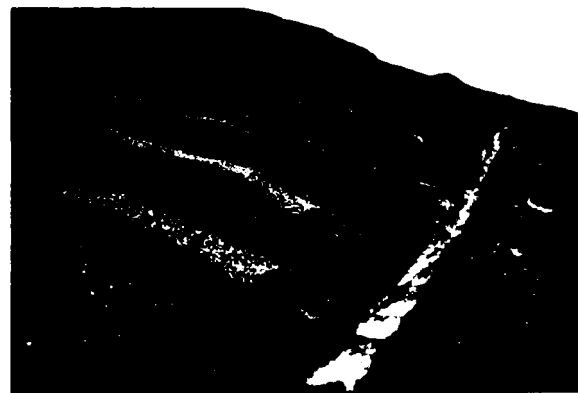
Bazin de sedimentare



Ziduri de sprijin



Ancorarea versanților



Evacuarea apei de pe versanți prin drenaj





Bazin de retenție



Lucrări de control a eroziunii după curbele de nivel



Structuri de control a scurgerii de pe versanți



Construcții transversale pe albiile ravenelor

Pe lângă soluțiile prezentate anterior, mai trebuie efectuate lucrări și luate măsuri de gospodărire a debitelor solide legate de amenajările de gospodărire a apelor [Teodorescu et al, 1973; Crețu, 1976; Roșu, 1999]:

- măsuri de exploatare a lacurilor de acumulare – spălări periodice pentru evacuarea unei părți din aluviunile depuse etc.
- măsuri de exploatare a derivațiilor – alcătuirea derivațiilor în așa fel încât să se evite depunerile în lungul acestora și să se facă decantarea parțială a aluviunilor antrenate în priză
- în anumite scheme de amenajare la care se prevede ridicarea fundului albiei în aval de o acumulare este posibil ca, prin goliri corespunzătoare ale lacului, să se asigure în anumite perioade o capacitate de transport suficientă în aval pentru a asigura îndepărtarea aluviunilor
- în cazul captărilor cu barare a albiei prevăzute cu stavile, o manevrare adecvată a acestora în perioadele de viitură, poate asigura într-o oarecare măsură, evacuarea aluviunilor depuse în bieful amonte
- în zonele în care se prevede o ridicare progresivă a fundului în urma micșorării capacității de transport este necesară realizarea unor lucrări care să asigure refacerea acestei capacități, în special prin tăieri de meandre și coturi pentru mărirea pantei albiei
- dacă ridicarea fundului albiei se manifestă pe afluenți în urma formării unor conuri de dejecție în zonele de confluență, este necesară realizarea unor lucrări de amenajare a confluențelor combinate cu lucrări de reținere a debitelor solide pe afluenți
- în zonele în care este probabilă o coborâre generală a fundului albiei în urma unui proces de erodare progresiv și unde acestea nu sunt admisibile, de exemplu acolo unde sunt realizate construcții în albie și s-ar periclita fundațiile acestora, trebuie luate măsuri de limitare a acestor procese prin lucrări de regularizare și stabilizare a albiei (traverse, praguri etc.). De altfel, adâncirea albiei minore mărește capacitatea de transport lichid a acesteia, deci micșorează probabilitatea de inundare a terenurilor limitrofe.

## **Capitolul 4**

### ***Studiu de caz - evaluarea scurgerii solide și efectul ei asupra bazinului hidrografic***

- 4.1 Descrierea bazinului hidrografic studiat
  - 4.1.1 Localizarea și caracterizarea bazinului hidrografic studiat
  - 4.1.2 Reprezentarea bazinului hidrografic
- 4.2 Modelarea proceselor de eroziune în bazinul hidrografic studiat
  - 4.2.1 Aplicarea modelului **WEPP**
  - 4.2.2 Aplicarea modelului **DUFLOW**
  - 4.2.3 Aplicarea modelului **PROPRIU**
- 4.3 Concluzii, recomandări





Fig. 4.2 Bazinul hidrografic studiat, vedere din satelit

Eroziunea fluvială torențială ca și eroziunea de versant sunt factorii care au contribuit la imprimarea principalelor terasări morfologice. Afluenții râului Bega (Topla, Pădurani, Bunea) își au izvoarele în zonele cele mai înalte și au avut posibilitatea fragmentării și modulării teraselor. S-au format astfel văi de eroziune cu versanți mai mult sau mai puțin înclinați, ca și numeroase zone cu ravene și ogașe, izolat apar și alunecări de teren. Văile de eroziune sunt înguste sau relativ înguste, temporar cu apă și colmatate cu materiale mijlociu – fine. Culoarele teraselor sunt de regulă înguste, în general paralele, datorită paralelismului văilor care le separă.

Versanții au în general profil complex, cu pante cuprinse între 2 – 50 %. Ogașele și ravenele sunt frecvente pe versanții cu pante mijlocii și mari, iar alunecările de teren sunt izolate, fără a cuprinde suprafețe întinse de teren.

Procesele de eroziune sunt mai accentuate pe versanții cu expoziție sudică, sud-estică, estică și sud-vestică, de asemenea sunt mai accentuate la folosirea terenului ca arabil, comparativ cu folosirea ca pășune sau fâneată. La apariția formelor eroziunii hidrice de adâncime a contribuit și intervenția nerațională a omului (deșteleniri nejustificate și despăduriri accentuate).

Intensitatea proceselor de eroziune în zona respectivă se poate observa și din figurile 4.3 și 4.4, grafice care arată variația concentrației suspensiilor din râul Bega, în două secțiuni situate amonte (Luncani) și aval (Balint) de bazinul hidrografic studiat. Se poate observa o creștere accentuată a concentrațiilor suspensiilor în secțiunea din aval, față de secțiunea din amonte, fapt la care contribuie în mare măsură și scurgerile solide din subbazinele hidrografice adiacente (sursă date - Direcția Apelor Banat) [Guțiu et al, 2003; Guțiu et al, 2003].

**Variația debitelor și a concentrației suspensiilor în anul 2004**

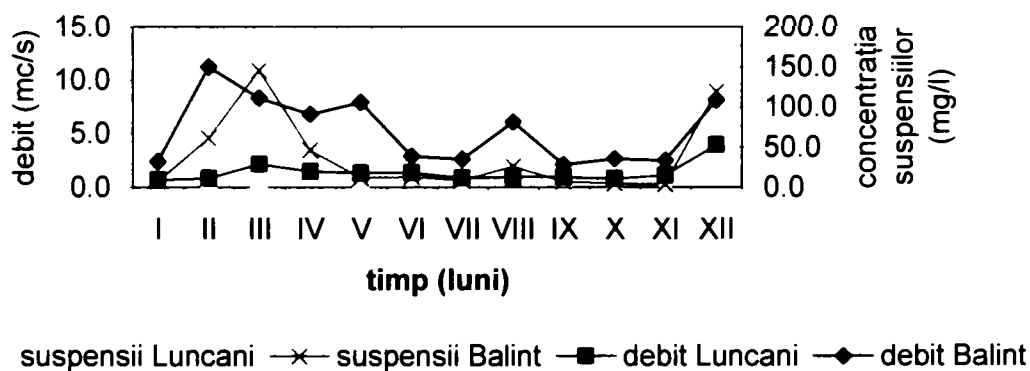


Fig.4.3 Variația debitelor și a concentrației suspensiilor în anul 2004

**Variația debitelor și a concentrației suspensiilor în anul 2005**

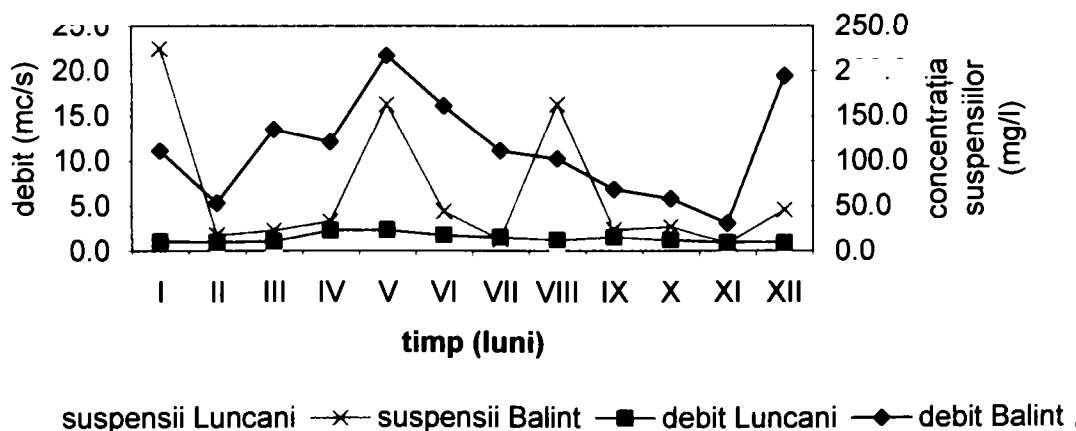


Fig.4.4 Variația debitelor și a concentrației suspensiilor în anul 2005

### *Geologia și rocile mame*

Din punct de vedere geologic, în zonă întâlnim formațiuni cristalino – mezozoice, acestea au fost acoperite succesiv de depozite pliocene și cuaternare în cadrul câmpiei joase. Această umplutură s-a transformat în câmpie de acumulare fluviatilă piemontană, rețeaua hidrografică contribuind ulterior la modelarea reliefului. Procesele de eroziune torențială au dezvelit fragmentar depozitele de luturi și argile, de pietrișuri și nisipuri, care se pot observa atât pe versanți, cât și dispersați pe văi. Morfodinamica actuală este dominată de procese de versanți, în special eroziunea de suprafață și de adâncime. Procesele gravitaționale sunt mai puțin active.

Rocile mame identificate în cadrul teritoriului studiat diferă de la o unitate geologică la alta, cât și în cadrul aceleiași unități.

În cadrul teraselor vechi, suspendate, rocile mame sunt reprezentate prin argile pe suprafețe plane și prin luturi pe versanți. Terasalele câmpiei piemontane sunt acoperite de argile și luturi. Lunca este acoperită de depozite fluviatile fine, mijlocii și mijlocii grosiere. În partea de nord a teritoriului rocile mame sunt destul de variate ca rezultat al variației microreliefului. Ele sunt reprezentate de argile, luturi cu textură diferită, de la luto-nisipoasă la luto-argiloasă, cât și de materiale nisipoase.

### *Clima*

Caracterizarea condițiilor climatice din zona studiată s-a făcut pe baza datelor climatologice înregistrate la stația meteorologică Lugoj și Făget.

Zona are un climat temperat continental, cu slabe nuanțe mediteraneene, cu precipitații pe tot parcursul anului, cu următoarele caracteristici:

- temperatura medie a lunii celei mai calde – iulie – 20 – 22 °C
- temperatura medie a lunii celei mai reci – ianuarie – nu scade sub -3 °C
- precipitația medie anuală – 734 mm
- maximul de precipitații se înregistrează în lunile mai și iunie
- minimul de precipitații se înregistrează în lunile ianuarie și februarie
- umiditatea relativă medie anuală a aerului – 75 %
- evapotranspirația medie anuală – 59,15 mm
- deficitul de umiditate mediu anual – 36,99 mmHg
- grosimea medie a stratului de zăpadă – 32,5 cm
- indicele de ariditate – 35,8 – indică o climă umedă
- vânturile dominante – SE și NV.

### *Hidrografia și hidrologia*

Bazinul hidrografic studiat face parte din bazinul hidrografic al râului Bega. Rețeaua hidrografică principală este reprezentată prin câteva văi: Topla, Pădurani și Bunea. Acestea au un debit de apă temporar cu mari fluctuații în timpul anului în funcție de precipitații. Primăvara nivelul apei este maxim, determinând ridicarea nivelului apei freatice și revărsări, iar la sfârșitul verii, începutul toamnei, înregistrează un minim, secând complet.

Văile secundare au apă numai în perioadele ploioase, colectând apele de pe versanți, care au un caracter torențial, producând procese de eroziune în adâncime.

Apele freatice se găsesc la diferite adâncimi, funcție de relief:

- în cadrul teraselor înalte și a dealurilor piemontane – la 10 m adâncime
- în cadrul teraselor joase – între 3 – 10 m adâncime
- în lunca râului Bega – între 1,0 – 1,5 m.

În cadrul teritoriului studiat însemnate suprafețe de teren sunt afectate temporar de exces de ape stagnante.

### *Vegetația*

Teritoriul aparține zonei pădurilor de foioase sub zona stejarului, cu următoarele forme de vegetație: vegetație lemnoasă naturală, arbuști, vegetație lemnoasă cultivată, vegetație ierboasă naturală, leguminoase, buruieni în culturi și plante în cultură.

Folosințele terenului sunt: păduri, pomi, pășuni, fânețe și arabil; suprafețele aferente necunoscându-se exact.

### *Solurile*

Prin studii pedologice s-au identificat următoarele tipuri de soluri [OSPA, 1982]:

- sol brun luvic tipic pseudogleizat în adâncime – pe terasele vechi, suspendate, din partea de nord a teritoriului
- sol brun luvic pseudogleizat slab sau moderat – pe terasele câmpiei piemontane
- sol brun luvic amfigleizat – în luncă
- sol brun luvic planic pseudogleizat – pe dealuri cu pante de 2 – 5 %
- luvisol albic pseudogleizat slab și moderat; planic și glosic pseudogleizat – pe terasele câmpiei piemontane



- sol brun eumezobazic tipic sau gleizat – pe lunci cu suprafețe plane
- sol gleic tipic, cambic sau mlăștinos - pe lunci cu suprafețe plane
- vertisoluri – în lunci depresiionare
- regosoluri – pe culmile dealurilor
- sol aluvial gleizat - pe lunci cu suprafețe plane
- erodisol argiloiluvial – pe versanți
- sol desfundat argiloiluvial – pe versanți

Denumirea actuală a acestor tipuri de soluri este prezentat în tabelul 4.1 [Florea et al, 2005; Rogobete, 1993]:

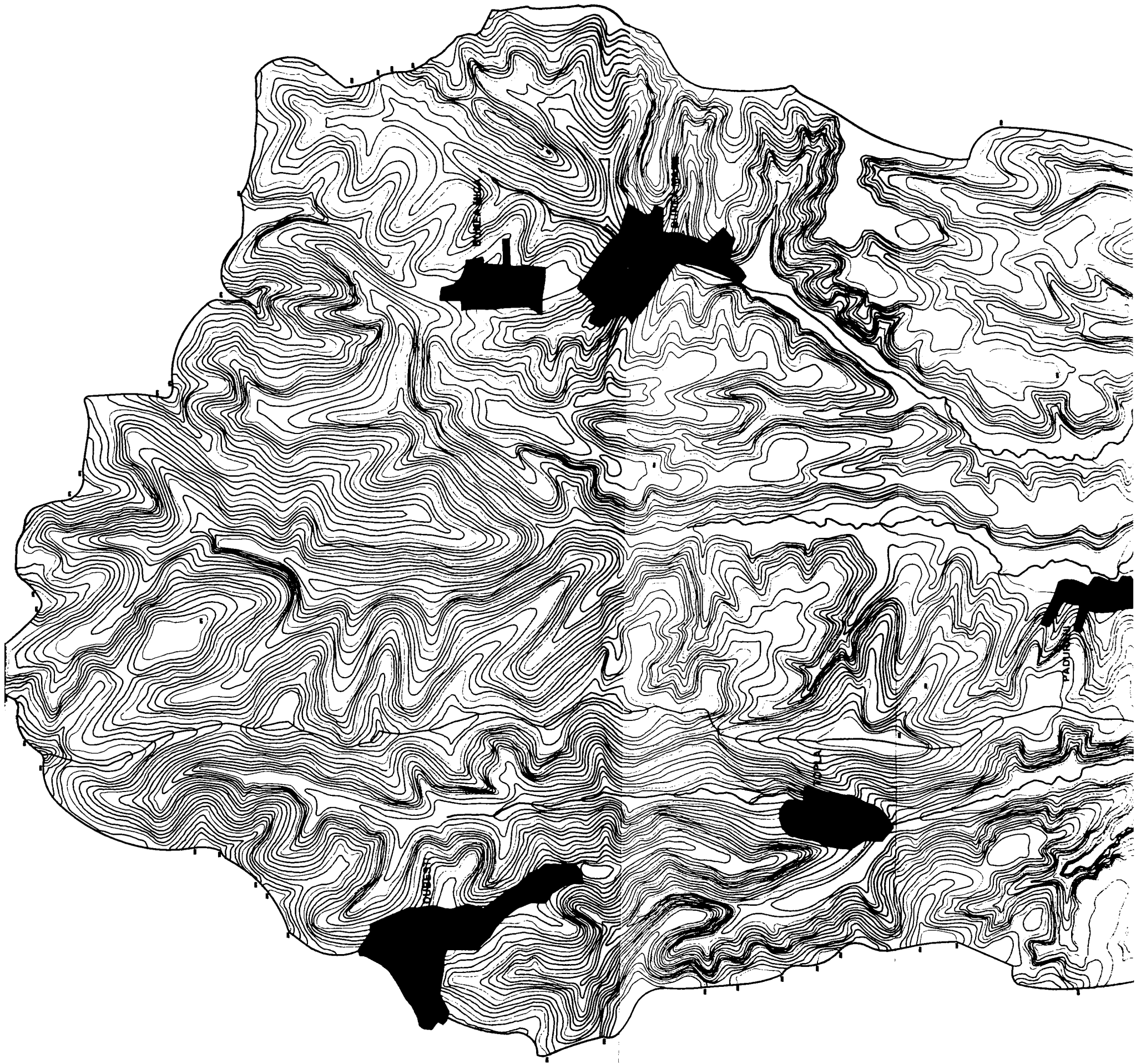
Tabelul 4.1

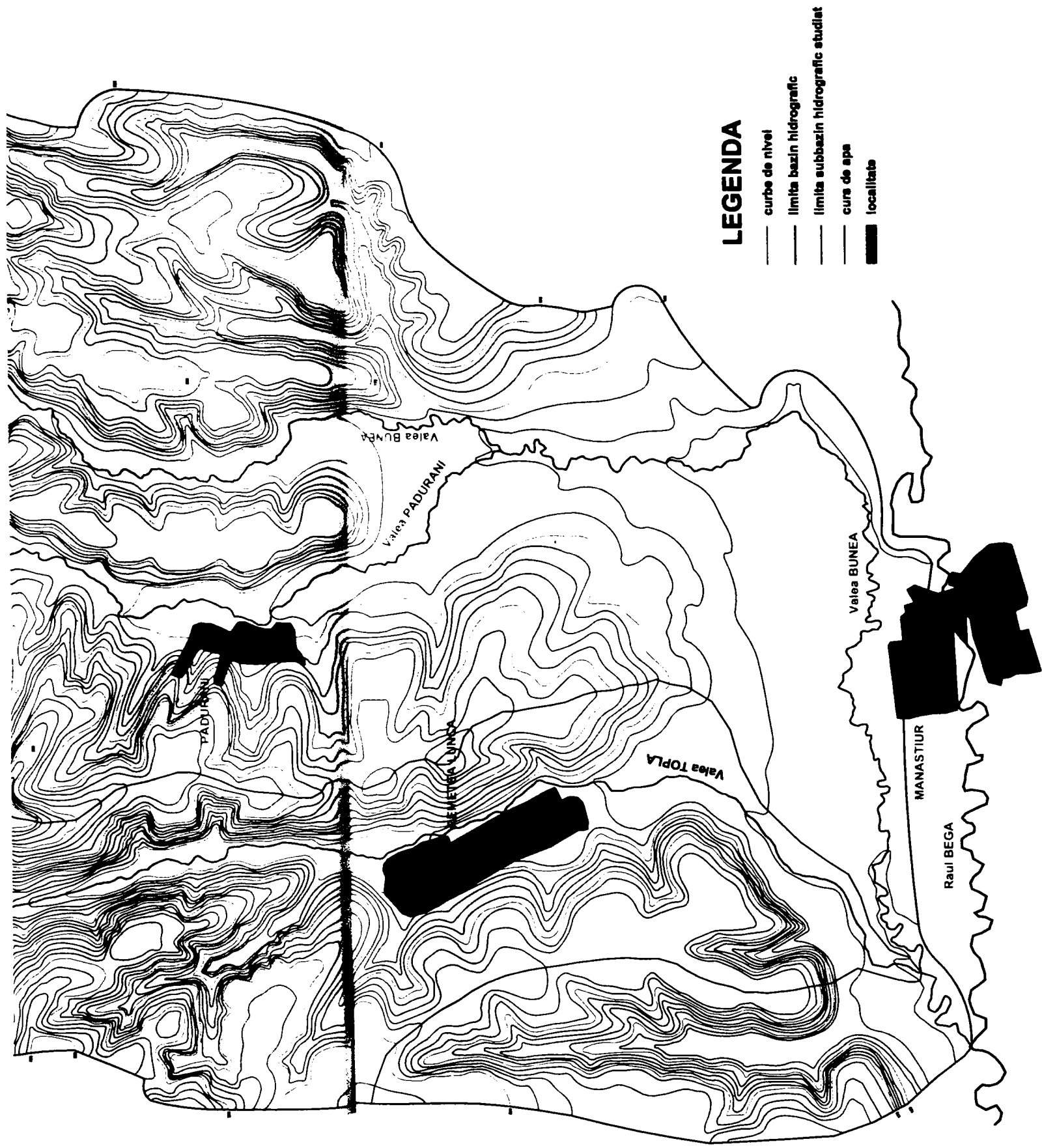
Nr. crt.	Denumire veche	Denumire actuală	Denumire SUA USDA – ST 1999
1	sol brun luvic tipic pseudogleizat	luvosol tipic - stagnic	Typic Hapludalfs Epiaquic Hapludalfs
2	sol brun luvic pseudogleizat slab sau moderat	luvosol tipic	Typic Hapludalfs
3	sol brun luvic amfigleizat	luvosol stagnic – gleic, tipic	Epiaquic – Endoaquic Hapludalfs
4	sol brun luvic planic pseudogleizat	luvosol tipic – planic -stagnic	Typic Hapludalfs
5	luvisol albic	luvosol albic – glosic -stagnic	Glossic Hapludalfs
6	sol brun eumezobazic	Eutricambosol tipic sau gleic	Typic Eutrocrypts Endoaquic Eutrudepts
7	sol gleic tipic, cambic sau mlăștinos	gleiosol eutric, cambic sau aluvic	Typic Endoaquepts Fluvaquentic Endoaquepts
8	vertisol	vertisol gleic	Endoaquic Hapluderts Endoaquic Haplusterts
9	regosol	regosol eutric sau distric	Typic Udarthents Typic Ustarthents
10	sol aluvial gleizat	aluviosol eutric sau gleic	Typic Ustifluvents Endoaquic Udifluvents
11	erodisol argiloiluvial	erodosol argic	Alfisols (eroded phase)
12	sol desfundat argiloiluvial	antrisol hartic	Plagganthrepts

#### 4.1.2 Reprezentarea bazinului hidrografic

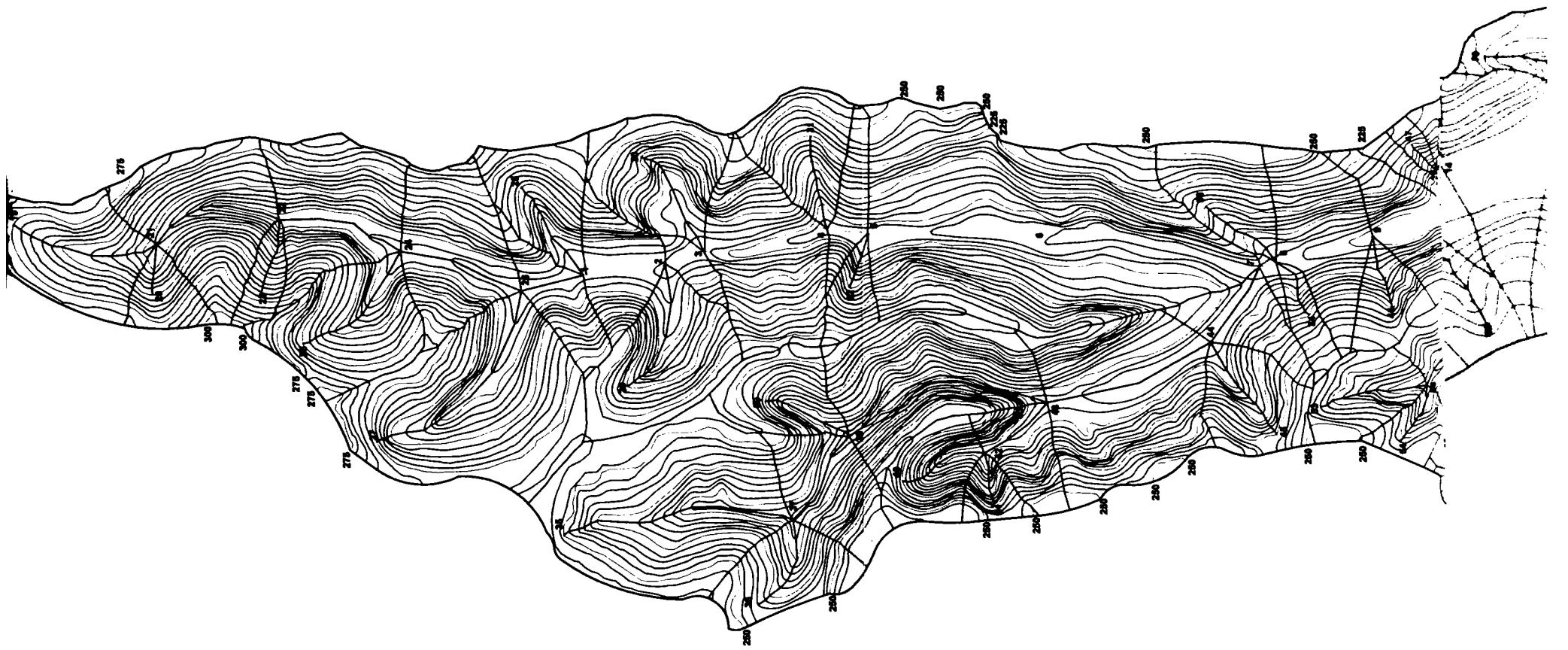
Planul de situație al întregului bazinului hidrografic este reprezentat în figura 4.5, iar pentru modelarea fenomenelor legate de scurgerile solide s-a ales subbazinul corespunzător cursului Topla, cu o lungime de 11,56 km, suprafața subbazinului este de 2357,40 ha; cuprinde un număr de 56 sectoare de văi secundare (ravene), cu o lungime totală de 31,58 km; planul de situație corespunzător cu împărțirea pe subbazinele corespunzătoare fiecărei văi este reprezentat în figura 4.6.

Pentru reprezentarea subbazinului hidrografic Topla s-a folosit **programul SURFER** [Surfer, 1999; Beilicci et al, 2005], care este un program de cartare, de modelare a suprafețelor bazinelor hidrografice. El realizează modelarea acestora pe





**Fig. 4.5 Plan de situatie al intregului bazin hidrografic**



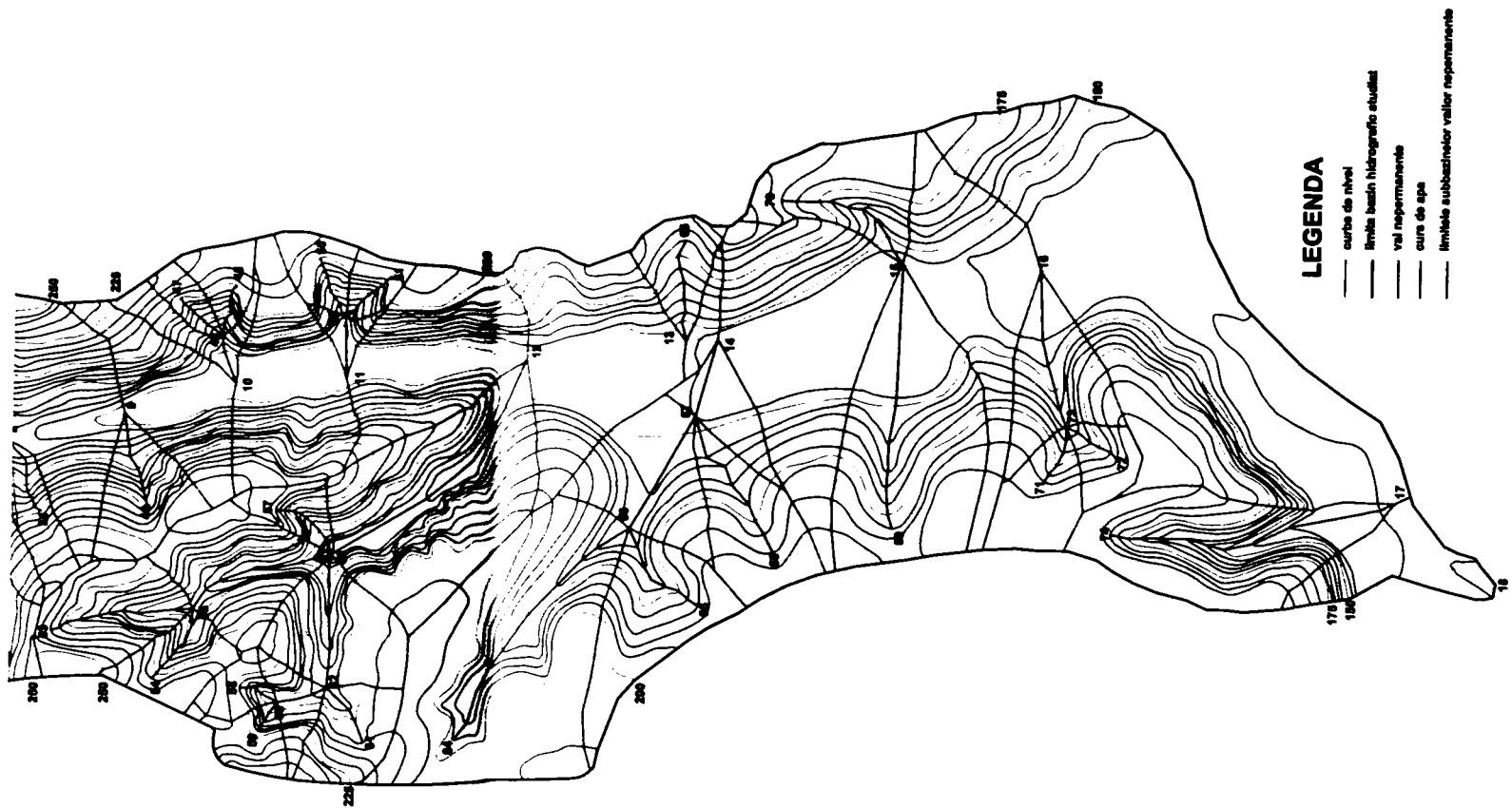


Fig. 4.6 Plan de situatie al subbazinului hidrografic Topla

baza datelor topografice ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Programul poate realiza următoarele tipuri de reprezentări: plan de situație cu linii de cotă, secțiuni verticale prin bazinele hidrografice (date necesare pentru aplicarea modelului DUFLOW), reprezentări 3D ale versanților bazinului hidrografic, reprezentări prin muchii (mod de afișare în care sunt vizualizate toate muchiile unui obiect tridimensional), secțiuni orizontale prin versanți, indicând direcția de curgere a apelor provenite din precipitații și topirea zăpezii (scurgerea de suprafață), hărți tridimensionale pentru relief cu umbrire (cu sursa de lumină definită de utilizator), plan de situație cu vizualizarea diferitelor puncte definite prin coordonate  $x$  și  $y$ , hărți geografice.

Programul necesită discretizarea domeniului, calculul coordonatelor  $x$ ,  $y$ ,  $z$  pe o rețea de puncte. Forma suprafeței terenului între punctele rețelei se calculează prin diferite metode matematice, alese de utilizator în așa fel încât reprezentarea obținută să reflecte cel mai corect forma reală a suprafeței. Aceste metode matematice sunt: regresia polinomială, triangulația cu interpolare liniară, metoda curburii minime, metoda Shepard modificată, funcția Spline etc.

De asemenea, cu SURFER se pot calcula volumule lacurilor (naturale sau artificiale) pe baza cunoașterii topografiei cuvetei lacului și a nivelului apei; volumele de sol pierdute prin eroziune; se poate prognoza forma versanților bazinelor hidrografice dacă rata eroziunii se menține constantă un interval de timp dat.

Reprezentarea tridimensională a subbazinului hidrografic studiat se poate vedea în figura 4.7, iar vederea în plan se poate vedea în figura 4.8.

### 4.2 Modelarea proceselor de eroziune în bazinul hidrografic studiat

Pentru modelarea proceselor de eroziune de pe versanții și albiile bazinului hidrografic am folosit programele de modelare **WEPP** (Water Erosion Prediction Project) [Beilicci et al, 2004] și **DUFLOW**.

Studiul de caz se bazează pe următoarele ipoteze:

- intensitate constantă a ploii pe toată suprafața subbazinelor hidrografice
- același tip de sol pe întreg bazinul hidrografic – sol brun luvic (luvosol) (cu mai multe subtipuri), având textură mijlocie spre grea (permeabilitate redusă), făcând parte din grupa hidrologică C, cu umiditatea inițială 70 %
- folosința terenului este aceeași pe toată suprafața subbazinelor
- nu există lucrări de combatere a eroziunii solului.

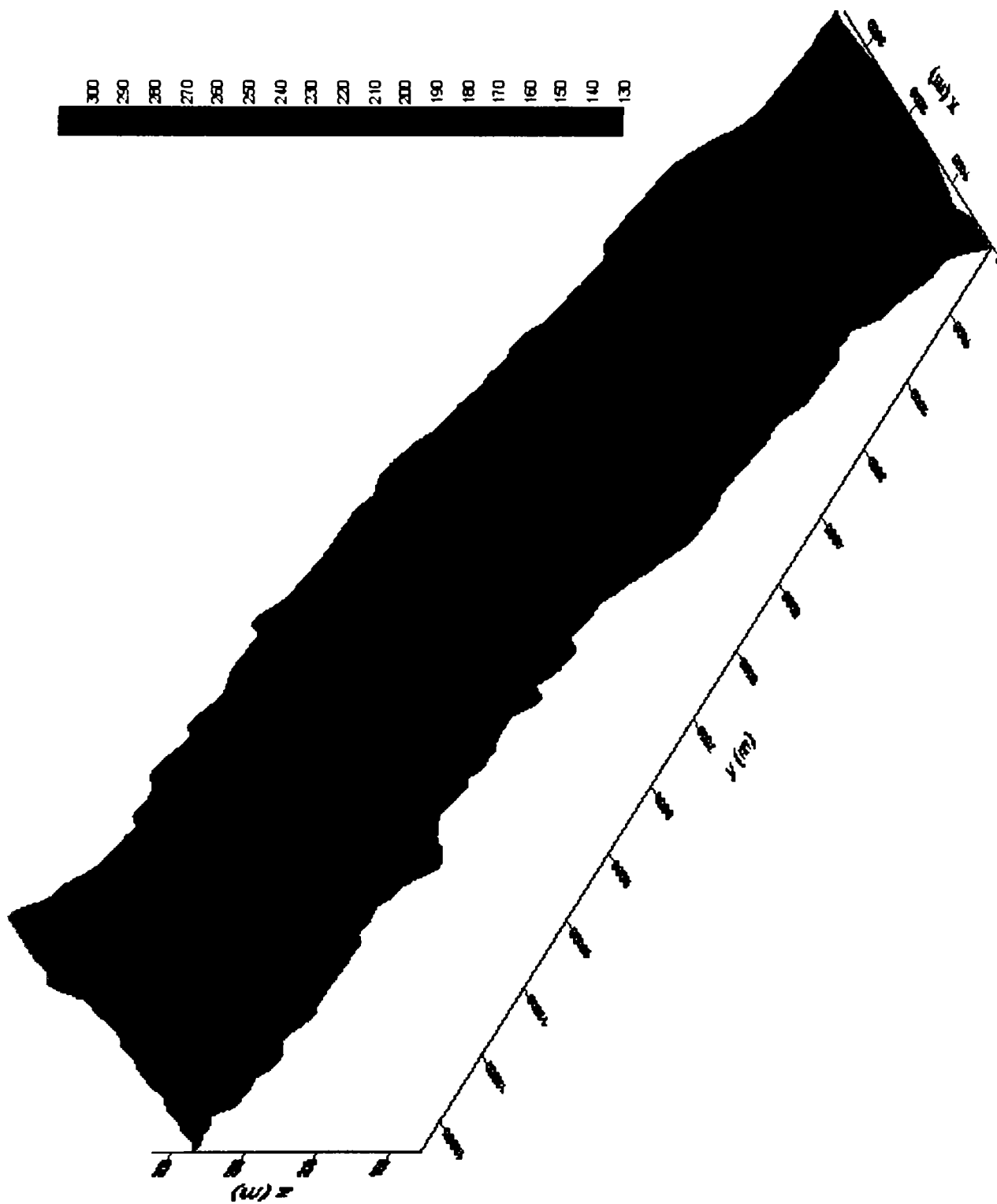


Fig. 4.7 Reprezentarea tridimensională a subbazinului hidrografic Topla

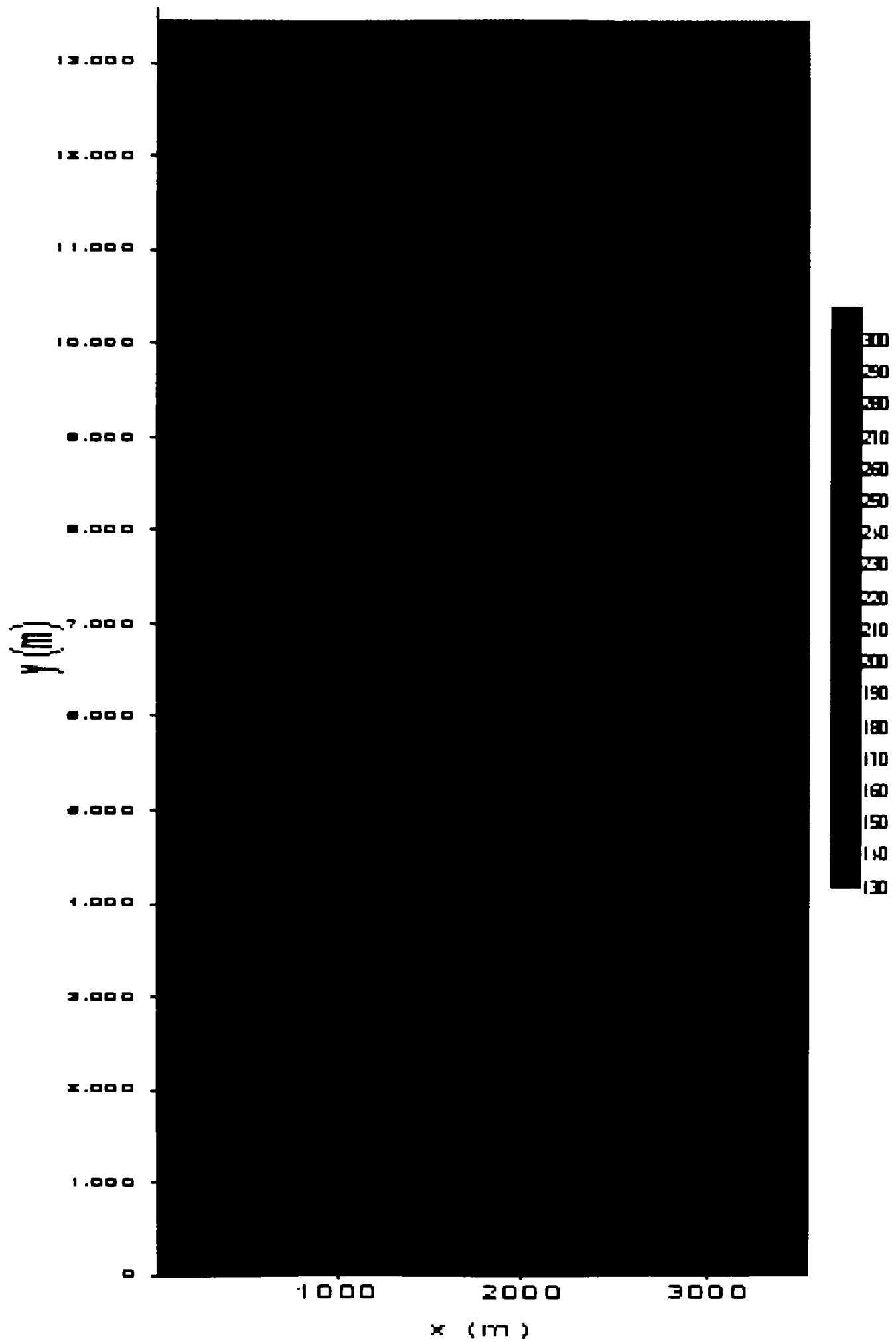


Fig.4.8 Vedere în plan a subbbazinului hidrografic Topla



#### 4.2.1 Aplicarea modelului WEPP

S-a aplicat modelul WEPP pentru fiecare sector de albie (ravenă), pe subbazinul hidrografic corespunzător, calculându-se cantitatea de sol pierdută de pe fiecare versant limitrof în timpul unei ploi torențiale, în 4 ipoteze (care au rezultat din cartogramele de repartitie a ploilor torențiale cu asigurarea de 10 % și având durate de 5, 15, 30 și 60 de minute, realizate pe baza măsurătorilor și prelucrărilor statistice ale datelor meteorologice din zona bazinului hidrografic Bega) [Băcov et al, 1988]):

1 – ploaie torențială cu o durată de 5 minute și o intensitate de calcul  $i = 3$  mm/min

2 – ploaie torențială cu o durată de 15 minute și o intensitate de calcul  $i = 1,55$  mm/min

3 – ploaie torențială cu o durată de 30 minute și o intensitate de calcul  $i = 0,96$  mm/min

4 – ploaie torențială cu o durată de 60 minute și o intensitate de calcul  $i = 0,70$  mm/min

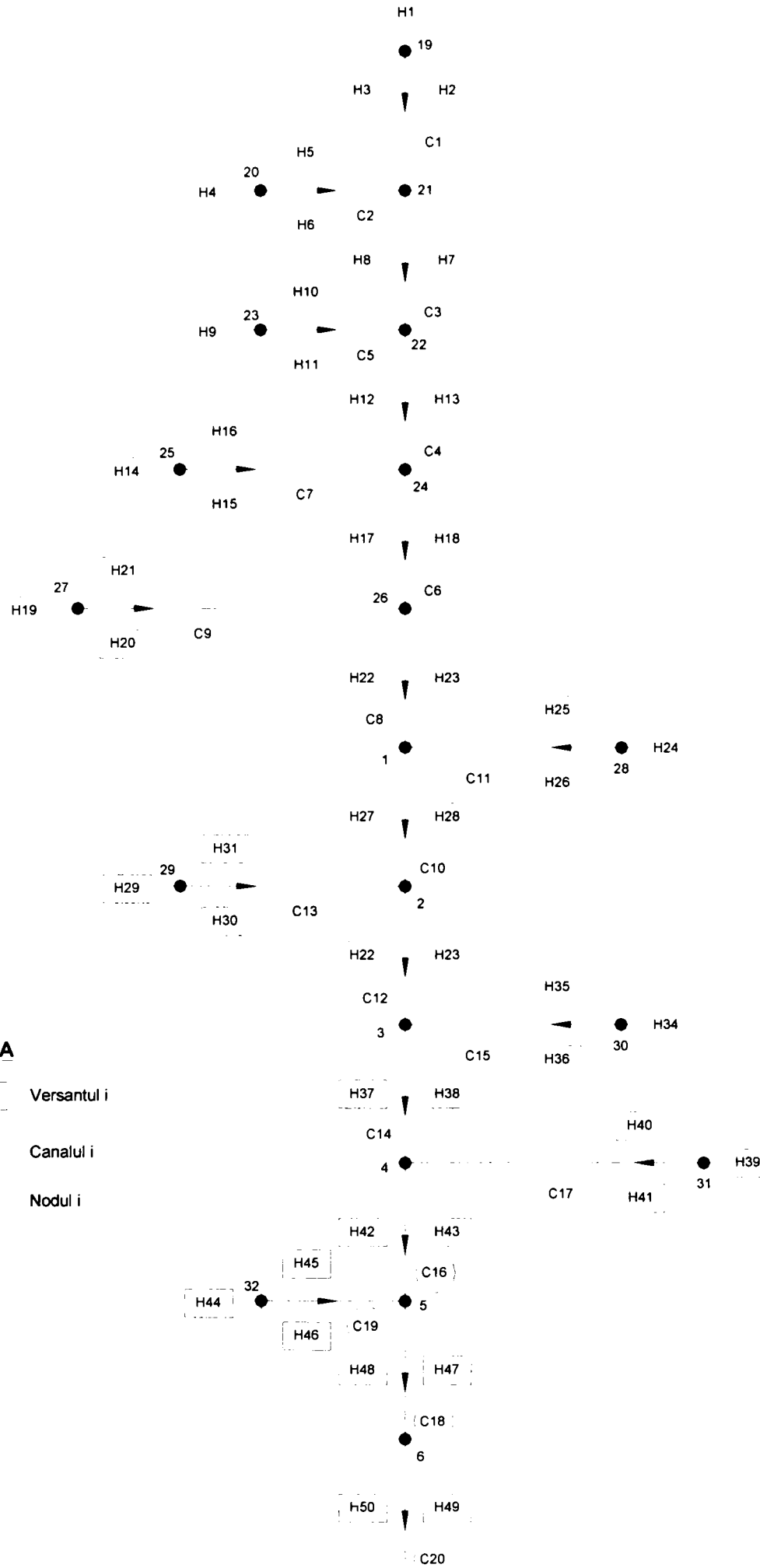
Schema de calcul este prezentată în figura 4.9, iar rezultatele modelării sunt arătate în anexele nr.1 și nr. 2.

Pe lângă cantitățile de sol pierdute au rezultat și graficele de variație a proceselor de eroziune și depunere pe fiecare versant și ratele maxime de antrenare a particulelor de sol de pe fiecare versant (fig. 4.10.....4.13; anexa nr. 3). Se observă că în toate cazurile eroziunea se produce pe toată lungimea versantului.

În figurile 4.14.....4.17 se pot vedea variațiile pierderilor de sol de pe versanți în cele patru ipoteze de modelare (funcție de durata și intensitatea ploii torențiale), folosințele versanților păstrându-se aceleași. Se observă că se pot stabili corelații (logaritmice sau liniare) destul de bune între durata ploii și pierderile specifice de sol.

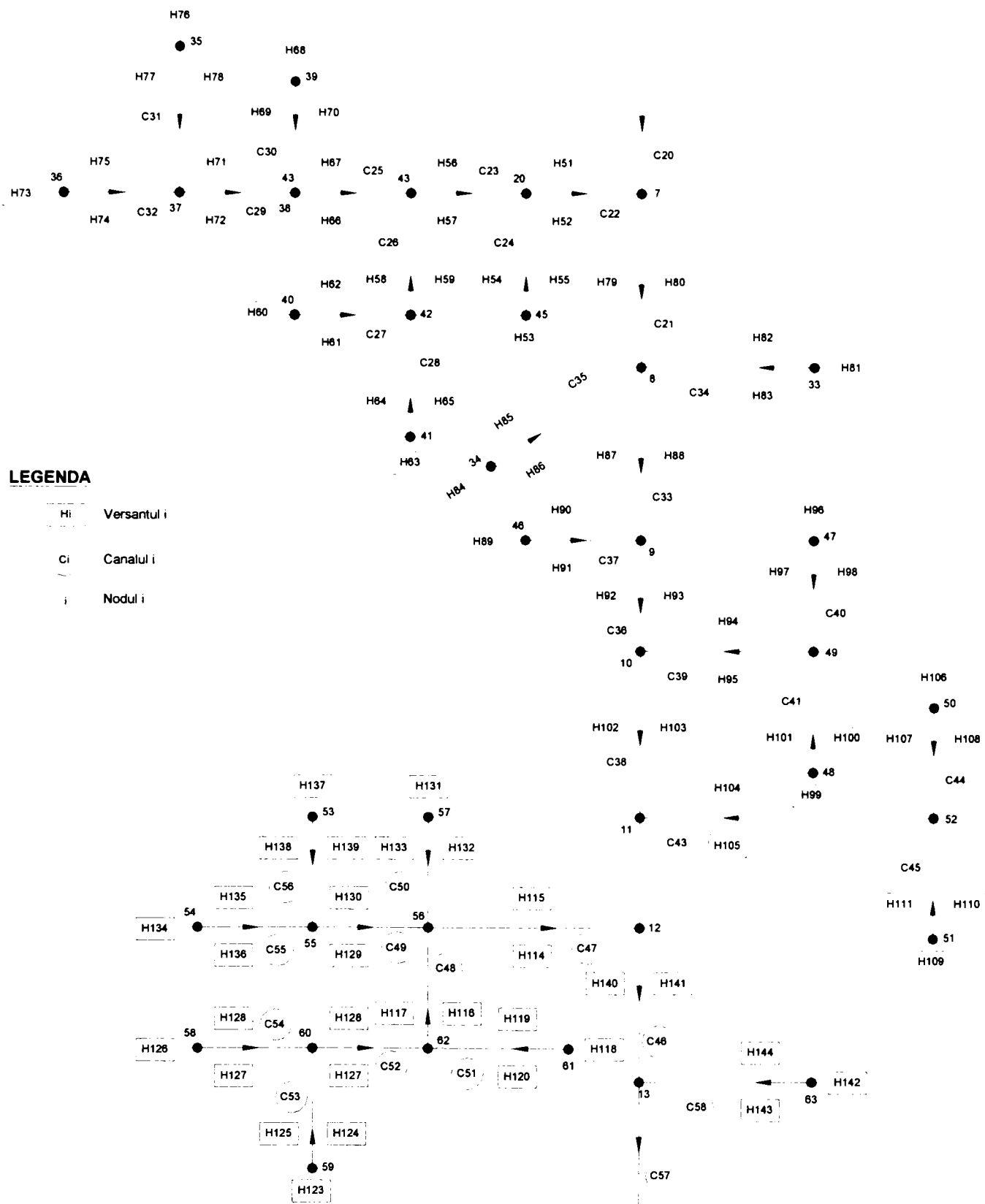
În figurile 4.18.....4.21 se arată variația pierderilor de sol în cele patru ipoteze de calcul funcție de umiditatea inițială a solului, pentru un versant cu panta medie de 12,7 %, pentru diferite folosințe. În toate cazurile se pot stabili corelații neliniare (funcții exponențiale) bune între umiditatea inițială a solului și pierderile specifice de sol.

Graficele din figurile 4.22 ..... 4.25 ilustrează variația pierderilor specifice de sol pe întreg bazinul hidrografic, a volumului scurgerii de suprafață de pe versanți, a volumului de apă și sedimente ce trece prin secțiunea de ieșire din bazin funcție de durata ploii.



**LEGENDA**

Hi	Versantul i
Ci	Canalul i
i	Nodul i



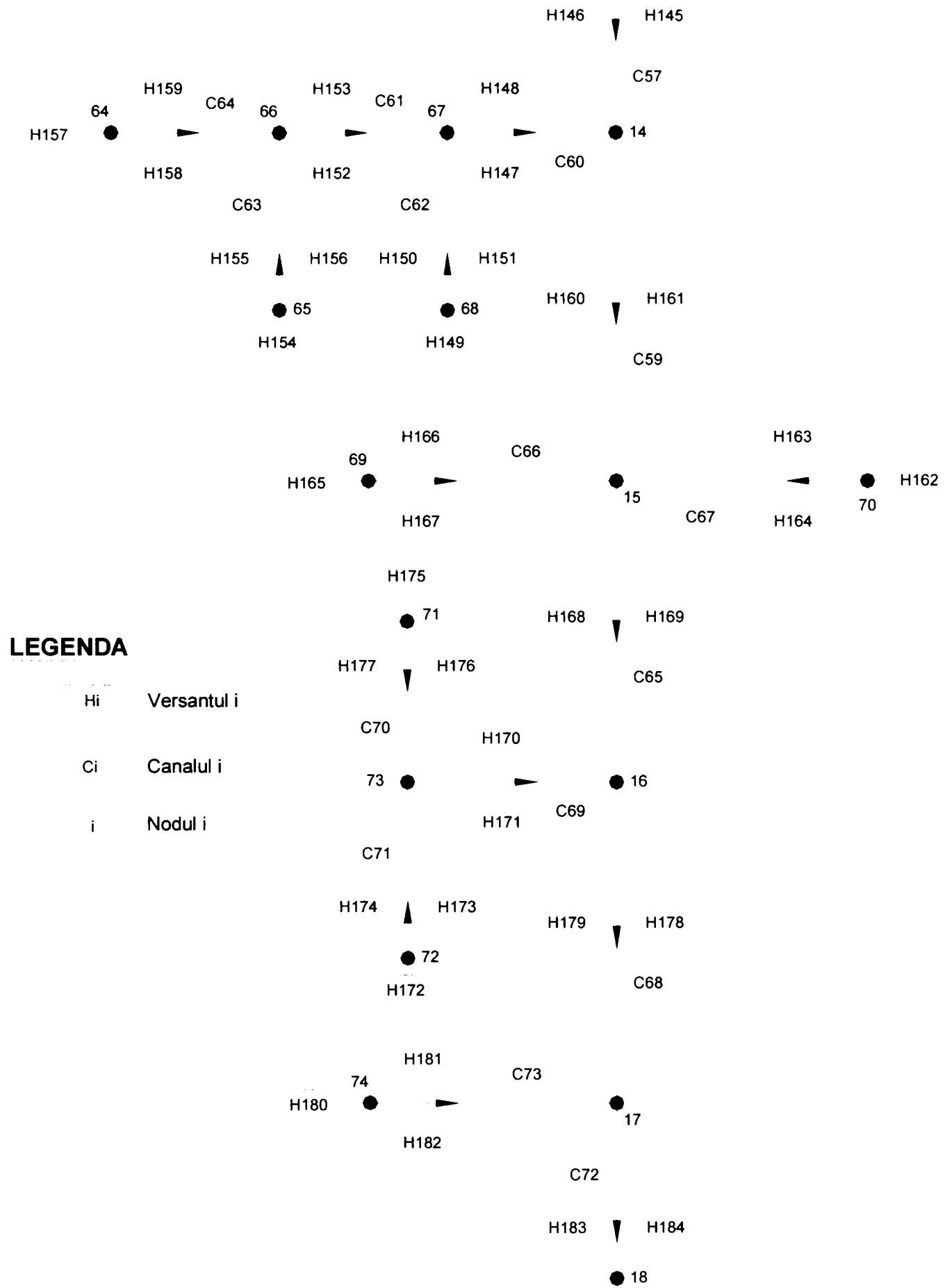


Fig.4.9 Schema de calcul pentru modelul WEPP

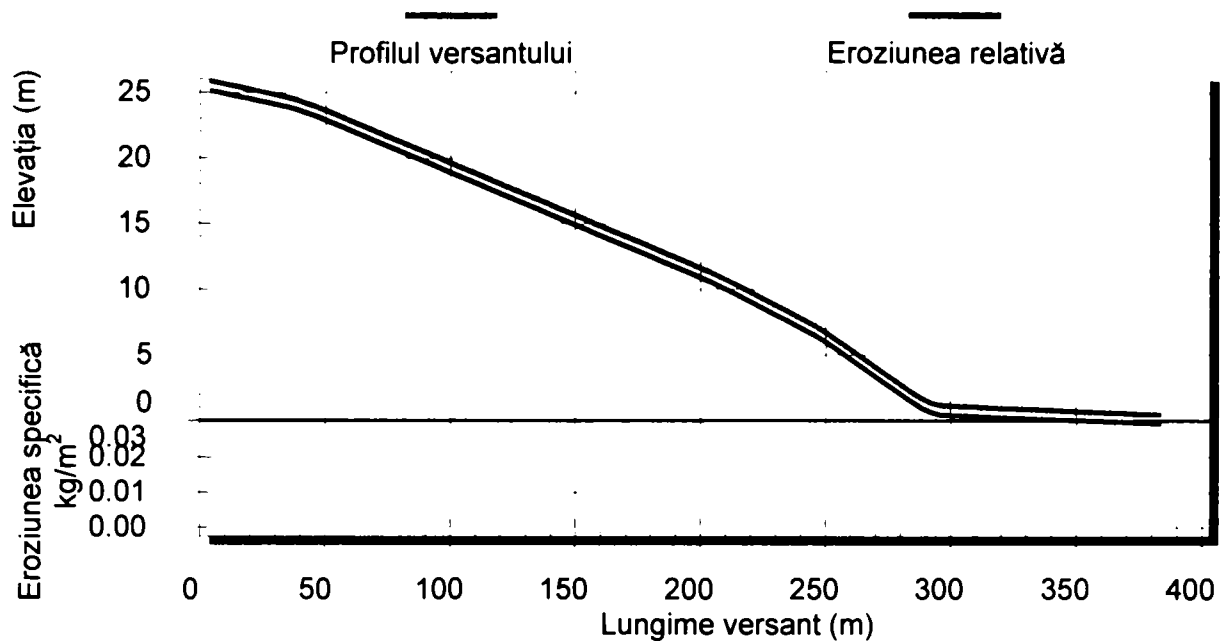


Fig. 4.10 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 141 (durata ploii 5 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 7,68 m - 0,001 kg/m<sup>2</sup>, depunere maximă la 300 m – 0,029 kg/m<sup>2</sup>, folosința versant – plante păioase)

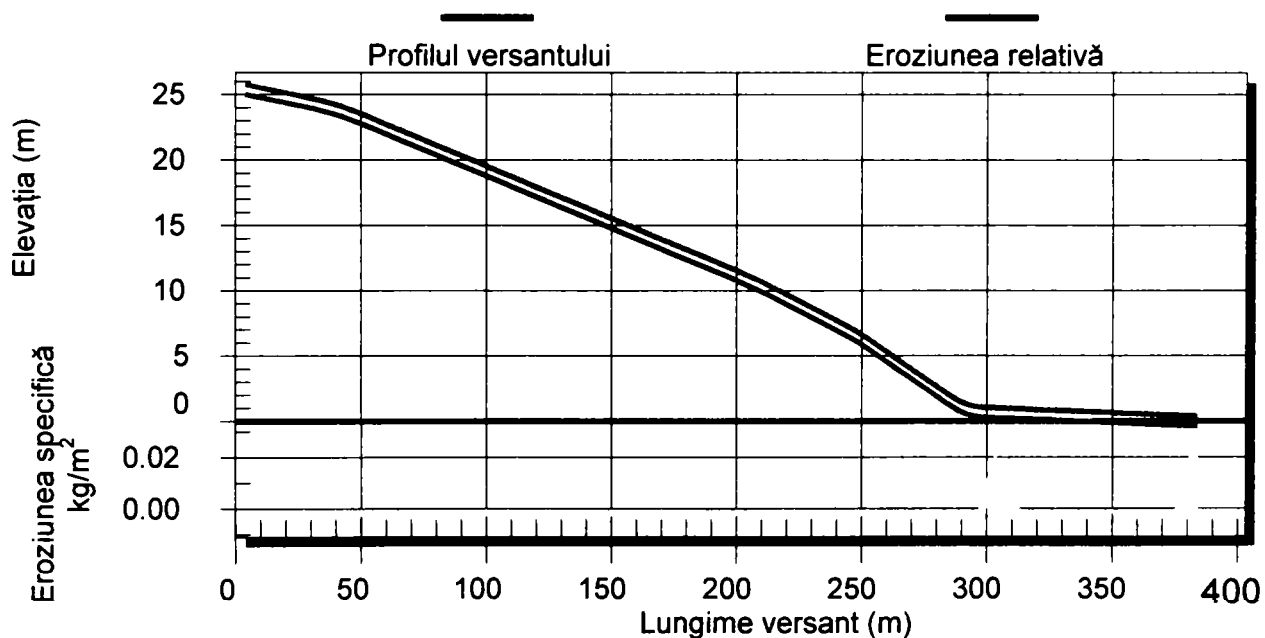


Fig. 4.11 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 141 (durata ploii 15 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 3,84 m - 0,009 kg/m<sup>2</sup>, depunere maximă la 384 m – 0,032 kg/m<sup>2</sup>, folosința versant – plante păioase)

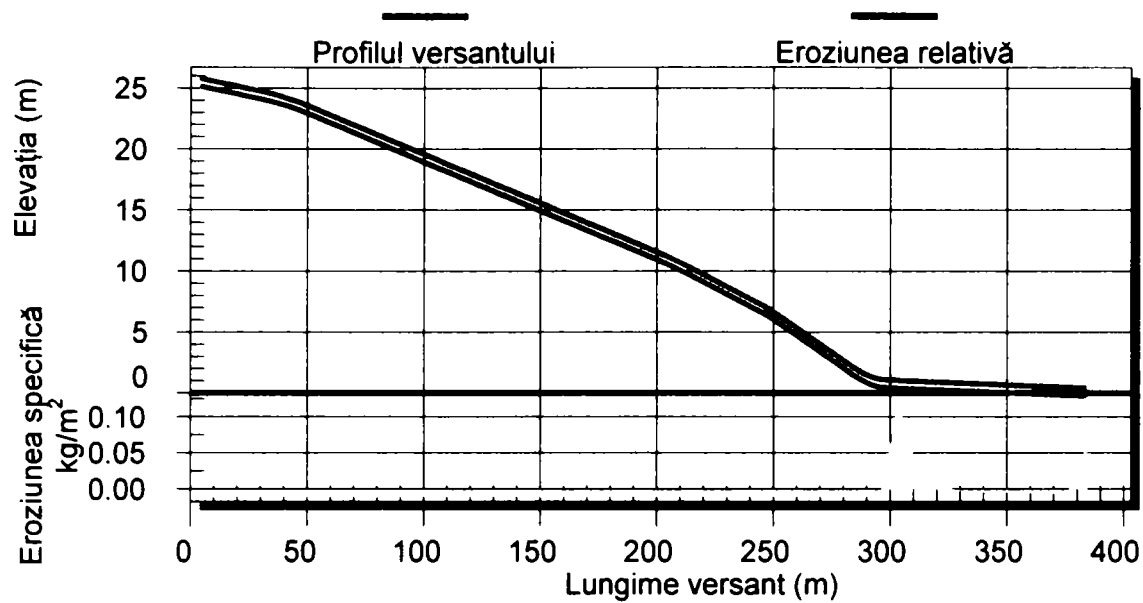


Fig. 4.12 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 141 (durata ploii 30 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 7,68 m - 0,011 kg/m<sup>2</sup>, depunere maximă la 303 m - 0,126 kg/m<sup>2</sup>, folosința versant - plante păioase)

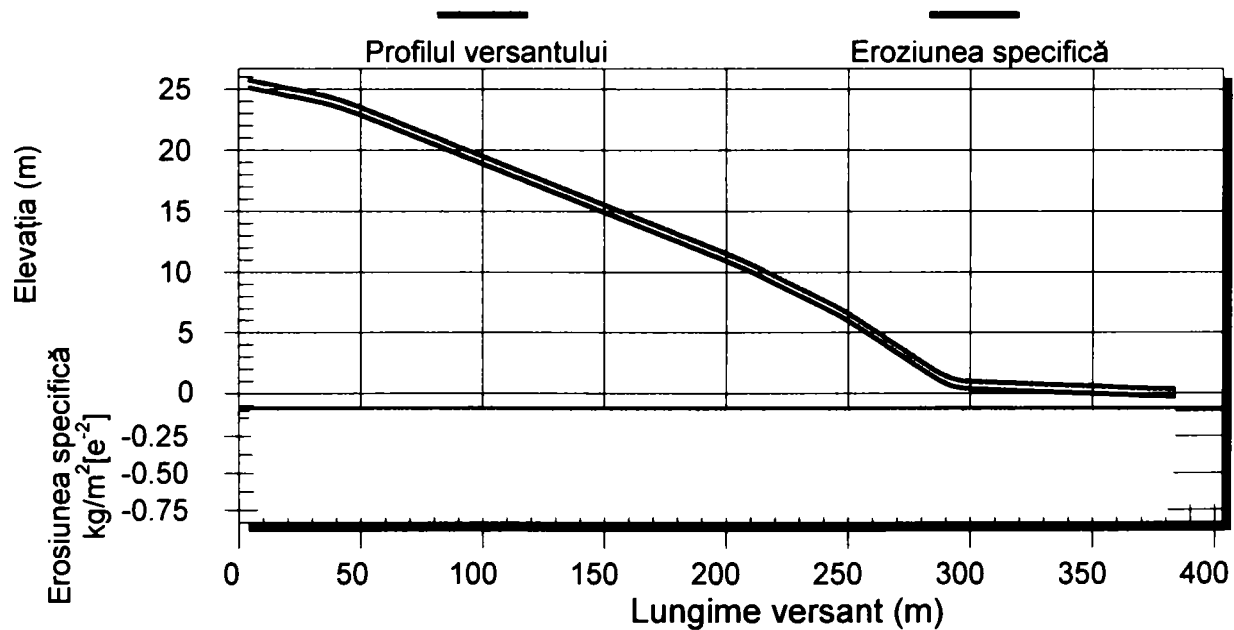


Fig. 4.13 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 141 (durata ploii 60 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 7,68 m - 0,008 kg/m<sup>2</sup>, folosința versant - plante păioase)

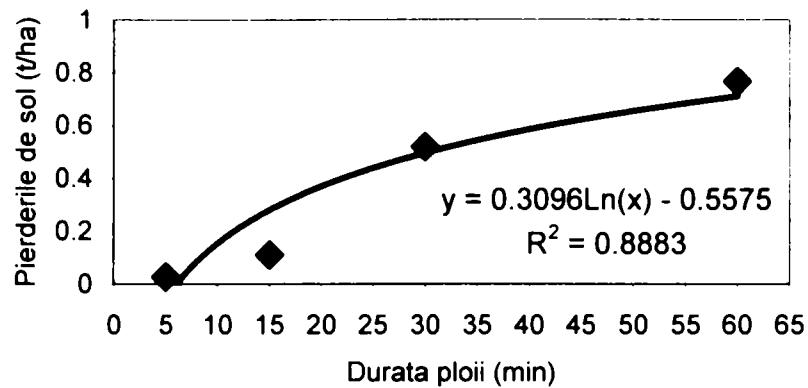


Fig. 4.14 Variația pierderilor de sol pe versantul H 18 în funcție de durata ploii

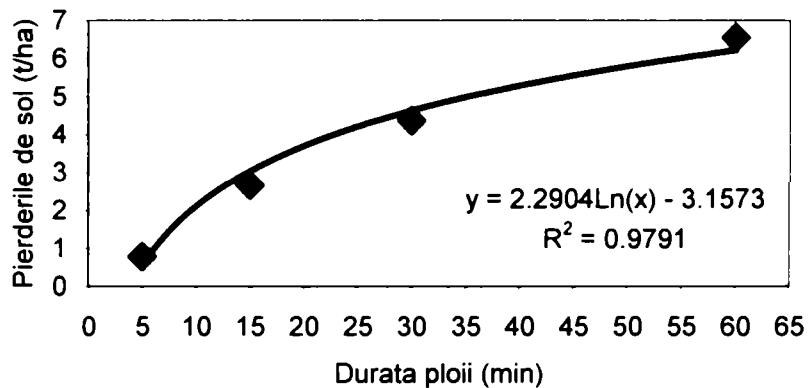


Fig. 4.15 Variația pierderilor de sol pe versantul H 67 în funcție de durata ploii

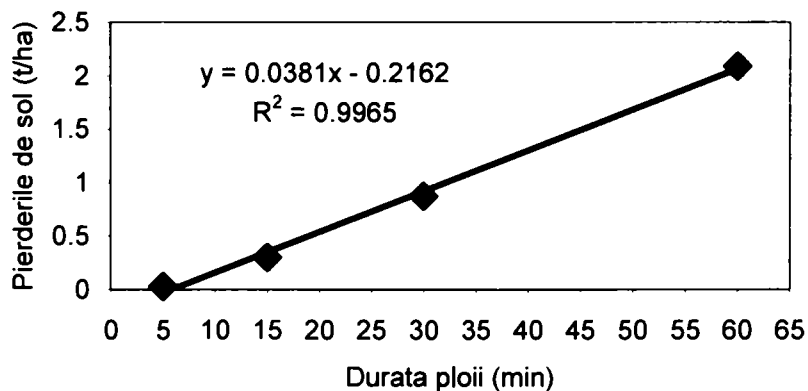


Fig. 4.16 Variația pierderilor de sol pe versantul H 78 în funcție de durata ploii

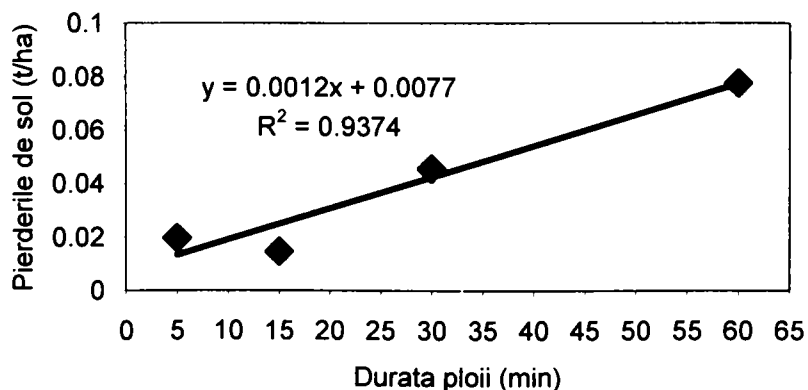


Fig. 4.17 Variația pierderilor de sol pe versantul H 141 în funcție de durata ploii

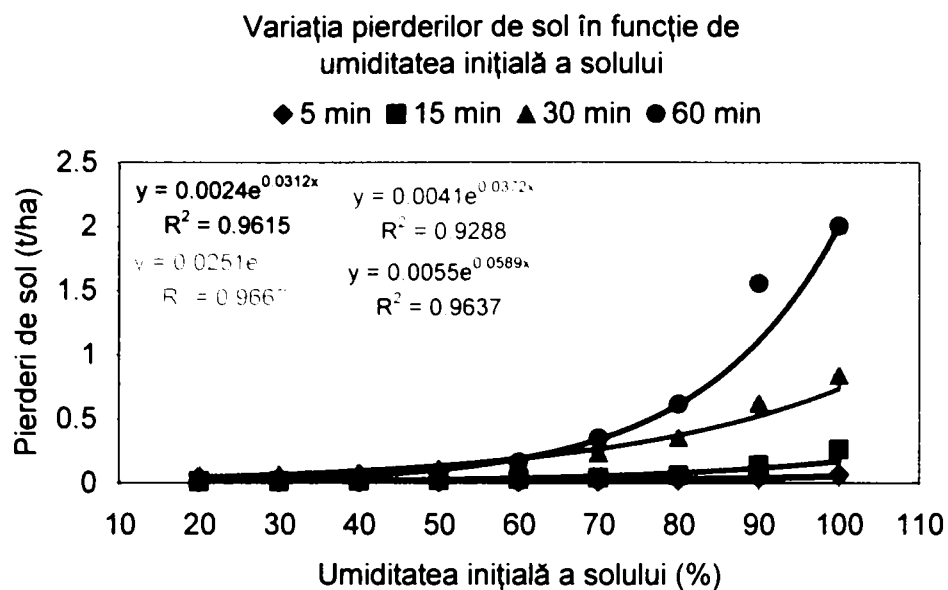


Fig. 4.18 Variația pierderilor de sol pe versantul H 78 (pășune) în funcție de umiditatea inițială a solului

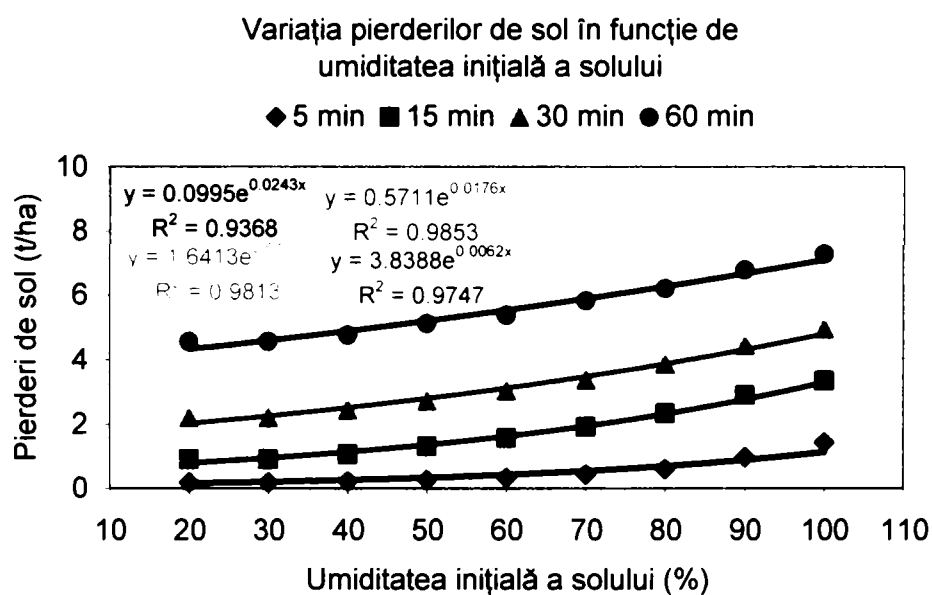


Fig. 4.19 Variația pierderilor de sol pe versantul H 78 (pășune degradată) în funcție de umiditatea inițială a solului

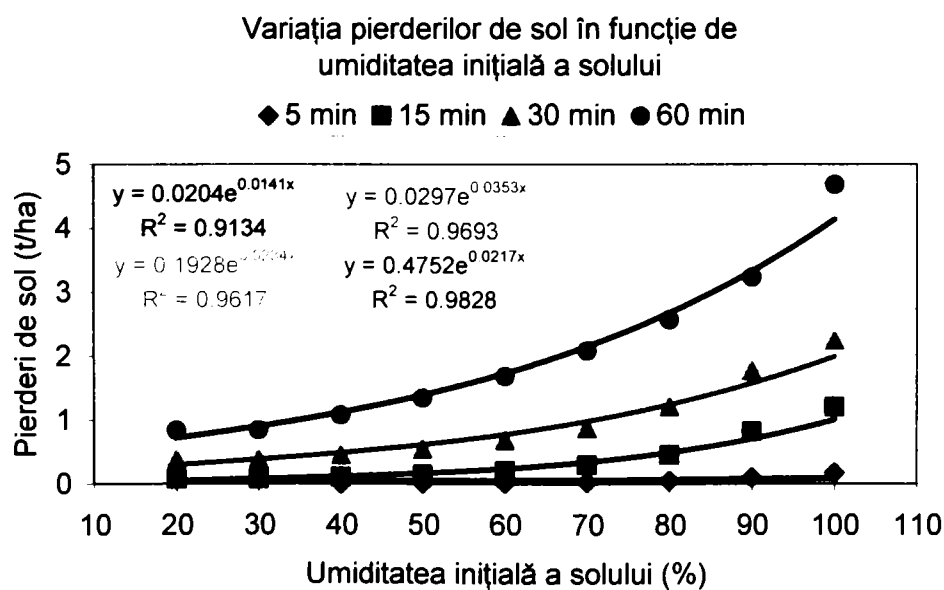


Fig. 4.20 Variația pierderilor de sol pe versantul H 78 (plante prășitoare) în funcție de umiditatea inițială a solului



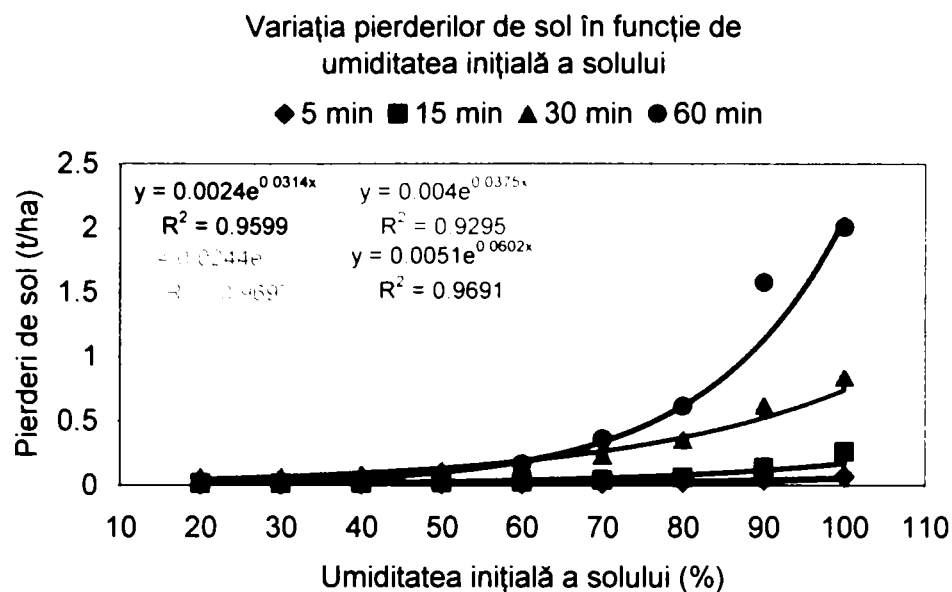


Fig. 4.21 Variația pierderilor de sol pe versantul H 78 (plante păioase) în funcție de umiditatea inițială a solului

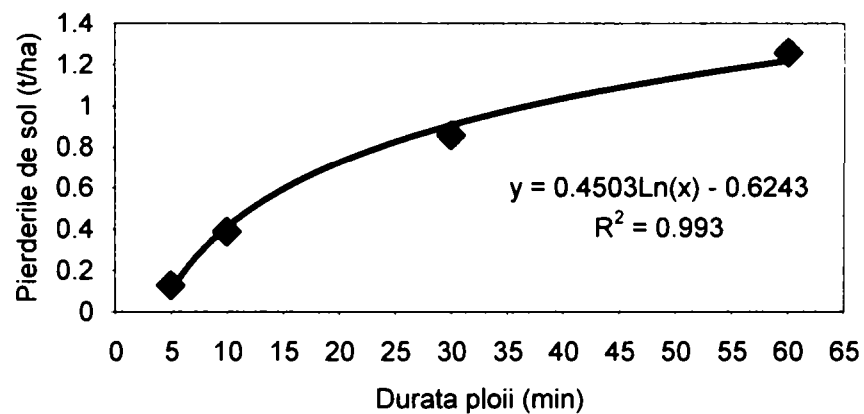


Fig. 4.22 Variația pierderilor de sol pe întreg bazinul hidrografic funcție de durata ploii

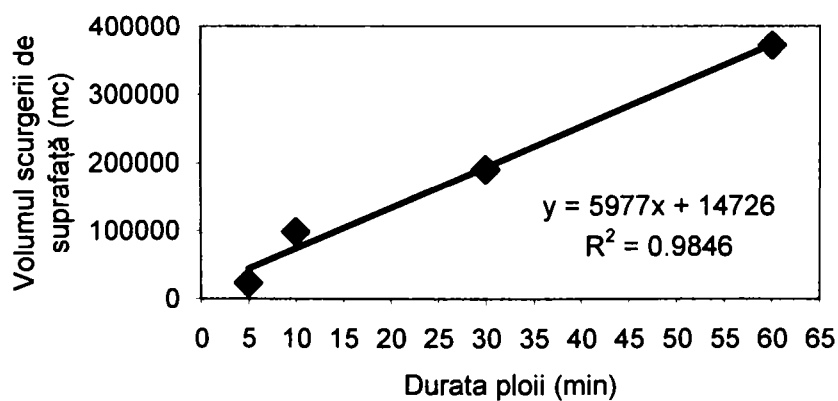


Fig. 4.23 Variația volumului scurgerii superficiale pe întreg bazinul hidrografic funcție de durata ploii

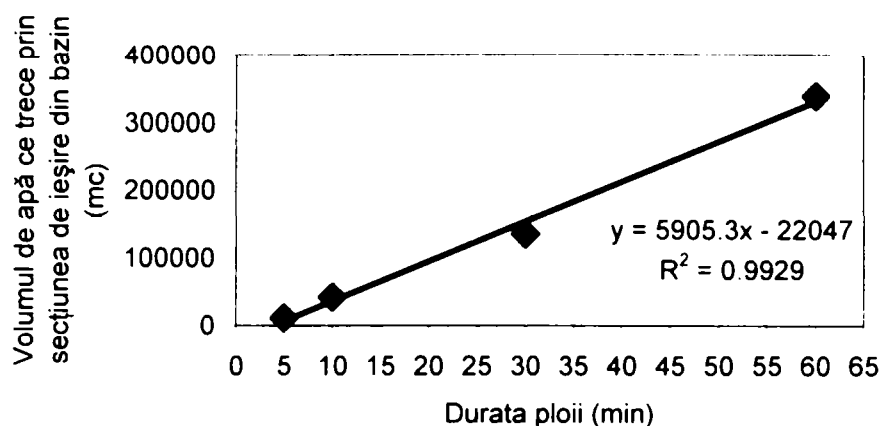


Fig. 4.24 Variația volumului de apă ce iese din bazinul hidrografic funcție de durata ploii

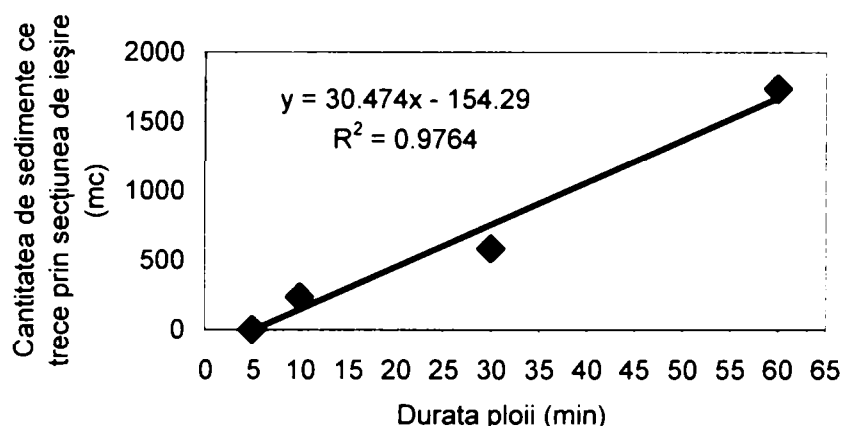


Fig. 4.25 Variația volumului de sedimente ce iese din bazinul hidrografic funcție de durata ploii

#### 4.2.2 Aplicarea modelului DUFLOW

Modelul DUFLOW s-a aplicat pentru întreg bazinul hidrografic al văii Topla, cu scopul de a obține hidrograful debitelor și nivelelor de apă în fiecare nod al rețelei hidrografice, rezultate în urma ploilor torențiale în cele 4 ipoteze de mai sus [Lazăr et al, 2004]; ele pot servi la determinarea variației concentrației de materiale solide în suspensie din volumul de apă efluent din bazinul hidrografic studiat.

Rețeaua hidrografică s-a împărțit în sectoare, având 74 de noduri. În toate cele 74 de noduri s-au construit secțiunile transversale, determinându-se lățimea oglinzii apei corespunzătoare diferitelor nivele (din 0,2 m în 0,2 m adâncime). În fiecare nod s-au introdus debitele de apă corespunzătoare rezultate din scurgerea de suprafață de pe versanți (în urma stabilirii suprafeței de bazin hidrografic aferente fiecărui nod și a coeficienților de scurgere corespunzători).

Coeficienții de scurgere  $k$  sunt în conformitate cu metoda preluată de la Serviciul de conservare a solului din SUA [Bâcov et al, 1988], unde solul este încadrat în una din cele patru grupe hidrologice (tabelul 4.2).

Tabelul 4.2

Grupa hidrologică	Textura solului	Potențial de scurgere
A	ușoară, profundă, formată pe roci permeabile	minim
B	medie, mijlociu profund	apropiat de mediu
C	medie către grea	puțin peste medie
D	grea, puțin profunde	maxim

Pentru grupa hidrologică C, coeficienții de scurgere ce pot fi selectați și utilizați în studiul de caz sunt prezentați în tabelul 4.3.

Trecerea de la grupa hidrologică C la celelalte grupe se poate face utilizând coeficienții de corecție din tabelul 4.4.

Tabelul 4.3

Categorie	Folosințele și metodele de conservare	Coeficientul de scurgere pentru intensitatea ploii în mm/min		
		0.4 - 1	1 - 2	> 2
1	Pădure bine închegată	0.05	0.12	0.20
2	Pășune bine închegată sau fâneată	0.08	0.15	0.25
3	Pășune parțial degradată cu acoperire slabă	0.35	0.50	0.70
4	Grâu sau altă păioasă, cultură bine închegată cu măsuri de conservare a solului	0.22	0.25	0.27
5	Grâu sau altă păioasă, acoperire slabă, fără măsuri de conservare a solului	0.40	0.42	0.45
6	Porumb sau altă prășitoare cu măsuri de conservare a solului	0.55	0.60	0.65
7	Porumb sau altă prășitoare fără măsuri de conservare a solului	0.70	0.71	0.72

Tabelul 4.4

Categorie	Folosințele și metodele de conservare	Coeficientul de transformare de la grupa C la grupele		
		A	B	D
1	Pădure bine închegată	0,36	0,79	1,10
2	Pășune bine închegată sau fâneată	0,53	0,83	1,08
3	Pășune parțial degradată cu acoperire slabă	0,72	0,89	1,05
4	Grâu sau altă păioasă, cultură bine închegată cu măsuri de conservare a solului	0,75	0,90	1,04
5	Grâu sau altă păioasă, acoperire slabă, fără măsuri de conservare a solului	0,77	0,90	1,04
6	Porumb sau altă prășitoare cu măsuri de conservare a solului	0,80	0,91	1,04
7	Porumb sau altă prășitoare fără măsuri de conservare a solului	0,82	0,92	1,03

Datele de intrare pentru DUFLOW sunt prezentate în anexele nr. 4 și nr.5.

Rețeaua hidrografică cu nodurile de discretizare se poate vedea în figura 4.26.

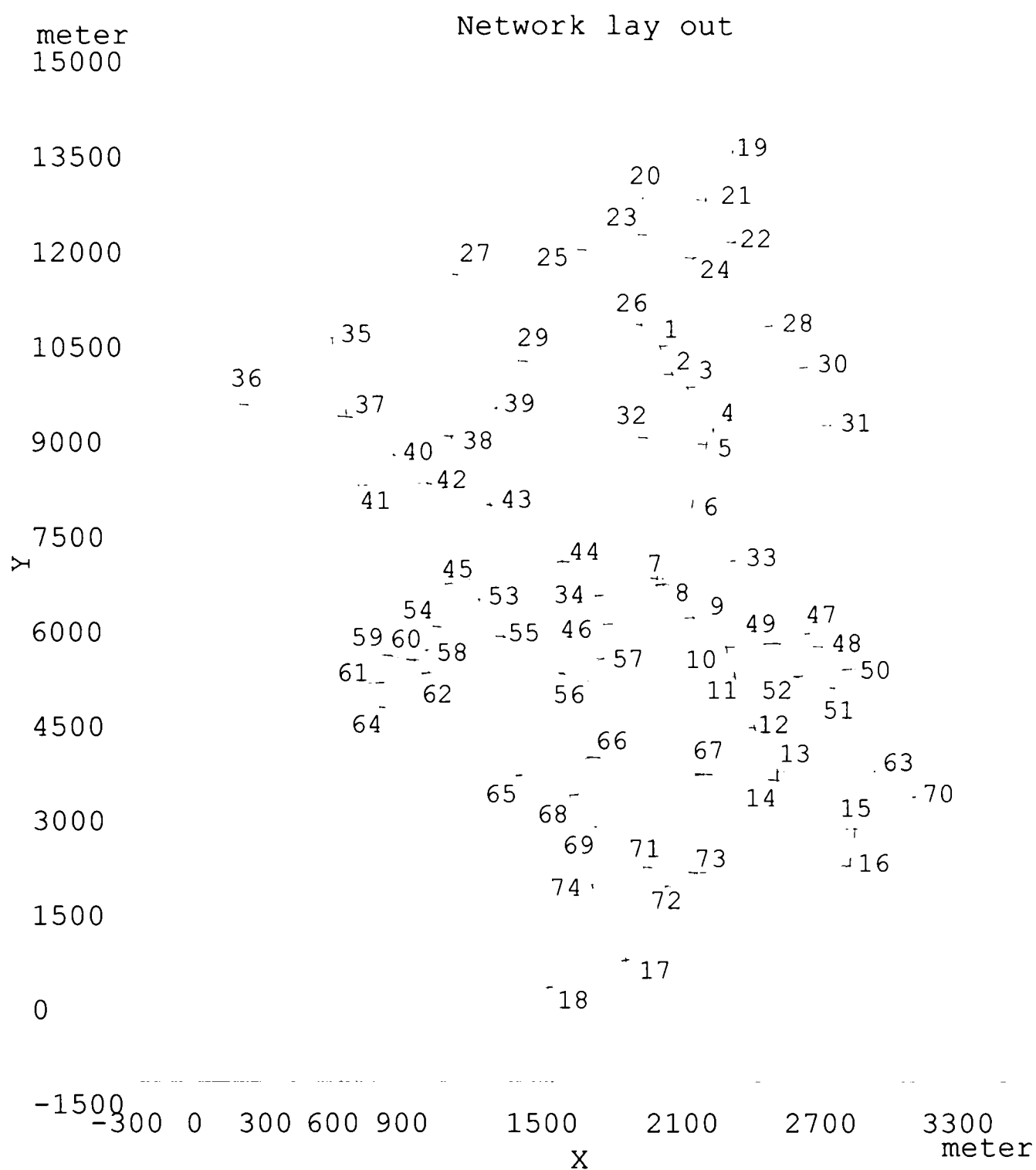


Fig.4.26 Nodurile rețelei hidrografice DUFLOW

Rezultatele modelării sunt prezentate în figurile 4.27, 4.28 și anexa nr. 6.

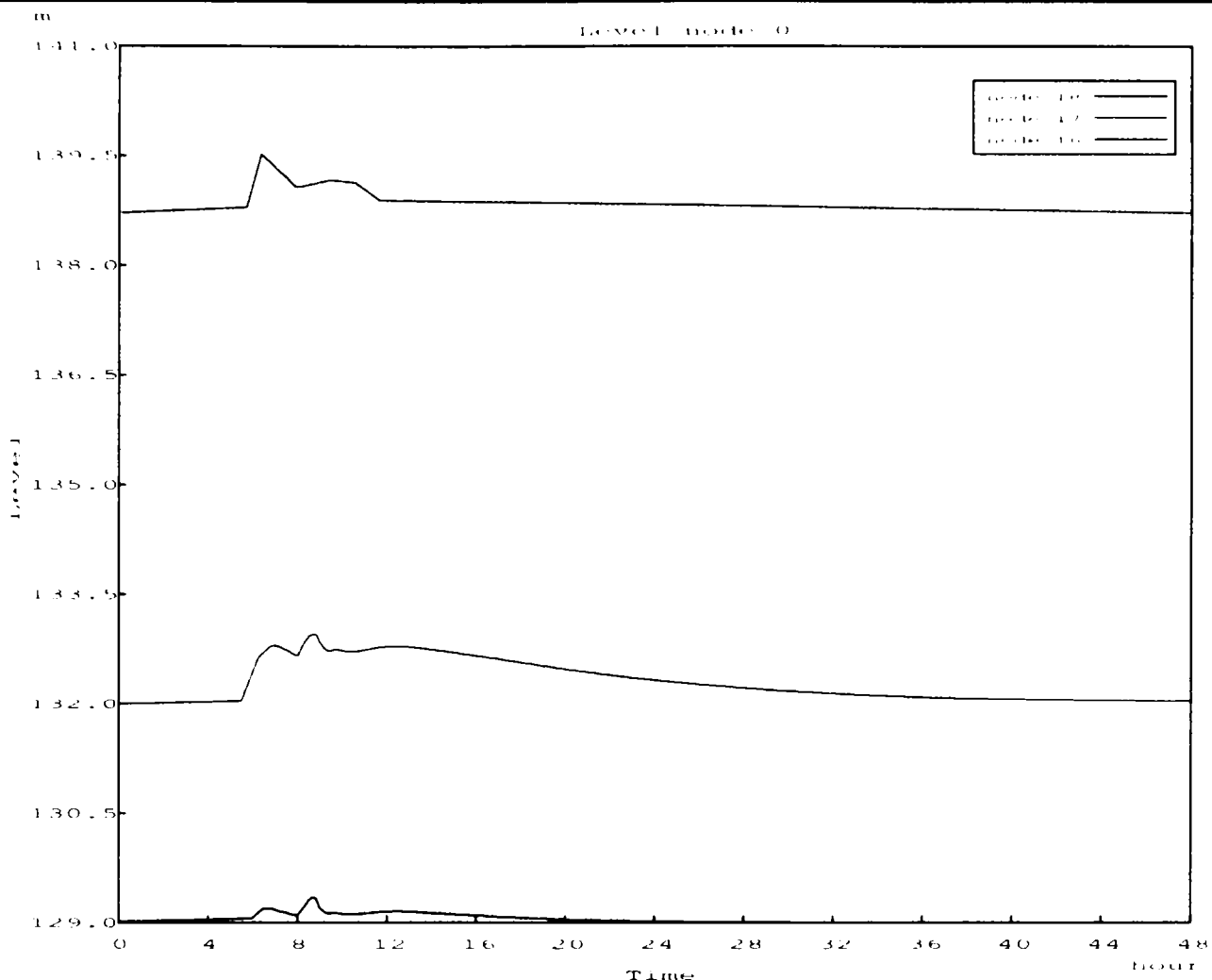


Fig. 4.27 Variația nivelelor de apă în nodurile 16, 17 și 18 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 60 minute

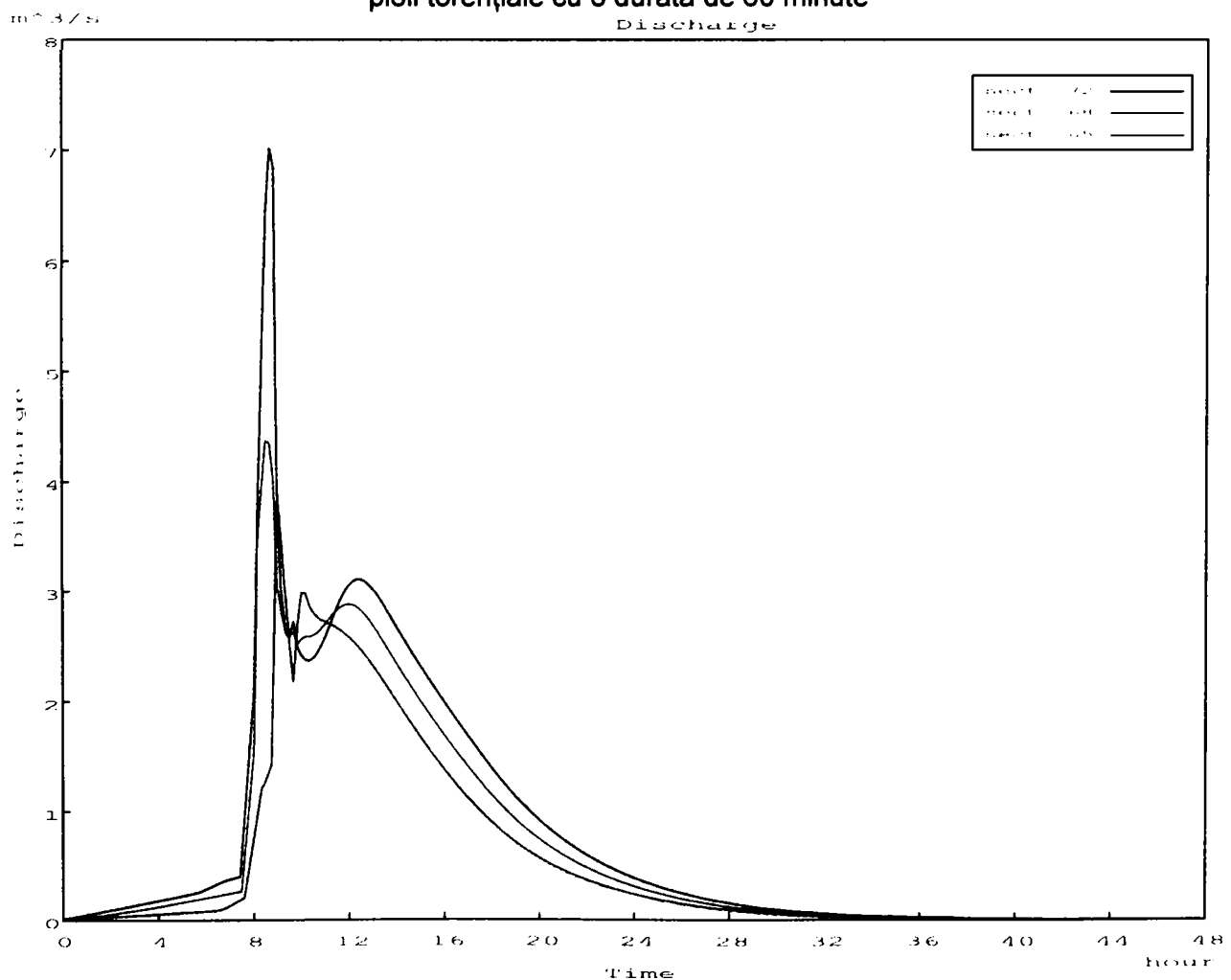


Fig. 4.28 Variația debitelor de apă pe tronsoanele 65, 68 și 72 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 60 minute

Din analiza rezultatelor se observă că în toate cazurile hidrograful debitelor este de tip biundă, cu prima undă având un debit aproape dublu ca valoare față de unda a doua undă. Durata undelor de viitură este de aproximativ 12 ore în toate cele 4 ipoteze. La momentul de început al modelării s-a considerat că albia este aproape secată.

Valorile debitelor maxime și momentul producerii lor de la începutul ploilor torențiale în nodul 18 (secțiunea de ieșire) sunt prezentate în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5

Durata și intensitatea ploii	$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)	T (ore)
5 min 3 mm/min	5,30	8
15 min 1,55 mm/min	6,20	7,8
30 min 0,96 mm/min	6,90	8
60 min 0,7 mm/min	7,10	9

Valorile debitelor nu sunt foarte mari deoarece bazinul hidrografic este îngust și are o formă alungită și, deși am presupus situația cea mai dezavantajoasă, adică precipitațiile torențiale acoperă în întregime suprafața bazinului de recepție cu aceeași intensitate, se produc întârzieri mari în propagarea undelor de viitură.

Variația nivelelor în secțiunea 18 nu este foarte mare, secțiunea de curgere fiind destul de lată.

#### 4.2.3 Aplicarea modelului PROPRIU

Modelul PROPRIU s-a dedus prin metoda dezvoltării corelațiilor neliniare multiple dintre caracteristicile versanților, a ploilor torențiale și a rezultatelor modelării cu modelul WEPP pe 40 de versanți aleși întâmplător din cei 184 existenți în bazinul hidrografic studiat. Folosințele versanților au fost: pășune bine încheată, pășune parțial degradată, plante prășitoare și plante păioase. Dintre folosințe lipsește pădurea, deoarece pe versanții acoperiți de păduri bine dezvoltate nu se produc scurgeri solide însemnate.

Calcululele pentru deducerea modelului sunt cuprinse în anexa nr.7.

Relația găsită este de forma:

$$E = \alpha \cdot L^a \cdot I^b \cdot i^c \quad (4.1)$$

unde: E – pierderea de sol (t/ha);  $\alpha$  – coeficient; L – lungimea medie a versantului (m), I – panta medie a versantului, i – intensitatea ploii torențiale (mm/min), a, b, c – parametrii.

Valorile parametrilor sunt:

Tabelul 4.6

Folosință	$\alpha$	a	b	c
pășune păioase	1	- 0,95	1,06	- 0,78
pășune parțial degradată	1	- 0,27	1,75	- 3,42
prășitoare	1	- 0,6	1,84	- 4,11

Se observă că pentru pășune și păioase valorile sunt aceleași.

Relațiile găsite sunt valabile pentru o ploaie torențială de intensitate  $i = 3$  mm/min și o durată de 5 minute, în condițiile bazinului hidrografic studiat. Prin acest procedeu se pot găsi relații similare pentru alte intensități sau durate ale ploilor torențiale, care se pot aplica bazinelor hidrografice similare.

Relațiile găsite s-au verificat pentru alți 41 de versanți aleși întâmplător. Calculele sunt prezentate în anexa nr. 8, iar comparațiile dintre valori în figurile 4.29, 4.30 și 4.31. Se poate vedea că diferențele dintre valorile pierderilor specifice de sol de pe versanți rezultate din WEPP și valorile calculate cu formula 4.1 sunt foarte mici.

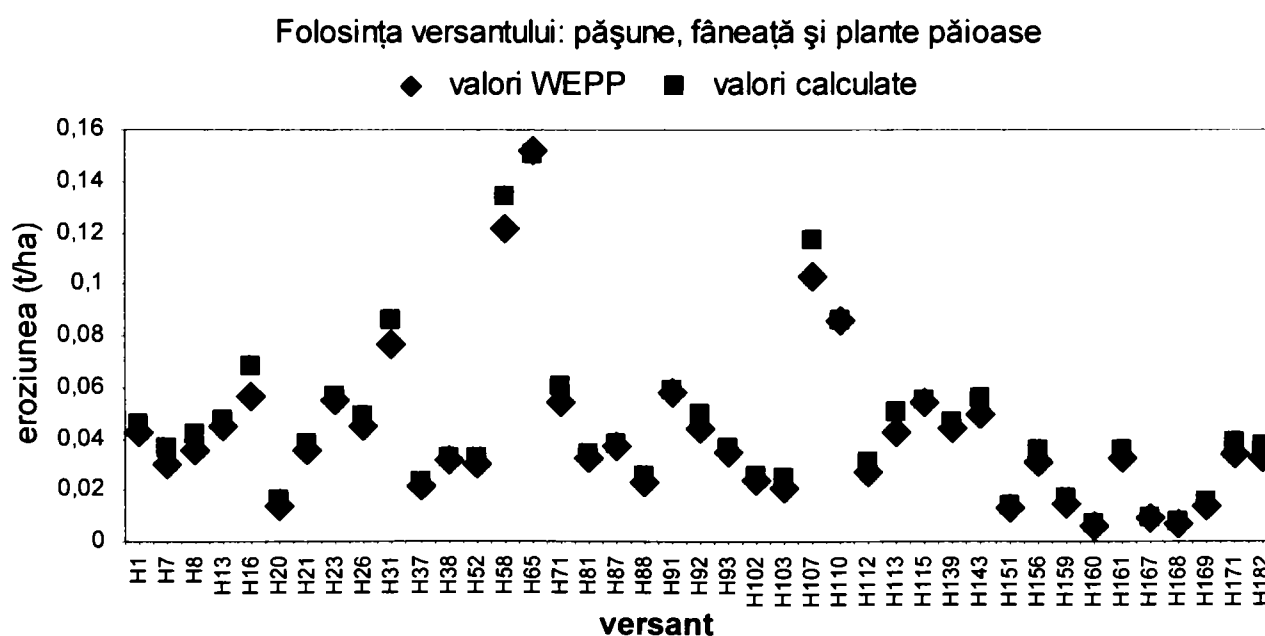


Fig.4.29 Rezultatele verificării modelului PROPRIU pentru folosințele pășune, fâneată și păioase

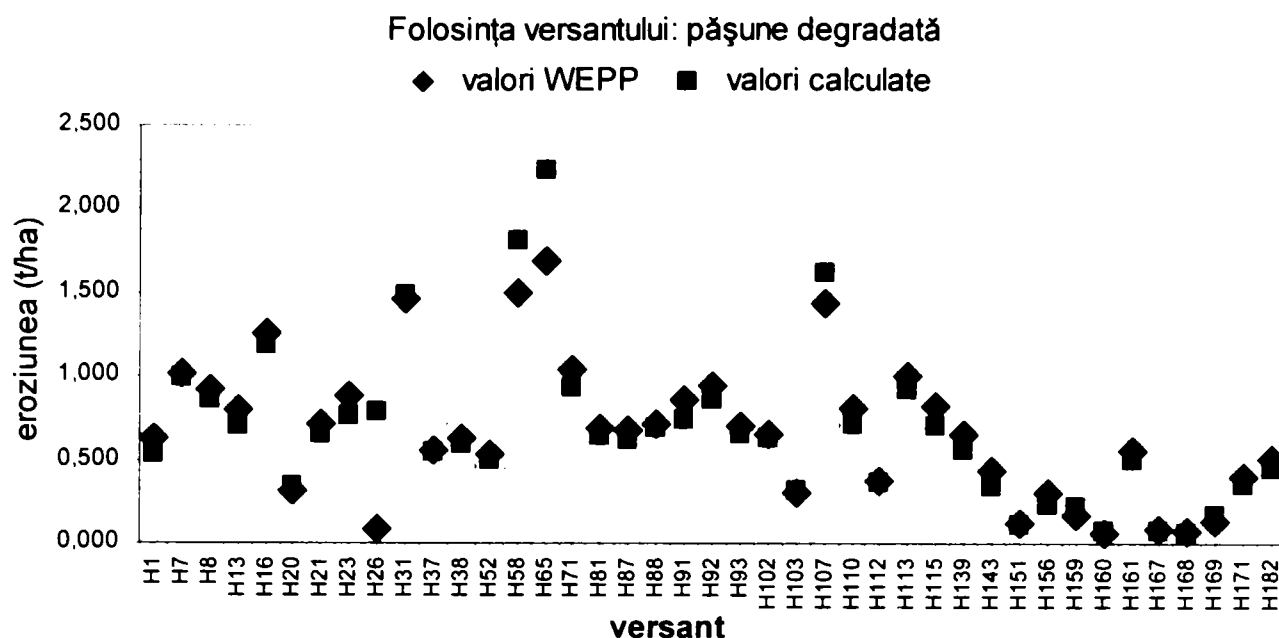


Fig.4.30 Rezultatele verificării modelului PROPRIU pentru folosința pășune degradată parțial

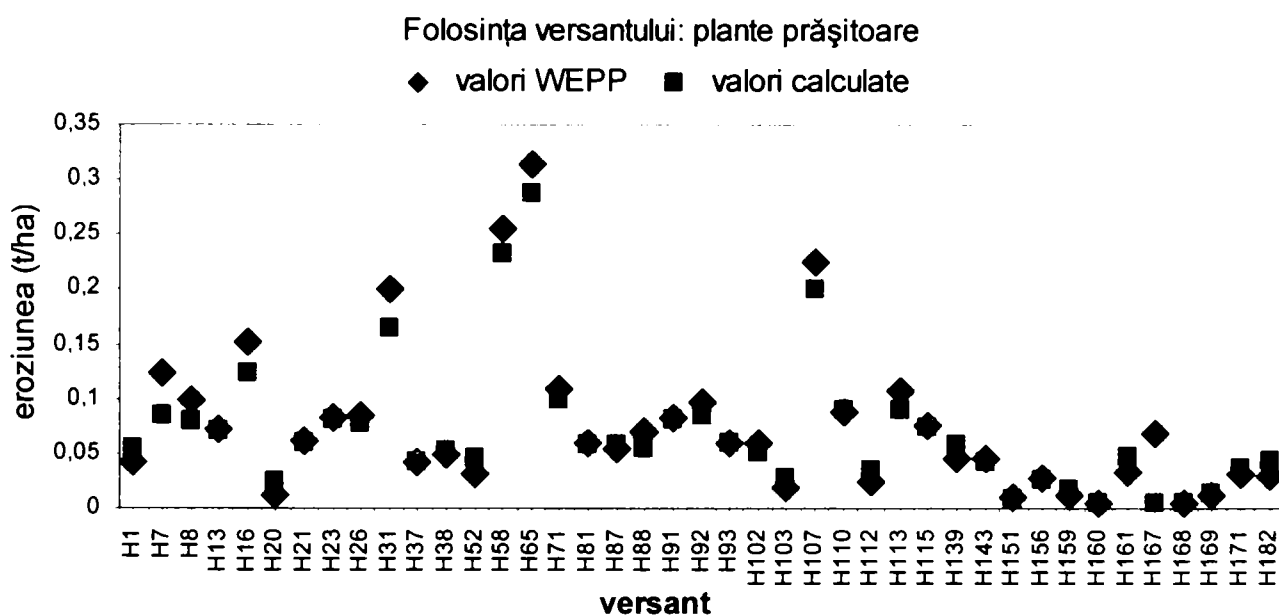


Fig.4.31 Rezultatele verificării modelului PROPRIU pentru folosința plante prășitoare

### 4.3 Concluzii, recomandări

Analizând rezultatele studiului de caz, se observă că bazinul hidrografic studiat este o zonă cu eroziuni de suprafață moderat - puternice. Se produc pierderi de sol de 10 – 15 t/ha.an, ceea ce conduce pe de o parte, la scăderea eficienței de utilizare a terenurilor ca suprafețe agricole sau pășuni, iar pe de altă parte, contribuie la poluarea apei râului Bega (care este cea mai importantă sursă de apă potabilă a municipiului Timișoara, cu o populație de cca. 320 000 de locuitori) cu materii aluvionare în suspensie și cu substanțe chimice spălate de pe versanți.



De asemenea, Valea Topla are un aport important de debite în perioadele de ape mari.

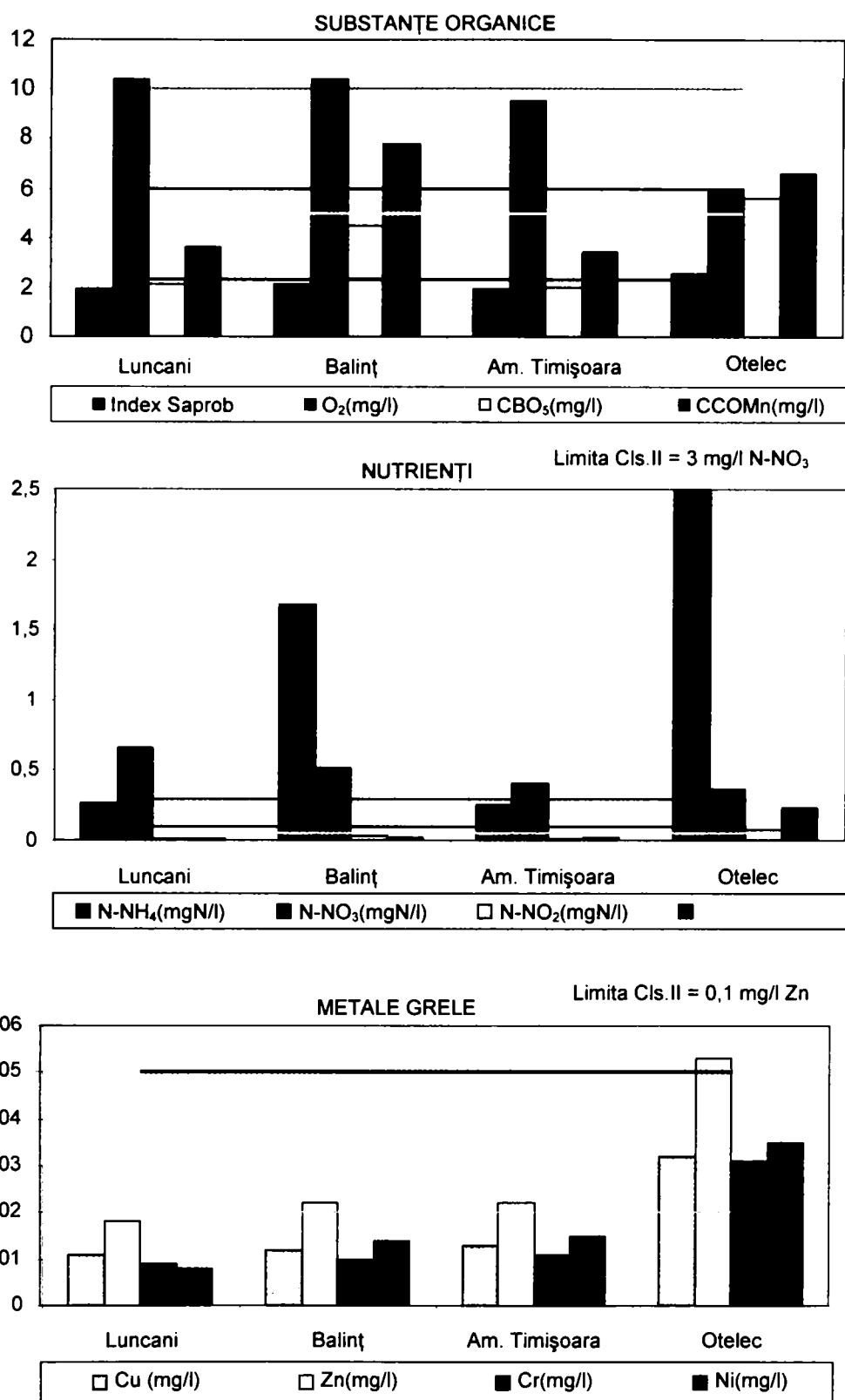


Figura 4.32 – Evoluția spațială a concentrațiilor de substanțe organice, nutrienți și metale grele pe râul Bega

Se poate aprecia, pe baza datelor măsurate (fig. 4.3 și 4.4) și a modelării proceselor de eroziune, că aluviunile provenite de pe versanții bazinului hidrografic Valea Topla contribuie cu cca. 2,20 % la cantitatea de aluviuni în suspensie din râul

Bega. Având în vedere și poluarea difuză asociată cu sedimentele ale cursului de apă Bega (fig. 4.32, sursă date Direcția Apelor Banat), se poate spune că Valea Topla contribuie la această poluare în aceeași proporție (cca. 2,20 %).

Substanțele poluante provin din fondul natural (poluarea de fond), din substanțele chimice utilizate în agricultură (îngrășăminte chimice, erbicide, insecticide, fungicide etc) și din dejecțiile animaliere. Aceste surse de poluare difuză trebuie evaluate în corelație cu nivelul de utilizare a terenului, iar efectele poluării sunt în primul rând eutrofizarea și deteriorarea calității apei râului Bega.

Consumul anual de îngrășăminte chimice bazate pe azot și fosfor este în bazinul hidrografic al râului Bega de cca. 3,40 kg P/ha și 11,99 kg N/ha teren agricol, iar consumul anual de pesticide este de cca. 0,22 kg/ha teren agricol. În bazinul hidrografic al râului Bega s-a inventariat o densitate de 0.24 vaci echivalente/ha teren agricol (sursă date Direcția Apelor Banat).

În zona studiată apa râului Bega se află la limita stării bune a apelor (calitatea a II –a), din punct de vedere chimic este de calitate moderată, iar din punct de vedere ecologic este de calitate bună.

Din aceste motive pentru zona respectivă și pentru alte zone aflate în condiții similare e nevoie de realizarea de cercetări și studii pentru cunoașterea cauzelor, evoluției și efectelor scurgerilor solide asupra mediului. Aceste cercetări presupun realizarea sau reactualizarea studiilor topografice, geomorfologice, climatice, pedologice, referitoare la eroziune și alte procese de degradare, hidrologice, hidrogeologice, geotehnice, asupra vegetației și social – economice.

Pe baza acestor studii se pot realiza modele de prognoză a evoluției și efectelor scurgerilor solide. Etapele dezvoltării unui astfel de model pot fi următoarele:

- efectuarea studiilor amintite mai sus
- stabilirea unui stadiu inițial al stării bazinului hidrografic, la care se vor raporta rezultatele ulterioare
- modelarea proceselor de eroziune de pe versanți cu unul din modelele de prognoză prezentate la capitolul 2 (WEPP; RUSLE; CREAMS etc) în diferite ipoteze de folosințe ale terenurilor
- modelarea scurgerilor lichide și solide din albiile rețelei hidrografice (DUFLOW; SMS; HEC etc).

O observație critică asupra modelelor WEPP și DUFLOW este aceea că ele se pot aplica numai pentru bazine hidrografice mici, modelele putând utiliza doar un

singur fișier cu caracteristici climatice, adică același tip de ploaie sau ploi torențiale pe întreg bazinul hidrografic (aceeași intensitate și durată). Pentru bazine hidrografice mai mari e nevoie de împărțirea acestora în subbazine mai mici, fiecare subbazin având aceleași caracteristici ale precipitațiilor, dar timpi de asociere diferiți; iar pentru a obține hidrografele de debite și nivele și variația concentrației materialelor în suspensie în secțiunea de ieșire din bazin e nevoie de integrarea scurgerii pe întreg bazinul hidrografic.

Modelul WEPP poate realiza și modelarea proceselor de eroziune de pe versanți și pentru mai mulți ani, pentru aceasta e nevoie, pe lângă caracteristicile topografice, și de cunoașterea în amănunt a caracteristicilor climatice ale zonei respective (temperatura medie anuală și multianuală, precipitațiile anuale, intensitatea ploilor torențiale, grosimea medie a stratului de zăpadă, direcția vânturilor dominante etc) și a folosințelor terenurilor prognozate pentru fiecare an al simulării.

Pe baza rezultatelor obținute se poate stabili organizarea teritoriului, care are în vedere situația actuală a zonei și perspectivele acesteia și pune în acord interesele tuturor factorilor interesați din zonă (factorul uman, mediul, factorul economic etc). De asemenea se pot stabili măsurile antierozionale (agrotehnice, silvice, hidrotehnice; structurale și non-structurale) eficiente atât din punct de vedere tehnic, cât și economic, necesare reducerii efectelor proceselor de eroziune și a scurgerilor solide.

## ***Capitolul 5***

### ***Concluzii***

5.1 Contribuții personale

5.2 Perspective și propuneri de cercetare pentru viitor

## 5.1 Contribuții personale

### Capitolul 1

- Sistematizarea cauzelor proceselor de eroziune și a formelor de eroziune produse de apă pe versanții bazinului hidrografic

Formele de eroziune sistematizate reprezintă componentele eroziunii accelerate, care, datorită faptului că se manifestă în urma dezechilibrului natural produs prin acțiunile omului, ce devine factorul hotărâtor în declanșarea și desfășurarea sa, mai poartă denumirea de eroziune antropică.

Tot în cadrul formelor de eroziune hidrică intră și formele eroziunii geologice vechi (văiușă, vâlceaua, viroaga și valea râului), care au determinat forma actuală a rețelelor hidrografice permanente, a căror evoluție este și ea influențată de activitățile umane, prin modificarea regimului nivelelor și debitelor cursurilor de apă (datorită realizării diverselor amenajări hidrotehnice).

- Analizarea metodelor și modelelor de studiu ale scurgerii solide

În urma analizării acestor metode și modele de studiu, se poate desprinde concluzia că cele mai potrivite dintre acestea pentru studiul proceselor de eroziune în bazinele hidrografice sunt modelele hidraulice și modelele hidrologice, deoarece ele corespund cel mai mult necesității modelării sistemului hidrologic, necesitate care rezultă din nevoile de cunoaștere a parametrilor care caracterizează fenomenele de scurgeri solide, în vederea stabilirii măsurilor și metodelor de protecție a mediului împotriva efectelor negative ale acestora. Metodele teoretice, experimentale și mixte sunt aplicabile mai ales pentru studiul mișcării fluidelor polifazice în conducte sau canale.

- Definirea necesității studierii mai aprofundate a cauzelor și efectelor proceselor legate de scurgerile solide.

Se pune accent la ora actuală pe realizarea unei dezvoltări durabile, adică satisfacerea nevoilor generațiilor actuale, fără a periclita posibilitatea generațiilor următoare de a-și satisface propriile nevoi. Din acest motiv, datorită ritmului de desfășurare și a efectelor lor, procese de eroziune atrag atenția și pot deveni alarmante, prin crearea unor probleme grave sociale și economice; în condițiile în

care creșterea rapidă a populației planetei impune o exigență deosebită în conservarea resurselor naturale.

## Capitolul 2

- Analizarea formării, structurii și proprietăților aluviunilor; cauzelor formării scurgerilor solide

Factorii care influențează dezvoltarea eroziunii sunt: clima (precipitațiile, vântul, temperatura), relieful, solul, vegetația, factorii litologici sau roca de bază și factorii social - economici (factori antropici). Variația mare a acestor factori face ca eroziunea să capete forme și grade de intensitate diferite de la o regiune la alta. Dintre factorii climatici, acțiunea cea mai viguroasă o au precipitațiile (torențiale), deoarece ele determină volumul scurgerilor și cel al eroziunii. Dintre factorii naturali, relieful are rolul cel mai important în declanșarea și întreținerea eroziunii.

Structura aluviunilor are importanță mai ales pentru studiul transportului aluvionar în albie, analizându-se separat mișcarea aluviunilor prin târâre și rostogolire (aluviuni de fund) și mișcarea aluviunilor în suspensie, cu toate că nu există o delimitare precisă între aceste două tipuri de mișcare a aluviunilor, ele depinzând de viteza apei și de regimul de curgere.

Proprietățile aluviunilor diferă funcție de materialul particulelor de sol: materiale coezive (argiloase și lutoase) și materiale necoezive (nisipoase și prăfoase). Aceste proprietăți prezintă importanță pentru modul de gospodărire a debitelor solide, pentru modul de utilizare a materialelor din depozitele aluvionare.

- Sistematizarea forțelor care determină mișcarea particulelor aluvionare în curentul de apă

În urma acestei analize, a rezultat o clasificare a acestor forțe în forțe masice (proporționale cu masa particulelor) și forțe de suprafață (proporționale cu mărimea particulelor).

- Analizarea mișcării particulelor aluvionare în funcție de natura materialului lor

Fenomenele aluvionare se caracterizează prin trei faze distincte: antrenare, transport și depunere. Antrenarea particulelor se studiază în două variante: antrenarea particulelor izolate (cu metode bazate pe viteza critică de antrenare sau pe efortul tangențial critic de antrenare) și antrenarea particulelor în masă.

Sedimentarea particulelor aluvionare are loc atunci când viteza apei scade sub viteza critică de sedimentare.

Această analiză e necesară la proiectarea lucrărilor hidrotehnice situate atât pe versanții bazinului hidrografic, cât și pe ravene și în cursurile de apă, pentru a putea determina zonele unde se așteaptă eroziuni accelerate sau depuneri masive și de a putea lua măsurile necesare pentru reducerea efectelor negative ale acestora.

- Analizarea, selectarea și sistematizarea modelelor matematice ale scurgerii lichide pe versanți, cu domeniile lor de aplicabilitate pentru studiul proceselor legate de scurgerile solide

Din analiza modelelor matematice ale scurgerii lichide pe versanți, a rezultat că cele mai potrivite pentru studiul scurgerii solide sunt modelul de tip fiziografic (model unidimensional, se bazează pe un set de ecuații simplificate obținute pentru anumite restricții impuse mișcării apei pe versant); modelul hidrodinamic complex al scurgerii pe versant (model unidimensional care se bazează pe ipoteza că stratul vegetal care acoperă versantul poate fi asimilat cu un strat poros cu o permeabilitate și porozitate mare) și modelul bidimensional al scurgerii de suprafață pe versant (acesta aproximează cel mai bine fenomenul fizic al formării scurgerii pe versanți, a condus la rezultate comparabile cu cele obținute pe cale experimentală sau în teren). Modelele unidimensionale au, pe lângă dezavantaje, și un avantaj, care constă în timpul de calcul mult mai mic, ele fiind prima aproximație a modelelor bidimensionale.

Aplicarea uneia sau alteia dintre aceste modele depinde de importanța fenomenului studiat și de gradul de acuratețe dorit al rezultatelor.

- Analizarea evoluției modelelor de calcul a pierderilor de sol prin eroziunea hidrică de pe versanții bazinului hidrografic, cu observații referitoare la modul de dezvoltare a lor

Majoritatea modelelor au fost dezvoltate pentru versanți cu folosință agricolă, viticolă, pomicolă, fânețe sau pentru pășuni, mai puțin pentru versanți împăduși. Toate relațiile au fost deduse pe bază de măsurători pe parcele experimentale, stabilindu-se corelațiile existente între diferiți factori, expresiile matematice ale corelațiilor găsite fiind limitate de condițiile efectuării măsurătorilor. Din această cauză aplicarea acestor formule nu este indicată pentru alte bazine, decât pentru bazinele aflate în condiții similare cu cele pentru care s-au dezvoltat.

La ora actuală, majoritatea modelelor de prognoză a eroziunii solului folosite pe plan mondial se bazează pe ecuația universală a pierderilor de sol (USLE) și pe ecuația universală revizuită a pierderilor de sol (RUSLE). Factorii care intervin în aceste ecuații se determină diferit pentru fiecare bazin hidrografic studiat (în funcție de condițiile locale).

Modelul cel mai ușor de utilizat este formula lui Wischmeier (1960) din care derivă și formula lui Moțoc (1970), aplicabil cu rezultate bune pentru România.

- Gruparea și analizarea modelelor de calcul a scurgerilor solide pe versanți, pe zone de aplicabilitate (zone montane, de deal, terenuri agricole, bazine hidrografice cu diferite suprafețe)

O parte din aceste modele se bazează pe relații direct înlocuibile, care dau debitul maxim al scurgerii de suprafață, înălțimea ploii în exces, cantitatea totală de sedimente transportate de scurgerea de suprafață pentru una sau mai multe ploi torențiale. O altă parte, în schimb, se bazează pe ecuații cu derivate parțiale ce descriu mișcările fazei lichide și solide pe versant, ele necesitând condiții la limită sau condiții inițiale, a căror rezolvare se poate face cu diverse metode numerice.

- Analizarea modelelor scurgerilor solide și lichide în albiile rețelei hidrografice, în cazurile uni, bi și tridimensional

Aceste modele au importanță pentru calculul debitului solid în diferite secțiuni ale rețelei hidrografice, pentru modelarea și prognoza fenomenelor de eroziune din albiile. Aplicarea uneia sau alteia dintre ele depinde de caracteristicile fenomenului studiat, de regimul de curgere și de precizia dorită a rezultatelor obținute.

- Sistematizarea și analizarea evoluției formulelor de calcul a debitului solid târât, în suspensie și total

Alegerea formulelor care vor fi aplicate pentru calculul debitului solid în anumite secțiuni al unui curs de apă depinde de caracteristicile particulelor aluvionare, de regimul de curgere al apei și de precizia dorită a rezultatelor; aceste debite reprezentând de fapt pierderile de sol de pe versanții bazinului hidrografic și cantitatea de sedimente provenite din albiile rețelei hidrografice.

- Studiarea modelelor de prognoză a proceselor erozionale testate și folosite la ora actuală



La ora actuală, pentru prognoza fenomenelor erozionale, există pe plan mondial o serie de modele (CREAMS, EPIC, ANSWERS, WEPP, USLE, RUSLE, PERFECT, SLEMSA, MODANSW, SWERB, GUESS etc.) dezvoltate recent, dar care nu îndeplinesc nici una toate cerințele unui model de prognoză complex (să elaboreze prognoze pe termen lung, să compare eficiența diferitelor moduri de folosință a terenului, să compare efectele date de diferiți factori de mediu și să prognozeze și efectele acestor procese asupra bazinului hidrografic). Alegerea modelului de prognoză depinde de scopul prognozei, perioada de timp pe care se dorește prognozarea și de particularitățile fenomenului studiat. Cel mai complet (după unii specialiști) este modelul WEPP, care este supus continuu îmbunătățirii. Pentru toate modelele sunt disponibile softuri.

- Elaborarea unui procedeu de calcul rapid al pierderilor de sol de pe versanți în urma unei ploi torențiale.

S-a găsit o formulă de calcul a pierderilor de sol de pe un versant (din bazinul hidrografic studiat) în urma unei ploi torențiale de intensitate de calcul 3 mm/min și o durată de 5 min, în funcție de panta, lungimea și intensitatea ploii.

### Capitolul 3

- Gruparea, sistematizarea și analizarea efectelor scurgerilor solide: efecte negative sau pozitive, efecte pe versant și efecte în albie

Această analiză este necesară pentru a se ști dacă, unde și cum trebuie intervenit pentru reducerea efectelor negative ale scurgerilor solide. De exemplu, dacă efectul negativ apare pe versant, trebuie intervenit pe versant cu măsuri de combatere a proceselor de eroziune, de suprafață și de adâncime, a solului. Dacă, în schimb, efectul negativ apare în albia cursurilor de apă, trebuie intervenit cu măsuri de reducere și protecție și asupra versanților și asupra cursului de apă (albiei).

- Elaborarea unui model de evaluare a impactului scurgerilor solide asupra mediului

Modelul de evaluare se bazează pe enumerarea și estimarea cantitativă (economică) a efectelor directe ale scurgerilor solide asupra mediului (apă, aer, sol, subsol, peisaj, patrimoniu, populație), identificarea și estimarea cantitativă a efectelor indirecte posibile și estimarea calitativă a efectelor. În cazul unor studii de impact în

care se pune problema analizei eficienței unor variante de amenajare pentru diferite soluții de reducere a efectelor acțiunilor, se poate estima eficiența fiecărei astfel de variante.

- Sistematizarea soluțiilor constructive și non – constructive de reducere a efectelor negative ale scurgerilor solide asupra bazinului hidrografic

Aceste soluții au rolul de a limita și controla efectele scurgerilor solide. Trebuie menționat că nu există sau, dacă este tehnic realizabilă o soluție care să elimine total efectele scurgerilor solide, ea este foarte costisitoare, deci ineficientă economic. În alegerea soluțiilor adecvate pentru reducerea efectelor negative ale scurgerilor solide asupra bazinului hidrografic, trebuie analizată eficiența hidrologică, antierozională și economică a diverselor variante de amenajare, în funcție de riscul producerii unor pagube majore datorită proceselor erozionale. În funcție de această analiză se poate opta pentru realizarea integrală sau etapizată a amenajărilor de reducere a efectelor scurgerilor solide. Soluțiile cele mai costisitoare sunt cele structurale și reprezintă intervenții mai brutale asupra mediului, soluțiile non-structurale sunt mai acceptabile din acest punct de vedere. La ora actuală, în statele dezvoltate, se încearcă reducerea ponderii soluțiilor constructive, în favoarea celor non - constructive.

- Evaluarea eficienței măsurilor de amenajare pentru reducerea efectelor negative ale scurgerilor solide

S-a analizat eficiența hidrologică și antierozională a amenajărilor pentru combaterea și reducerea efectelor proceselor de eroziune pe versanții bazinului hidrografic.

### **Capitolul 4**

S-a realizat un studiu de caz pentru un subbazin aparținând bazinului hidrografic al râului Bega, subbazin afectat puternic de procese de eroziune. În cadrul acestui studiu s-a realizat:

- Modelarea tridimensională a subbazinului hidrografic studiat, cu ajutorul programului SURFER.
- Determinarea pierderilor de sol și evoluția pantei versanților pentru fiecare versant cu ajutorul modelului WEPP, în patru ipoteze de producere a precipitațiilor torențiale.

- Estimarea hidrografelor debitelor și nivelelor în diferite secțiuni ale cursului de apă Topla, în patru ipoteze de producere a ploilor torențiale, cu ajutorul modelului DUFLOW.
- Verificarea procedurii de calcul rapid dedus în capitolul 2
- Analizarea rezultatelor studiului de caz, concluzii, recomandări.

### 5.2 Perspective și propuneri de cercetare pentru viitor

Pe viitor, cercetarea în domeniul eroziunii solului și a fenomenelor legate de scurgerile solide, trebuie să se axeze pe următoarele aspecte:

**1. Utilizarea sistemelor geoinformaționale (GIS)** în studierea fenomenelor legate de scurgerile solide în bazinele hidrografice - e necesară datorită posibilităților oferite pentru analiza multitudinii de factori care intervin în declanșarea și desfășurarea proceselor erozionale (mai ales a factorilor legați de topografia terenului), a costurilor ridicate și a timpului mai îndelungat necesare pentru monitoringul lor prin alte metode, mai ales pe suprafețe întinse. De asemenea, sistemele GIS permit achiziția, stocarea și prelucrarea datelor care caracterizează în orice moment starea și evoluția proceselor de degradare a terenurilor datorită eroziunii hidrice și eoliene. Astfel se permite factorilor de decizie să adopte unele măsuri în timp util în legătură cu:

- folosirea rațională a terenurilor afectate de procese de eroziune
- reducerea proceselor de eroziune în limite admisibile
- asigurarea unui control permanent al scurgerilor de suprafață de pe versanți și a celor concentrate în rețeaua formațiunilor torențiale
- diminuarea și controlul procesului de poluare a cursurilor de apă cu substanțe chimice provenite de pe terenurile în pantă
- reducerea ritmului de colmatare și poluare a lacurilor de acumulare prin aluviunile și substanțele chimice spălate de pe versanți
- evitarea inundării unor terenuri și obiective social – economice situate la baza versanților și de-a lungul cursurilor de apă

datorită colmatării lucrărilor hidrotehnice de atenuare a undelor de viitură.

**2. Diversificarea metodelor de achiziție și prelucrare a datelor din teren** pentru creșterea preciziei cercetărilor asupra modificării cantitative și calitative ale elementelor spațiului hidrografic datorită proceselor de eroziune. Astfel de metode sunt fotogrammetria și teledetecția, ele contribuie la actualizarea permanentă a bazelor de date.

**3. Dezvoltarea permanentă a modelelor** utilizate pentru prognozarea fenomenelor erozionale, crearea unui model de prognoză care să satisfacă toate cerințele unui model complex de prognoză.

**4. Crearea unor colective multidisciplinare** pentru modelarea proceselor hidrologice, pedologice și de erozionale pe versanți, dat fiind faptul că dezvoltarea unui model al proceselor complexe care se petrec pe versanți presupune un compromis între acele procese care se doresc a fi încorporate în model și acele procese care se cunosc din datele disponibile.

**5. Necesitatea dezvoltării unui model tridimensional** al scurgerii de suprafață care să se apropie cât mai mult de fenomenul fizic al scurgerii pe versant și pe baza căruia să se realizeze modelul hidrologic fizic fundamental al bazinului hidrografic.

**6. Studiarea interacțiunilor de natură fizico – mecanică** a aluviunilor din curentul de apă, care influențează dinamica anumitor poluanți; e necesară includerea acestor interacțiuni în modelele de calitate a apelor și în monitoringul integrat al calității apelor.

**7. Crearea unor bazine hidrografice experimentale reprezentative** (bazine hidrografice mici) pe care să se studieze cauzele, modalitățile de manifestare și efectele scurgerilor solide; de asemenea, să existe posibilitatea testării eficienței diferitelor măsuri de reducere a efectelor scurgerilor solide. Aceste bazine experimentale trebuie să fie dotate cu o rețea suficient de densă de puncte de urmărire a evoluției proceselor de eroziune (posturi hidrometrice – în care să se urmărească pe lângă debite lichide și solide, niveluri de apă și evoluția calității apei - meteorologice, profile de sol etalon etc.).

## **BIBLIOGRAFIE**

- Bagnold, R.A. – „An approach to the sediment transport problem from general physics”, US Geological Survey, 1966
- Bagnold, R.A. – „Bed load transport by natural rivers”, Water Resources Research, nr.13, 1977
- Băloiu, V. – „Combaterea eroziunii solului și regularizarea cursurilor de apă”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1967
- Bâcov, A. – „Amenajarea hidrotehnică antierozională a versanților”, Editura Mirton, Timișoara, 1996
- Bâcov, A. – „Combaterea eroziunii solului”, Curs litografiat, IPTV Timișoara, 1978
- Bâcov, A., Guțiu, S., Fülöp, E. – „Îndrumător pentru proiectarea lucrărilor de combaterea eroziunii solului”, IPTV Timișoara, 1988
- Beilicci, E.; Beilicci R. – „Evaluarea scurgerii solide pe un bazin hidrografic”, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Tom 49(63), Fascicula 1, 2005
- Beilicci, E.; Bisztriczki, M.; Beilicci, R. – „Sediment yield from watersheds hillslopes”, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Tom 49(63), Fascicula 1,2, 2004
- Beilicci, E.; Roșu, C.; Beilicci, R. – „Metodologia de evaluare a impactului scurgerilor solide asupra mediului”, Simpozion „Ziua apei”, Timișoara, 2004
- Bennett, J.P. – „Concepts of mathematical modelling of sediment yield”, Water Resources Research, nr.10, 1974
- Berar, U.; Ionescu, V.; Giurma, I.; Ionescu, V. – „Modele matematice pentru combaterea eroziunii solului”, Junimea, București, 1983
- Carvalho, N.O. – „Hidrosedimentologia practica”, CPRM, Electrobas, Brasil, 1994
- Chanson, H. – „The hydraulics of open channel flow”, Arnold, UK, 1999
- Chaudhry, H.– „Open Channel Flow”, Prentice Hall, New Jersey, 1993
- Cheng, K.J. – „An integrated suspended load equation for nonequilibrium transport of non-uniform sediment”, Journal of Hydrology, nr.79, 1985
- Chiriac, V.; Filott, A.; Teodorescu, I. – „Lacuri de acumulare”, Editura Ceres, București, 1976

- Chow, W.T. – „Open channel hydraulics”, Mc Graw - Hill, New York, 1959
- Chow, W.T. – „Open Channel Hydraulics”, Mc Graw - Hill, New York, 1981
- Cioc, D. – „Hidraulică”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975
- Clark, E.M.; Haverkamp, J.A.; Chapman, W. – „Eroding soils. The off – farm impacts”, The Conservation Foundation, Washington DC, 1985
- Crețu, Gh. – „Economia apelor”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1976
- Crețu, Gh. – „Hidrologie și hidrogeologie”, curs litografiat IPTV Timișoara, 1978
- David, I. – „Hidraulică”, Curs litografiat IPTV Timișoara, 1990
- David, I.; Șumălan, I. – „Metode numerice cu aplicații în hidrotehnică”, Editura Mirton, Timișoara, 1998
- DeVantier, B.A.; Narayanaswami, R. – „A  $k - \epsilon$  based model for sediment transport”, Third International Symposium on River Sedimentation, vol. III, The University of Mississippi, March 31 – April 4, 1986
- Di Silvio, G. – „Soil erosion and conservation –lecture notes, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft, The Netherlands, 1998
- Diaconu, S. – „Cursuri de apă, amenajare, impact, reabilitare”, Editura H\*G\*A\* București, 1999
- Djordjevic, B.; Bruk, S. – „System approach to the selection of priority areas of erosion control, with emphasis on the implications of the water resources subsystem”, International Symposium on the transport of suspended sediments and its mathematical modelling, Florence, Italy, 1991
- Drobot, R. – „Bazele statistice ale hidrologiei”, Editura Didactică și Pedagogică București, 1977
- Flanagan, D.C. – „How rainfall intensity distribution affect infiltration, runoff, soil loss and nutrient loss”, M.S. thesis, Purdue University, USA, 1986
- Flanagan, D.C.; Foster, G.R. – „Storm pattern effect on nitrogen and phosphorus losses in surface runoff”, transaction of the ASAE, vol.32, 1989
- Fleming, G.; Fattorelli, S. – „Simulation of sediment yield from alpine watersheds”, International Conference on „Agriculture and Environment”, Veneția, 11 – 12 iunie, 1984
- Florea, J.; Petrovici, T.; Robescu, D.; Stamatoiu, D. – „Dinamica fluidelor polifazice”, Editura Tehnică, București, 1989
- Florea, N.; Săvulescu, I.; Geanană, M. – „Solurile de pe glob”, Universitatea din București, 2005

- Foster, G.R. – „Process based modelling of erosion by water on agricultural land”, Soil erosion and agricultural land, 1990
- Foster, G.R. – „Modelling the erosion process”, Hydrologic modelling of small watersheds, ASAE, 1982
- Freeze, R.A. – „Role of subsurface flow in generating surface runoff”, Water Resources Research, 1972
- Frenette, M.; Julien, P.Y. – „LAVSED I – A model for predicting suspended load in northern streams”, Canadian Journal of Civil Engineering, CSCE, vol.13, 1986
- Frere, M.H.; Ross, J.D.; Lane, L.J. – „The nutrient submodel CREAMS, vol.I, Model documentation”, USDA Conservation Research Report, nr.26, 1980
- Gerard, A.J. – „Soils and landform”, George Allen & Unwin, London, 1981
- Giurma, I. – „Colmatarea lacurilor de acumulare”, Editura H\*G\*A\*, București, 1997
- Giurma, I.; Drobot, R.; Antohi, C. – „Hidrologie”, curs litografiat Institutul Politehnic Iași, 1987
- Govidanjaru, R.; Karvas, M.L. – „Modelling the erosion processes step slopes, approximate analytical solutions”, Journal of Hydrology, nr.127, 1991
- Graf, W.H. – „Hydraulics of sediment transport”, Mc Graw - Hill, New York, 1971
- Guoxiang, C., Yongdi, Y. – „Flow structure and bed load transport on plane movable bed”, Fourth International Symposium on River Sedimentation, June 5 – 9, Beijing, China, 1989
- Guțiu, S.; Fülöp E.; Bâcov, A. – „Optimizarea soluțiilor de amenajare antierozională a bazinului hidrografic Bârzava superioară, cât și impactul proceselor de eroziune asupra mediului înconjurător”, colocviu „Amenajări hidrotehnice în spațiul Caraș-Severin. Forme de conservare a naturii”, Reșița, 1995
- Guțiu, S.; Beilicci, E.; Achim, C.; Barabas, K.; Boncia, F. – „Procese de eroziune, colmatare și efectele acestora asupra calității apelor din bazinul hidrografic Bega – amonte Timișoara”, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnică, Tom 48(62), Fascicola 1, 2003
- Guțiu, S.; Barabas, K.; Boncia, F.; Beilicci, E.; Achim, C. – „Efectele proceselor de eroziune asupra calității mediului din subbazinele torențializate ale bazinului hidrografic Bega Superioară”, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnică, Tom 48(62), Fascicola 1, 2003

- Hâncu, S.; Popescu, M.; Duma, D.; Dan, P.; Rus, E.; Zaharescu, E.; Danciu, A.; Constantinescu, A. – „Hidraulică aplicată. Simularea numerică a mișcării nepermanente a fluidelor”, Editura Tehnică, București, 1985
- Hrissanthou, V. – „Computation of sediment yield from large watershed in Middle Europe”, Third International Symposium on River Sedimentation, vol. III, The University of Mississippi, March 31 – April 4, 1986
- Hug, M. – „Mecanique des fluides appliquée aux problèmes d'aménagement et d'énergétique”, Eyrolles, Paris, 1975
- Ichim, I., Rădoane, M. – „Efectele barajelor în dinamica reliefului”, Editura Academiei RSR, București, 1986
- Ichim, I.; Bătucă, D.; Rădoane, M. – „Morfologia și dinamica albiilor de râuri”, Editura Tehnică, București, 1989
- Iturbe, J.R.; Rinaldo, A. – „fractal river basins, chance and self – organization”, Cambridge University Press, 1997
- Julien, P.Y. – „Prediction d'apport solide pluvial et nival dans les cours d'eau nordiques a partir du ruissellement superficiel”, Ph.D. dissertation, Laval University, Quebec, 1982
- Julien, P.Y. – „Soil erosion losses from upland areas”, Fourth International Symposium on River Sedimentation, June 5 – 9, Beijing, China, 1989
- Julien, P.Y.; Frenette, M. – „Mapping erosion losses from large watersheds”, Fourth International Symposium on River Sedimentation, June 5 – 9, Beijing, China, 1989
- Julien, P.Y.; Frenette, M. – „Predicting washload from rainfall and snowmelt runoff”, Third International Symposium on River Sedimentation, vol. III, The University of Mississippi, March 31 – April 4, 1986
- Julien, P.Y.; Simons, D.B. – „Sediment transport capacity of overland flow”, Transactions of the ASAE, vol.23, 1985
- Krishnappan, B.G.; Ongley, E.D. – „River sediments and contaminant transport – changing needs în research”, Fourth International Symposium on River Sedimentation, June 5 – 9, Beijing, China, 1989
- Kuciment, L.S.; Trubihin, N.A. – „Dvumernaia modeli formirovania stoka na vodasbore, osnovanniea na uravnenieah, kinematiceskii volnî”, Ghidrometpentva CCCR, 1977



- Laflen, J.M.; Moldenhauer, W.C. – „The USLE story”, WASWC, 2003
- Laguna, A.; Giraldez, J.V. – „The description of soil erosion through a kinematic wave model”, Journal of Hydrology, nr.145, 1990
- Lane, L.J. – „Development of procedure to estimate runoff and sediment transport in ephemeral streams”, Exeter Symposium, IAHS, nr.137, 1982
- Lane, L.J.; Hakonson, T.E., Foster, G.R. – „Watershed erosion and sediment yield affecting contaminant transport”, USDA, ARS, 1982
- Lane, L.J.; Renard, K.G.; Foster G.R.; Laflen, M. – „Development and application of modern soil erosion prediction technology – the USDA experience”, Journal of Soil Resources, nr.30, 1992
- Lazăr, Gh., Gîrbaciu, C. – „Procedeu de simulare numerică a mișcării apei în regim nepermanent (1D) cu generarea hidrografului de viitură pe un bazin hidrografic de mică întindere”, Sesiune de comunicări „Apa și dezastrele”, 22 martie 2004, Timișoara
- Littleboy, M.; Freebairn, D.M.; Silburn, D.M.; Woodruff, D.R.; Hammer, G.L. – “PERFECT manual”, Queensland, Australia, 1999
- Lutz, W. – „ Berechnung des abflußwirksamen Niederschlages mit gebiets und ereignisabhangigen Kenngrößen”, Internationale Hydrologisches Programm, 1982
- Mac Arthur, R.C.; Schamber, D.R. – „Numerical methods for simulating mudflows”, Third International Symposium on River Sedimentation, vol. III, The University of Mississippi, March 31 – April 4, 1986
- Manrique, L.A. – „Technology for soil erosion assessment in the tropics”, Communications Soil Science PLant Analysis, nr.24, 1993
- Mantz, N.; Trăsculescu F. – „Baraje de pământ și bazine de retenție în agricultură”, Editura Agro-silvică, București, 1965
- Mateescu, C. – „Hidraulică”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1961
- Michiue, M.; Suyuki, K.; Hissokidani, O. – „Mathematical model for simulation of river morphological change”, Colloquium on „The Dynamics of alluvial rivers”, Genoa, Italy, 1985
- Morgan, R.P.C.; Quinton, J.N.; Smith, R.E.; Govers, G.; Poesen, J.W.A.; Auerswald, K.; Chisci, G.; Torri, D.; Styczen, M.E.; Folly, A.J.V. – “The European Soil Erosion Model (EUROSEM), documentation and user guide”, Silsoe College Cranfield University Silsoe, Bedford MK45 4DT United Kingdom, 1998

- Neamțu, T. – „Ecologie, eroziune și agrotehnică antierozională”, Editura Ceres, București, 1996
- Poliakov, B.V. – „Calculule hidrologice la proiectarea instalațiilor pe râuri cu bazine mici”, Editura Tehnică, București, 1953
- Popa, R. – „Elemente de hidrodinamica râurilor”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1997
- Popovici, N. – „Combaterea eroziunii solului”, curs litografiat Institutul Politehnic Iași, 1991
- Rogobete, Gh. – „Știința solului”, Universitatea Tehnică Timișoara, 1993
- Rogobete, Gh.; Țărău, D. – „Solurile și ameliorarea lor”, Editura Marineasa, Timișoara, 1997
- Roșu, C. – „Gospodărirea apelor”, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
- Roșu, C.; Crețu, Gh. – „Inundații accidentale”, Editura H\*G\*A\*, București, 1998
- Ruh-Ming, L.; Shen, H.W.; Simons, D.B. – „Mechanics of soil erosion by overland flow”, IAHR Congress XV, Turcia, 1973
- Scheuerlein, H. – „Critical review of various methods to prevent or control degradation in rivers”, Fourth International Symposium on River Sedimentation, June 5 – 9, Beijing, China, 1989
- Seteanu, I.; Erhan, M.; Marinov, A. – „Transportul aluviunilor în regim nepermanent. III. Evoluția fenomenului de pavare”, Buletin Științific – Cercetări în mecanica aplicată, TOM 40, nr.2, 1981
- Singh, V.P.; Scarlatos, P.D. – „Sediment transport in vertically two-dimensional man-made canals”, XXI IAHR Congress, Melbourne, 1985
- Smith, R.E.; Williams, G.R. – „Simulation of surface water hydrology. Creams model”, USDA Conservation Research Report 26, 1980
- Stanciu, P. – „Mișcarea apei pe versanți permeabili”, Editura H\*G\*A\*, București, 2002
- Stanciu, P.; Blidaru, S.; Drăgoi, E. – „Model matematic pentru simularea scurgerii în bazine mici”, Studii de hidrologie, vol XIV, București, 1976
- Stanciu, P.; Ene, H. – „Complex hydrodynamic model for overland runoff and small basins”, International Workshop, Strbske Plevno, Czechoslovakia, 1988
- Stănescu, V.A.; Drobot, R. – „măsurile nestructurale de gestiune a inundațiilor”, Editura H\*G\*A\*, București, 2002

- Șerban, P. – „Modele hidrologice deterministe”, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1995
- Takahashi, T., Nakagawa, H. – „Estimation of debris flow and the area of hazard for given rainfall”, XXIV IAHR Congress, Madrid, 1991
- Teodorescu, I.; Filotti, A.; Chiriac, V.; Ceașescu, V.; Florescu, A. – „Gospodărirea apelor”, Editura Ceres, București, 1973
- Varduca, D. – „Monitoringul integrat al calității apelor”, Editura H\*G\*A\*, București, 1999
- Vladimirescu, I. – „Bazele hidrologiei tehnice”, Editura Tehnică, București, 1984
- Walling, D.E. – „Erosion and sediment yield research – some recent perspectives”, Journal of Hydrology, nr.100, 1988
- Wang, S.S.Y. – „The state of the art on FE modelling of 3D sedimentation procesess”, Computational methods in surface hydrology, Springer Verlag, Berlin, 1990
- William, J.E.; Ward, A.D. – „Soil erosion and control practices”, Environmental Hydrology, Lewis Publishers, New York, 1995
- Williams, J.R. – „Sediment rounting for agricultural watersheds”, Water Resources Bulletin, vol.11, 1975
- Williams, J.R.; Dyke, P.T.; Jones, C.A. – „EPIC: a model for assessing the effects of erosion on soil productivity”, Elsevier, Amsterdam, 1983
- Wischmeier, W.H. – „Use and misuse of the USLE”, Journal of Soil Water Constitution, nr.31, 1976
- Young, R.A.; Onstad, C.A.; Anderson, W.P. – „A Technique for managing water quality on agricultural watersheds”, Fourth International Symposium on River Sedimentation, June 5 – 9, Beijing, China, 1989
- \*\*\*Conferința Internațională „Solurile și schimbarea globală – provocarea secolului 21”, Constanța, România, 3 – 6 septembrie 2002
- \*\*\*<http://www.enrin.grida.ro>, 2000
- \*\*\*<http://www.fao.org>, 2006
- \*\*\*<http://www.icpa.ro>, 2006
- \*\*\*<http://www.library.uq.edu.au>, 2005
- \*\*\*<http://www.livinglandscapes.bc.ca>, 2005
- \*\*\*<http://www.netc.net.au>, 2005
- \*\*\*<http://www.pasture.ecn.purdue.edu>, 2005

- \*\*\*<http://www.seafriends.org.net>, 2005
- \*\*\*<http://www.Soil erosion control>, 2004
- \*\*\*Oficiul de Studii Pedologice și Agrochimice Timișoara - „Studiul solurilor comunei Mănăștur, județul Timiș”, 1982
- \*\*\*DUFLOW Reference Manual, Version 3.5, Stowa / MX. System, 2002
- \*\*\*Program SURFER – Surface Mapping System, versiunea 7.0, Colorado, Golden Software, 1999
- \*\*\*WEPP User`s Manual, USDA – Ars, Purdue University, USA, 1995

## **ANEXE**

- 1 Rezultate ale aplicării modelului WEPP pe întreg bazinul hidrografic
- 2 Rezultate ale aplicării modelului WEPP pe un versant – fișier de ieșire
- 3 Variația eroziunii relative pe versanți ( modelul WEPP) - grafice
- 4 Date pentru modelul DUFLOW – rețea hidrografică
- 5 Date pentru modelul DUFLOW – secțiuni transversale
- 6 Rezultate ale aplicării modelului DUFLOW
- 7 Dezvoltarea modelului PROPRIU
- 8 Aplicarea modelului PROPRIU

**Rezultate ale aplicării modelului WEPP pe întreg bazinul hidrografic**

**ANEXA nr. 1**

VERSANT1, durata ploii 5 minute,  $i = 3$  mm/min

Versant	Arie		Lungime [m]	Lățime [m]	Folosință	Volum scurgere de suprafață [mc]	Cantitate de sol antrenat		Depuneri de particule antrenate [tone]	Cantitate de sol pierdut [tone]	Pierderi medii [tone/ha]	Albie în care se descarcă
	[ha]	[m]					[tone]	[tone]				
0	1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	
H1	7,57	188	404	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C1	
H2	15,22	184	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C1	
H3	22,78	276	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C1	
H4	4,51	274	164	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C3	
H5	2,66	96	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C3	
H6	6,31	229	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C3	
H7	30,60	405	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C2	
H8	22,98	304	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C2	
H9	1,91	170	113	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C5	
H10	4,19	94	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C5	
H11	3,33	75	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C5	
H12	32,87	467	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C4	
H13	15,82	225	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C4	
H14	5,58	125	446	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C7	
H15	23,07	301	768	pășune	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C7	
H16	16,22	211	768	pășune	231,70	0,9272	0,0000	0,0000	0,9272	0,06	C7	
H17	16,72	241	694	pășune	160,51	0,6186	0,0000	0,0000	0,6186	0,04	C6	
H18	27,99	403	694	pășune	195,93	0,7557	0,0000	0,0000	0,7557	0,03	C6	
H19	1,88	100	188	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	C9	
H20	61,26	497	1233	pășune	214,41	0,8576	0,0000	0,0000	0,8576	0,01	C9	
H21	34,47	280	1233	pășune	320,57	1,2409	0,0000	0,0000	1,2409	0,04	C9	
H22	12,68	370	342	pășune	76,08	0,2916	0,0000	0,0000	0,2916	0,02	C8	
H23	6,42	187	342	pășune	91,00	0,3569	0,0000	0,0000	0,3569	0,06	C8	
H24	5,79	309	188	pășune	33,58	0,1332	0,0000	0,0000	0,1332	0,02	C11	
H25	9,49	159	595	pășune	163,40	0,6412	0,0000	0,0000	0,6412	0,07	C11	
H26	13,95	234	595	pășune	159,30	0,6251	0,0000	0,0000	0,6251	0,04	C11	
H27	10,38	224	464	porumb/prășitoare	110,00	0,7616	0,0000	0,0000	0,7616	0,07	C10	
H28	13,45	290	464	porumb/prășitoare	115,67	1,0895	0,0000	0,0000	1,0895	0,08	C10	
H29	1,76	125	141	pășune	4,75	0,0035	0,0000	0,0000	0,0035	0,00	C13	
H30	30,61	403	759	pășune	162,23	0,6428	0,0000	0,0000	0,6428	0,02	C13	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H31	14,14	186	759	pășune	241,40	1,0912	0,0000	1,0912	0,08	C13
H32	4,75	211	225	porumb/prășitoare	33,73	0,1330	0,0000	0,1330	0,03	C12
H33	1,87	83	225	porumb/prășitoare	42,30	0,1721	0,0000	0,1721	0,09	C12
H34	6,69	264	253	pășune	221,10	3,2994	0,0000	3,2994	0,49	C15
H35	17,27	271	638	pășune	611,80	12,3030	0,0000	12,3030	0,71	C15
H36	15,54	244	638	pășune	630,20	12,4340	0,0000	12,4340	0,80	C15
H37	31,23	450	694	porumb/prășitoare	159,27	1,3429	0,0000	1,3429	0,04	C14
H38	21,47	309	694	porumb/prășitoare	158,88	1,0735	0,0000	1,0735	0,05	C14
H39	7,32	188	391	grâu/păioasă	86,40	0,3387	0,0000	0,3387	0,05	C17
H40	13,13	255	516	grâu/păioasă	133,70	0,5246	0,0000	0,5246	0,04	C17
H41	8,87	172	516	grâu/păioasă	133,70	0,5246	0,0000	0,5246	0,06	C17
H42	3,44	146	236	porumb/prășitoare	60,10	0,4442	0,0000	0,4442	0,13	C16
H43	9,54	405	236	porumb/prășitoare	46,75	0,2385	0,0000	0,2385	0,03	C16
H44	5,02	188	267	porumb/prășitoare	100,30	2,0865	0,0000	2,0865	0,42	C19
H45	2,59	83	311	porumb/prășitoare	96,70	0,9106	0,0000	0,9106	0,35	C19
H46	3,22	104	311	porumb/prășitoare	82,30	0,5749	0,0000	0,5749	0,18	C19
H47	62,18	614	1013	porumb/prășitoare	186,54	0,8083	0,0000	0,8083	0,01	C18
H48	40,82	403	1013	porumb/prășitoare	257,17	3,1431	0,0000	3,1431	0,08	C18
H49	36,65	295	1241	porumb/prășitoare	329,85	4,1781	0,0000	4,1781	0,11	C20
H50	44,22	356	1241	porumb/prășitoare	305,12	3,1396	0,0000	3,1396	0,07	C20
H51	7,16	146	492	grâu/păioasă	82,40	0,3227	0,0000	0,3227	0,05	C22
H52	13,61	277	492	grâu/păioasă	104,80	0,4083	0,0000	0,4083	0,03	C22
H53	3,61	70	514	porumb/prășitoare	88,70	0,3496	0,0000	0,3496	0,10	C24
H54	11,96	192	622	porumb/prășitoare	164,20	1,5941	0,0000	1,5941	0,13	C24
H55	13,32	214	622	porumb/prășitoare	165,60	1,7134	0,0000	1,7134	0,13	C24
H56	29,40	307	957	porumb/prășitoare	255,78	3,3222	0,0000	3,3222	0,11	C23
H57	46,66	487	957	porumb/prășitoare	219,30	1,8664	0,0000	1,8664	0,04	C23
H58	5,41	123	441	pășune degradată	393,20	8,0936	0,0000	8,0936	1,50	C26
H59	14,18	322	441	pășune degradată	444,60	11,0710	0,0000	11,0710	0,78	C26
H60	2,28	124	184	pășune degradată	153,10	2,2493	0,0000	2,2493	0,98	C27
H61	11,90	240	495	pășune degradată	623,60	20,4240	0,0000	20,4240	1,72	C27
H62	9,10	184	495	pășune degradată	576,40	16,8850	0,0000	16,8850	1,85	C27
H63	1,47	100	147	pășune degradată	104,70	1,2453	0,0000	1,2453	0,85	C28
H64	3,57	116	309	pășune degradată	283,90	7,4339	0,0000	7,4339	2,08	C28
H65	3,85	125	309	pășune degradată	286,40	6,5296	0,0000	6,5296	1,70	C28
H66	20,58	170	1211	pășune degradată	1316,80	33,7650	0,0000	33,7650	1,64	C25

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H67	45,48	376	1211	pășune degradată	1271,10	37,4500	0,0000	37,4500	0,82	C25
H68	5,05	282	179	pășune degradată	118,10	0,9912	0,0000	0,9912	0,20	C30
H69	8,07	159	506	pășune degradată	492,20	8,7795	0,0000	8,7795	1,09	C30
H70	12,44	246	506	pășune degradată	534,60	12,1330	0,0000	12,1330	0,97	C30
H71	11,35	202	563	pășune degradată	586,00	11,8910	0,0000	11,8910	1,05	C29
H72	18,56	330	563	pășune degradată	577,10	14,8050	0,0000	14,8050	0,80	C29
H73	1,98	141	141	porumb/prășitoare	15,25	0,0594	0,0000	0,0594	0,03	C32
H74	13,10	238	551	porumb/prășitoare	148,30	1,6365	0,0000	1,6365	0,12	C32
H75	12,41	225	551	porumb/prășitoare	134,20	1,0185	0,0000	1,0185	0,08	C32
H76	1,00	100	100	porumb/prășitoare	7,10	0,0280	0,0000	0,0280	0,03	C31
H77	28,04	219	1283	porumb/prășitoare	215,91	0,8412	0,0000	0,8412	0,03	C31
H78	60,66	473	1283	porumb/prășitoare	224,44	0,9099	0,0000	0,9099	0,02	C31
H79	2,12	225	94	porumb/prășitoare	18,44	0,0848	0,0000	0,0848	0,04	C21
H80	0,53	56	94	porumb/prășitoare	9,40	0,0367	0,0000	0,0367	0,07	C21
H81	14,42	311	463	grâu/păioasă	118,24	0,4759	0,0000	0,4759	0,03	C34
H82	4,64	93	501	grâu/păioasă	79,50	0,3113	0,0000	0,3113	0,07	C34
H83	10,11	202	501	grâu/păioasă	129,20	0,5066	0,0000	0,5066	0,05	C34
H84	4,82	248	194	grâu/păioasă	37,60	0,1494	0,0000	0,1494	0,03	C35
H85	3,18	86	372	grâu/păioasă	97,20	0,3811	0,0000	0,3811	0,12	C35
H86	1,71	46	372	grâu/păioasă	89,10	0,3497	0,0000	0,3497	0,20	C35
H87	14,51	265	547	porumb/prășitoare	124,79	0,7981	0,0000	0,7981	0,06	C33
H88	25,82	472	547	porumb/prășitoare	136,85	1,8332	0,0000	1,8332	0,07	C33
H89	1,52	41	370	pășune/făneată	41,30	0,1614	0,0000	0,1614	0,11	C37
H90	7,35	181	406	pășune/făneată	109,80	0,4305	0,0000	0,4305	0,06	C37
H91	7,12	175	406	pășune/făneată	104,90	0,4114	0,0000	0,4114	0,06	C37
H92	12,55	245	512	porumb/prășitoare	129,70	1,2160	0,0000	1,2160	0,10	C36
H93	14,86	290	512	porumb/prășitoare	121,85	0,9065	0,0000	0,9065	0,06	C36
H94	5,86	282	208	pășune/făneată	53,91	0,2110	0,0000	0,2110	0,04	C39
H95	2,22	107	208	pășune/făneată	55,70	0,2186	0,0000	0,2186	0,10	C39
H96	1,18	118	100	pășune/făneată	11,90	0,0463	0,0000	0,0463	0,04	C40
H97	1,43	58	248	pășune/făneată	61,40	0,2408	0,0000	0,2408	0,17	C40
H98	2,01	81	248	pășune/făneată	66,50	0,2610	0,0000	0,2610	0,13	C40
H99	2,60	137	190	pășune/făneată	11,96	0,0442	0,0000	0,0442	0,02	C41
H100	3,48	145	240	pășune/făneată	51,10	0,2003	0,0000	0,2003	0,06	C41
H101	1,65	69	240	pășune/făneată	67,00	0,2630	0,0000	0,2630	0,16	C41
H102	23,21	444	523	porumb/prășitoare	127,66	1,3926	0,0000	1,3926	0,06	C38



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H103	14,55	279	523	porumb/prășitoare	72,75	0,2910	0,0000	0,2910	0,02	C38
H104	1,84	71	257	pășune/fâneată	78,70	0,3268	0,0000	0,3268	0,18	C43
H105	1,51	59	257	pășune/fâneată	74,70	0,3074	0,0000	0,3074	0,20	C43
H106	2,10	100	210	pășune/fâneată	20,58	0,0798	0,0000	0,0798	0,04	C44
H107	3,75	134	279	pășune/fâneată	87,90	0,3827	0,0000	0,3827	0,10	C44
H108	2,44	87	279	pășune/fâneată	63,90	0,2506	0,0000	0,2506	0,10	C44
H109	1,00	100	100	pășune/fâneată	7,20	0,0280	0,0000	0,0280	0,03	C45
H110	2,71	105	258	pășune/fâneată	58,40	0,2290	0,0000	0,2290	0,08	C45
H111	1,70	66	258	pășune/fâneată	77,90	0,3223	0,0000	0,3223	0,19	C45
H112	20,53	232	886	porumb/prășitoare	131,39	0,5133	0,0000	0,5133	0,02	C42
H113	22,78	257	886	porumb/prășitoare	233,30	2,5044	0,0000	2,5044	0,11	C42
H114	40,54	329	1232	pășune/fâneată	287,83	1,1639	0,0000	1,1639	0,03	C47
H115	22,75	185	1232	pășune/fâneată	315,00	1,2357	0,0000	1,2357	0,05	C47
H116	13,42	236	570	pășune/fâneată	87,23	0,3355	0,0000	0,3355	0,03	C48
H117	9,59	168	570	pășune/fâneată	157,60	0,6182	0,0000	0,6182	0,06	C48
H118	3,57	290	123	pășune/fâneată	18,21	0,0740	0,0000	0,0740	0,02	C51
H119	5,29	185	286	pășune/fâneată	32,27	0,1270	0,0000	0,1270	0,02	C51
H120	5,53	193	286	pășune/fâneată	64,60	0,2532	0,0000	0,2532	0,05	C51
H121	3,68	170	216	pășune/fâneată	49,60	0,1944	0,0000	0,1944	0,05	C52
H122	2,84	131	216	pășune/fâneată	52,00	0,2040	0,0000	0,2040	0,07	C52
H123	2,71	131	206	pășune/fâneată	34,20	0,1339	0,0000	0,1339	0,05	C53
H124	2,47	166	149	pășune/fâneată	43,50	0,1707	0,0000	0,1707	0,07	C53
H125	2,99	201	149	pășune/fâneată	33,90	0,1328	0,0000	0,1328	0,04	C53
H126	1,00	100	100	pășune/fâneată	9,80	0,0380	0,0000	0,0380	0,04	C54
H127	2,94	164	180	pășune/fâneată	37,00	0,1453	0,0000	0,1453	0,05	C54
H128	2,09	116	180	pășune/fâneată	47,80	0,1875	0,0000	0,1875	0,09	C54
H129	10,25	156	657	pășune/fâneată	170,80	0,6700	0,0000	0,6700	0,07	C49
H130	15,93	242	657	pășune/fâneată	175,10	0,6869	0,0000	0,6869	0,04	C49
H131	1,47	174	84	pășune/fâneată	9,41	0,0368	0,0000	0,0368	0,03	C50
H132	3,62	110	328	pășune/fâneată	98,60	0,3897	0,0000	0,3897	0,11	C50
H133	2,16	66	328	pășune/fâneată	95,70	0,3770	0,0000	0,3770	0,17	C50
H134	1,00	100	100	pășune/fâneată	7,20	0,0280	0,0000	0,0280	0,03	C55
H135	4,07	113	359	pășune/fâneată	96,80	0,3796	0,0000	0,3796	0,09	C55
H136	7,48	208	359	pășune/fâneată	97,50	0,3825	0,0000	0,3825	0,05	C55
H137	0,50	50	100	pășune/fâneată	7,20	0,0279	0,0000	0,0279	0,06	C56
H138	11,35	185	614	pășune/fâneată	130,70	0,5125	0,0000	0,5125	0,05	C56

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H139	11,77	192	614	pășune/fâneată	132,40	0,5190	0,0000	0,5190	0,04	C56
H140	20,12	262	767	grâu/păioasă	90,54	0,3622	0,0000	0,3622	0,02	C46
H141	29,45	384	767	grâu/păioasă	114,86	0,4418	0,0000	0,4418	0,02	C46
H142	1,51	100	151	grâu/păioasă	16,90	0,0660	0,0000	0,0660	0,04	C58
H143	4,54	103	441	grâu/păioasă	58,60	0,2294	0,0000	0,2294	0,05	C58
H144	5,68	129	441	grâu/păioasă	58,60	0,2294	0,0000	0,2294	0,04	C58
H145	2,90	218	133	grâu/păioasă	24,65	0,0957	0,0000	0,0957	0,03	C57
H146	1,34	101	133	grâu/păioasă	9,51	0,0375	0,0000	0,0375	0,03	C57
H147	8,70	265	328	grâu/păioasă	33,06	0,1305	0,0000	0,1305	0,01	C60
H148	1,95	60	328	grâu/păioasă	10,14	0,0078	0,0000	0,0078	0,00	C60
H149	3,04	100	304	grâu/păioasă	16,72	0,0578	0,0000	0,0578	0,02	C62
H150	11,23	162	694	grâu/păioasă	53,90	0,2134	0,0000	0,2134	0,02	C62
H151	16,52	238	694	grâu/păioasă	54,52	0,2148	0,0000	0,2148	0,01	C62
H152	10,09	182	553	grâu/păioasă	69,62	0,2724	0,0000	0,2724	0,03	C61
H153	15,10	273	553	grâu/păioasă	70,97	0,2718	0,0000	0,2718	0,02	C61
H154	3,05	125	244	grâu/păioasă	13,42	0,0458	0,0000	0,0458	0,02	C63
H155	18,30	391	468	grâu/păioasă	38,43	0,1464	0,0000	0,1464	0,01	C63
H156	6,53	139	468	grâu/păioasă	52,24	0,2024	0,0000	0,2024	0,03	C63
H157	7,57	237	319	grâu/păioasă	27,25	0,1060	0,0000	0,1060	0,01	C64
H158	39,99	325	1230	grâu/păioasă	131,97	0,5199	0,0000	0,5199	0,01	C64
H159	41,47	337	1230	grâu/păioasă	153,44	0,6221	0,0000	0,6221	0,02	C64
H160	40,10	436	919	grâu/păioasă	64,16	0,2406	0,0000	0,2406	0,01	C59
H161	22,37	243	919	grâu/păioasă	190,15	0,7606	0,0000	0,7606	0,03	C59
H162	3,11	151	206	grâu/păioasă	16,17	0,0622	0,0000	0,0622	0,02	C67
H163	4,88	76	643	grâu/păioasă	132,20	0,5182	0,0000	0,5182	0,11	C67
H164	16,10	250	643	grâu/păioasă	112,70	0,4347	0,0000	0,4347	0,03	C67
H165	4,72	124	382	grâu/păioasă	17,94	0,0425	0,0000	0,0425	0,01	C66
H166	20,21	180	1126	grâu/păioasă	139,45	0,5457	0,0000	0,5457	0,03	C66
H167	33,76	300	1126	grâu/păioasă	74,27	0,3038	0,0000	0,3038	0,01	C66
H168	22,75	365	623	grâu/păioasă	40,95	0,1593	0,0000	0,1593	0,01	C65
H169	19,22	308	623	grâu/păioasă	67,27	0,2691	0,0000	0,2691	0,01	C65
H170	10,24	151	676	porumb/prășitoare	91,14	0,3584	0,0000	0,3584	0,04	C69
H171	11,35	168	676	porumb/prășitoare	91,94	0,3632	0,0000	0,3632	0,03	C69
H172	1,57	63	252	porumb/prășitoare	14,44	0,0565	0,0000	0,0565	0,04	C71
H173	2,45	94	260	porumb/prășitoare	46,70	0,1908	0,0000	0,1908	0,08	C71
H174	4,16	160	260	porumb/prășitoare	46,30	0,1889	0,0000	0,1889	0,05	C71

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H175	4,79	220	218	porumb/prășitoare	6,71	0,0287	0,0000	0,0287	0,01	C70
H176	4,39	171	257	porumb/prășitoare	35,56	0,1405	0,0000	0,1405	0,03	C70
H177	5,18	201	257	porumb/prășitoare	23,83	0,0932	0,0000	0,0932	0,02	C70
H178	75,34	372	2025	grâu/păioasă	173,28	0,6781	0,0000	0,6781	0,01	C68
H179	74,50	368	2025	grâu/păioasă	238,40	0,8940	0,0000	0,8940	0,01	C68
H180	1,56	125	125	porumb/prășitoare	4,06	0,0156	0,0000	0,0156	0,01	C73
H181	17,06	138	1239	porumb/prășitoare	213,10	0,8420	0,0000	0,8420	0,05	C73
H182	27,18	219	1239	porumb/prășitoare	214,72	0,8426	0,0000	0,8426	0,03	C73
H183	13,22	197	672	grâu/păioasă	100,47	0,3966	0,0000	0,3966	0,03	C72
H184	4,72	70	672	grâu/păioasă	31,15	0,0755	0,0000	0,0755	0,02	C72
TOTAL	2357,40				23884,26	303,49	0,00	303,49	<b>0,13</b>	media

ALBII, durata ploii 5 minute,  $i = 3$  mm/min

Albie	Nod început	Nod sfârșit	Cotă amonte [m]	Cotă aval [m]	Lungime [m]	Lățime [m]	Tip (albie permanentă sau nepermanentă)	Volum de apă		Volum sedimente [tone]
								[mc]	[mc]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
C1	19	21	275,00	220,00	826	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C2	21	22	220,00	197,50	756	2,50	neperm.	0,00	0,00	0,00
C3	20	21	250,00	220,00	276	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C4	22	24	197,50	193,00	704	3,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C5	23	22	270,00	197,50	444	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C6	24	26	193,00	188,00	694	3,50	neperm.	500,30	1,40	1,40
C7	25	24	250,00	193,00	768	2,00	neperm.	170,70	1,10	1,10
C8	26	1	188,00	187,00	342	4,00	neperm.	601,50	2,10	2,10
C9	27	26	250,00	188,00	1233	3,00	neperm.	460,00	2,50	2,50
C10	1	2	187,00	184,00	464	4,50	permanentă	1025,52	5,20	5,20
C11	28	1	230,00	187,00	595	2,00	neperm.	311,20	1,50	1,50
C12	2	3	184,00	181,00	225	4,70	permanentă	1420,20	7,20	7,20
C13	29	2	225,00	184,00	759	2,00	neperm.	362,00	1,95	1,95
C14	3	4	181,00	169,00	694	5,50	permanentă	2980,20	34,20	34,20
C15	30	3	225,00	181,00	638	2,00	neperm.	1345,20	27,50	27,50
C16	4	5	169,00	168,00	236	5,70	permanentă	3200,20	25,40	25,40
C17	31	4	225,00	169,00	516	2,00	neperm.	329,40	2,00	2,00
C18	5	6	168,00	160,00	1013	6,00	permanentă	3625,20	29,50	29,50

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C19	32	5	200,00	168,00	311	2,00	neperm.	269,30	3,80
C20	6	7	160,00	156,00	1241	6,50	permanentä	3821,40	29,40
C21	7	8	156,00	155,20	94	7,00	permanentä	9300,00	65,50
C22	44	7	162,00	156,00	492	4,00	neperm.	5511,00	44,50
C23	43	44	169,00	162,00	957	3,50	neperm.	5801,70	37,20
C24	45	44	225,00	162,00	622	2,00	neperm.	380,90	4,20
C25	38	43	182,00	169,00	1211	3,00	neperm.	4140,60	54,60
C26	42	43	172,00	169,00	441	2,50	neperm.	2714,30	31,60
C27	40	42	225,00	172,00	495	1,50	neperm.	1335,80	40,90
C28	41	42	225,00	172,00	309	1,50	neperm.	669,90	15,90
C29	37	38	190,00	182,00	563	2,00	neperm.	1460,00	26,30
C30	39	38	225,00	182,00	506	1,50	neperm.	1124,40	22,90
C31	35	37	250,00	190,00	1283	1,50	neperm.	412,30	2,02
C32	36	37	235,00	190,00	551	1,50	neperm.	257,40	2,90
C33	8	9	155,20	149,20	547	8,00	permanentä	9523,40	61,60
C34	33	8	200,00	155,20	501	3,00	neperm.	174,40	0,90
C35	34	8	200,00	155,20	372	2,00	neperm.	167,50	0,90
C36	9	10	149,20	148,00	512	9,00	permanentä	9723,20	51,23
C37	46	9	200,00	149,20	406	2,00	neperm.	223,50	1,50
C38	10	11	148,00	147,00	523	9,00	permanentä	9956,40	48,20
C39	49	10	160,00	148,00	208	2,00	neperm.	267,70	1,90
C40	47	49	200,00	160,00	248	1,00	neperm.	137,80	0,70
C41	48	49	200,00	160,00	240	1,50	neperm.	115,40	0,60
C42	11	12	147,00	146,00	886	10,00	permanentä	12125,50	47,50
C43	52	11	155,00	147,00	257	3,00	neperm.	404,80	2,20
C44	50	52	200,00	155,00	279	2,00	neperm.	146,20	0,80
C45	51	52	200,00	155,00	258	2,00	neperm.	132,00	0,70
C46	12	13	146,00	145,30	767	11,00	permanentä	12201,00	39,50
C47	56	12	159,00	146,00	1232	4,00	neperm.	1568,40	8,80
C48	62	56	193,00	159,00	570	3,00	neperm.	578,50	2,70
C49	55	56	194,00	159,00	657	2,00	neperm.	663,10	4,40
C50	57	56	215,00	159,00	328	2,00	neperm.	186,60	1,00
C51	61	62	205,00	193,00	286	1,50	neperm.	82,50	0,35
C52	60	62	199,00	193,00	216	2,00	neperm.	279,10	1,40
C53	59	60	220,00	199,00	149	1,50	neperm.	110,70	0,50
C54	58	60	220,00	199,00	180	1,50	neperm.	83,00	0,40

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C55	54	55	230,00	194,00	359	2,00	neperm.	181,50	0,90
C56	53	55	235,00	194,00	614	2,00	neperm.	227,40	1,30
C57	13	14	145,30	144,20	133	11,00	permanență	13123,80	37,50
C58	63	13	180,00	145,30	441	2,50	neperm.	83,70	0,50
C59	14	15	144,20	142,00	919	14,00	permanență	13237,00	36,80
C60	67	14	145,00	144,20	328	5,00	neperm.	490,20	2,90
C61	66	67	158,00	145,00	553	5,00	neperm.	410,20	2,38
C62	68	67	185,00	145,00	694	4,00	neperm.	97,50	0,70
C63	65	66	185,00	158,00	468	3,00	neperm.	80,40	0,54
C64	64	66	195,00	158,00	1230	4,00	neperm.	230,40	1,30
C65	15	16	142,00	139,00	623	16,00	permanență	13490,00	35,40
C66	69	15	180,00	142,00	1126	4,00	neperm.	140,20	1,10
C67	70	15	185,00	142,00	643	3,00	neperm.	205,40	1,40
C68	16	17	139,00	132,00	2025	20,00	permanență	12542,20	10,20
C69	73	16	160,00	139,00	676	3,00	neperm.	298,50	1,69
C70	71	73	180,00	160,00	257	2,00	neperm.	61,20	0,40
C71	72	73	180,00	160,00	260	2,00	neperm.	85,20	0,57
C72	17	18	132,00	129,00	672	22,00	permanență	12154,20	7,50
C73	74	17	180,00	132,00	1239	3,00	neperm.	245,40	2,10

VERSANTI, durata ploii 15 minute,  $i = 1.55$  mm/min

Versant	Arie		Lungime		Lățime		Folosință	Volum scurgere de suprafață [mc]	Cantitate de sol antrenat		Depuneri de particule antrenate [tone]	Cantitate de sol pierdut		Pierderi medii [tone/ha]	Albie în care se descarcă
	[ha]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]			[tone]	[tone]		[tone]	[tone/ha]		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
H1	7,57	188	404	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C1
H2	15,22	184	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C1
H3	22,78	276	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C1
H4	4,51	274	164	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C3
H5	2,66	96	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C3
H6	6,31	229	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C3
H7	30,60	405	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C2
H8	22,98	304	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C2
H9	1,91	170	113	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C5
H10	4,19	94	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C5
H11	3,33	75	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C5
H12	32,87	467	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C4
H13	15,82	225	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C4
H14	5,58	125	446	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	C7
H15	23,07	301	768	pășune	745,80	1,4545	1,4545	0,0001	1,4544	0,0001	1,4544	0,06	0,06	0,06	C7
H16	16,22	211	768	pășune	1017,70	3,6229	3,6229	0,0005	3,6224	0,0005	3,6224	0,22	0,22	0,22	C7
H17	16,72	241	694	pășune	731,60	1,4270	1,4270	0,0001	1,4269	0,0001	1,4269	0,09	0,09	0,09	C6
H18	27,99	403	694	pășune	900,40	2,5751	2,5751	0,0000	2,5751	0,0000	2,5751	0,09	0,09	0,09	C6
H19	1,88	100	188	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	C9
H20	61,26	497	1233	pășune	1047,10	2,0409	2,0409	0,0001	2,0408	0,0001	2,0408	0,03	0,03	0,03	C9
H21	34,47	280	1233	pășune	1452,10	2,8332	2,8332	0,0002	2,8330	0,0002	2,8330	0,08	0,08	0,08	C9
H22	12,68	370	342	pășune	353,40	0,6892	0,6892	0,0000	0,6892	0,0000	0,6892	0,05	0,05	0,05	C8
H23	6,42	187	342	pășune	401,40	0,7805	0,7805	0,0000	0,7805	0,0000	0,7805	0,12	0,12	0,12	C8
H24	5,79	309	188	pășune	175,60	0,3425	0,3425	0,0000	0,3425	0,0000	0,3425	0,06	0,06	0,06	C11
H25	9,49	159	595	pășune	668,90	1,4599	1,4599	0,0000	1,4599	0,0000	1,4599	0,15	0,15	0,15	C11
H26	13,95	234	595	pășune	720,80	1,4972	1,4972	0,0000	1,4972	0,0000	1,4972	0,11	0,11	0,11	C11
H27	10,38	224	464	porumb/prășitoare	635,20	5,1817	5,1817	0,0002	5,1815	0,0002	5,1815	0,50	0,50	0,50	C10
H28	13,45	290	464	porumb/prășitoare	675,10	7,8092	7,8092	0,0000	7,8092	0,0000	7,8092	0,58	0,58	0,58	C10
H29	1,76	125	141	pășune	29,90	0,0516	0,0516	0,0171	0,0345	0,0171	0,0345	0,02	0,02	0,02	C13
H30	30,61	403	759	pășune	747,30	1,4575	1,4575	0,0000	1,4575	0,0000	1,4575	0,05	0,05	0,05	C13

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H31	14,14	186	759	pășune	995,30	4,4521	0,0000	4,4521	0,31	C13
H32	4,75	211	225	porumb/prășitoare	223,00	0,6454	0,0000	0,6454	0,14	C12
H33	1,87	83	225	porumb/prășitoare	165,70	0,5173	0,0000	0,5173	0,28	C12
H34	6,69	264	253	pășune	746,30	9,7776	0,0000	9,7776	1,46	C15
H35	17,27	271	638	pășune	1950,20	34,0530	0,0000	34,0530	1,97	C15
H36	15,54	244	638	pășune	1840,00	30,9380	0,0017	30,9380	1,99	C15
H37	31,23	450	694	porumb/prășitoare	947,50	11,8220	0,0001	11,8219	0,38	C14
H38	21,47	309	694	porumb/prășitoare	938,20	8,5636	0,0000	8,5636	0,40	C14
H39	7,32	188	391	grâu/păioasă	396,70	0,7737	0,0000	0,7737	0,11	C17
H40	13,13	255	516	grâu/păioasă	605,10	1,1806	0,0004	1,1802	0,09	C17
H41	8,87	172	516	grâu/păioasă	577,50	1,1268	0,0006	1,1262	0,13	C17
H42	3,44	146	236	porumb/prășitoare	280,20	2,1118	0,0000	2,1118	0,61	C16
H43	9,54	405	236	porumb/prășitoare	281,90	2,3604	0,0001	2,3603	0,25	C16
H44	5,02	188	267	porumb/prășitoare	471,40	11,7940	0,0000	11,7940	2,35	C19
H45	2,59	83	311	porumb/prășitoare	263,90	2,1848	0,0000	2,1848	0,84	C19
H46	3,22	104	311	porumb/prășitoare	300,40	1,9500	0,0000	1,9500	0,61	C19
H47	62,18	614	1013	porumb/prășitoare	1140,90	10,6430	0,0000	10,6430	0,17	C18
H48	40,82	403	1013	porumb/prășitoare	1506,50	23,7250	0,0014	23,7236	0,58	C18
H49	36,65	295	1241	porumb/prășitoare	1952,80	28,6520	0,0000	28,6520	0,78	C20
H50	44,22	356	1241	porumb/prășitoare	1817,80	23,9880	0,0011	23,9869	0,54	C20
H51	7,16	146	492	grâu/păioasă	398,40	0,7765	0,0000	0,7765	0,11	C22
H52	13,61	277	492	grâu/păioasă	490,80	0,9572	0,0003	0,9569	0,07	C22
H53	3,61	70	514	porumb/prășitoare	325,50	0,8655	0,0000	0,8655	0,24	C24
H54	11,96	192	622	porumb/prășitoare	867,00	9,0133	0,0001	9,0132	0,75	C24
H55	13,32	214	622	porumb/prășitoare	914,20	10,3430	0,0000	10,3430	0,78	C24
H56	29,40	307	957	porumb/prășitoare	1498,40	22,6990	0,0004	22,6986	0,77	C23
H57	46,66	487	957	porumb/prășitoare	1300,30	17,1070	0,0000	17,1070	0,37	C23
H58	5,41	123	441	pășune degradată	897,50	14,0900	0,0003	14,0897	2,61	C26
H59	14,18	322	441	pășune degradată	1542,80	33,9650	0,0015	33,9635	2,40	C26
H60	2,28	124	184	pășune degradată	379,90	4,2224	0,0000	4,2224	1,85	C27
H61	11,90	240	495	pășune degradată	1510,00	41,1910	0,0000	41,1910	3,46	C27
H62	9,10	184	495	pășune degradată	1219,30	28,6420	0,0003	28,6417	3,15	C27
H63	1,47	100	147	pășune degradată	244,10	2,0839	0,0000	2,0839	1,42	C28
H64	3,57	116	309	pășune degradată	598,20	12,1870	0,0000	12,1870	3,41	C28
H65	3,85	125	309	pășune degradată	643,20	11,2910	0,0003	11,2907	2,93	C28
H66	20,58	170	1211	pășune degradată	2761,90	56,2940	0,0003	56,2937	2,74	C25

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H67	45,48	376	1211	pășune degradată	4778,90	126,4344	0,0000	126,4344	2,78	C25
H68	5,05	282	179	pășune degradată	490,70	3,7229	0,0000	3,7229	0,74	C30
H69	8,07	159	506	pășune degradată	1077,60	15,2060	0,0007	15,2053	1,89	C30
H70	12,44	246	506	pășune degradată	1501,90	28,8980	0,0001	28,8979	2,32	C30
H71	11,35	202	563	pășune degradată	1437,80	23,9980	0,0002	23,9978	2,11	C29
H72	18,56	330	563	pășune degradată	2028,30	46,1040	0,0026	46,1014	2,48	C29
H73	1,98	141	141	porumb/prășitoare	103,10	0,2010	0,0001	0,2009	0,10	C32
H74	13,10	238	551	porumb/prășitoare	847,20	10,4240	0,0000	10,4240	0,80	C32
H75	12,41	225	551	porumb/prășitoare	772,70	6,8433	0,0000	6,8433	0,55	C32
H76	1,00	100	100	porumb/prășitoare	53,00	0,1032	0,0000	0,1032	0,10	C31
H77	28,04	219	1283	porumb/prășitoare	1357,30	5,3346	0,0001	5,3345	0,19	C31
H78	60,66	473	1283	porumb/prășitoare	1402,80	9,8269	0,0000	9,8269	0,16	C31
H79	2,12	225	94	porumb/prășitoare	99,20	0,5354	0,0001	0,5353	0,25	C21
H80	0,53	56	94	porumb/prășitoare	38,30	0,0746	0,0000	0,0746	0,14	C21
H81	14,42	311	463	grâu/păioasă	544,50	1,0624	0,0000	1,0624	0,07	C34
H82	4,64	93	501	grâu/păioasă	325,70	0,6348	0,0001	0,6347	0,14	C34
H83	10,11	202	501	grâu/păioasă	579,70	1,1311	0,0003	1,1308	0,11	C34
H84	4,82	248	194	grâu/păioasă	183,20	0,3573	0,0000	0,3573	0,07	C35
H85	3,18	86	372	grâu/păioasă	287,70	0,5613	0,0000	0,5613	0,18	C35
H86	1,71	46	372	grâu/păioasă	227,80	0,4444	0,0000	0,4444	0,26	C35
H87	14,51	265	547	porumb/prășitoare	725,80	5,9087	0,0001	5,9086	0,41	C33
H88	25,82	472	547	porumb/prășitoare	737,20	14,3301	0,0001	14,3300	0,55	C33
H89	1,52	41	370	pășune/făneată	124,30	0,2420	0,0000	0,2420	0,16	C37
H90	7,35	181	406	pășune/făneată	477,60	0,9489	0,0000	0,9489	0,13	C37
H91	7,12	175	406	pășune/făneată	455,70	0,8891	0,0001	0,8890	0,12	C37
H92	12,55	245	512	porumb/prășitoare	754,60	8,2011	0,0001	8,2010	0,65	C36
H93	14,86	290	512	porumb/prășitoare	721,70	6,9384	0,0000	6,9384	0,47	C36
H94	5,86	282	208	pășune/făneată	238,00	0,4644	0,0000	0,4644	0,08	C39
H95	2,22	107	208	pășune/făneată	187,00	0,3706	0,0000	0,3706	0,17	C39
H96	1,18	118	100	pășune/făneată	59,90	0,1166	0,0000	0,1166	0,10	C40
H97	1,43	58	248	pășune/făneată	184,20	0,3593	0,0000	0,3593	0,25	C40
H98	2,01	81	248	pășune/făneată	184,90	0,3674	0,0000	0,3674	0,18	C40
H99	2,60	137	190	pășune/făneată	66,10	0,1280	0,0000	0,1280	0,05	C41
H100	3,48	145	240	pășune/făneată	222,00	0,4330	0,0000	0,4330	0,12	C41
H101	1,65	69	240	pășune/făneată	163,10	0,3320	0,0000	0,3320	0,20	C41
H102	23,21	444	523	porumb/prășitoare	745,10	11,1950	0,0003	11,1947	0,49	C38



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H103	14,55	279	523	porumb/prășitoare	474,40	1,2567	0,0003	1,2564	0,09	C38
H104	1,84	71	257	pășune/fâneată	238,10	0,6984	0,0000	0,6984	0,38	C43
H105	1,51	59	257	pășune/fâneată	198,40	0,5088	0,0000	0,5088	0,34	C43
H106	2,10	100	210	pășune/fâneată	106,40	0,2070	0,0000	0,2070	0,10	C44
H107	3,75	134	279	pășune/fâneată	305,50	1,1551	0,0001	1,1550	0,31	C44
H108	2,44	87	279	pășune/fâneată	205,90	0,4016	0,0001	0,4015	0,16	C44
H109	1,00	100	100	pășune/fâneată	38,80	0,0752	0,0000	0,0752	0,08	C45
H110	2,71	105	258	pășune/fâneată	211,40	0,4123	0,0000	0,4123	0,15	C45
H111	1,70	66	258	pășune/fâneată	222,40	0,6177	0,0000	0,6177	0,36	C45
H112	20,53	232	886	porumb/prășitoare	835,10	2,4033	0,0006	2,4027	0,12	C42
H113	22,78	257	886	porumb/prășitoare	1362,10	16,7760	0,0000	16,7760	0,73	C42
H114	40,54	329	1232	pășune/fâneată	1311,50	2,5581	0,0000	2,5581	0,06	C47
H115	22,75	185	1232	pășune/fâneată	1393,30	2,7185	0,0002	2,7183	0,12	C47
H116	13,42	236	570	pășune/fâneată	432,90	0,8435	0,0000	0,8435	0,06	C48
H117	9,59	168	570	pășune/fâneată	658,70	1,4682	0,0000	1,4682	0,15	C48
H118	3,57	290	123	pășune/fâneată	91,30	0,1779	0,0000	0,1779	0,05	C51
H119	5,29	185	286	pășune/fâneată	168,00	0,3270	0,0000	0,3270	0,06	C51
H120	5,53	193	286	pășune/fâneată	295,40	0,5761	0,0000	0,5761	0,10	C51
H121	3,68	170	216	pășune/fâneată	222,10	0,4333	0,0000	0,4333	0,12	C52
H122	2,84	131	216	pășune/fâneată	210,20	0,4100	0,0000	0,4100	0,14	C52
H123	2,71	131	206	pășune/fâneată	161,10	0,3139	0,0000	0,3139	0,12	C53
H124	2,47	166	149	pășune/fâneată	177,30	0,4758	0,0000	0,4758	0,19	C53
H125	2,99	201	149	pășune/fâneată	153,10	0,2987	0,0000	0,2987	0,10	C53
H126	1,00	100	100	pășune/fâneată	50,80	0,0988	0,0000	0,0988	0,10	C54
H127	2,94	164	180	pășune/fâneată	168,80	0,3292	0,0001	0,3291	0,11	C54
H128	2,09	116	180	pășune/fâneată	167,30	0,3399	0,0000	0,3399	0,16	C54
H129	10,25	156	657	pășune/fâneată	708,80	1,3789	0,0000	1,3789	0,13	C49
H130	15,93	242	657	pășune/fâneată	792,20	1,5672	0,0000	1,5672	0,10	C49
H131	1,47	174	84	pășune/fâneată	48,50	0,0945	0,0000	0,0945	0,06	C50
H132	3,62	110	328	pășune/fâneată	314,50	0,8646	0,0000	0,8646	0,24	C50
H133	2,16	66	328	pășune/fâneată	284,60	0,6873	0,0000	0,6873	0,32	C50
H134	1,00	100	100	pășune/fâneată	38,80	0,0752	0,0000	0,0752	0,08	C55
H135	4,07	113	359	pășune/fâneată	334,10	0,6781	0,0000	0,6781	0,17	C55
H136	7,48	208	359	pășune/fâneată	437,60	0,8803	0,0000	0,8803	0,12	C55
H137	0,50	50	100	pășune/fâneată	32,00	0,0621	0,0000	0,0621	0,12	C56
H138	11,35	185	614	pășune/fâneată	603,00	1,1760	0,0000	1,1760	0,10	C56

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H139	11,77	192	614	pășune/fâneată	612,10	1,1938	0,0000	1,1938	0,10	C56
H140	20,12	262	767	grâu/păioasă	468,10	0,9112	0,0004	0,9108	0,05	C46
H141	29,45	384	767	grâu/păioasă	571,33	1,1191	0,0000	1,1191	0,04	C46
H142	1,51	100	151	grâu/păioasă	83,80	0,1631	0,0000	0,1631	0,11	C58
H143	4,54	103	441	grâu/păioasă	278,30	0,5422	0,0000	0,5422	0,12	C58
H144	5,68	129	441	grâu/păioasă	296,90	0,5783	0,0001	0,5782	0,10	C58
H145	2,90	218	133	grâu/păioasă	123,60	0,2409	0,0000	0,2409	0,08	C57
H146	1,34	101	133	grâu/păioasă	53,70	0,1041	0,0000	0,1041	0,08	C57
H147	8,70	265	328	grâu/păioasă	175,50	0,3413	0,0000	0,3413	0,04	C60
H148	1,95	60	328	grâu/păioasă	65,90	0,0961	0,0001	0,0960	0,05	C60
H149	3,04	100	304	grâu/păioasă	100,50	0,1946	0,0000	0,1946	0,06	C62
H150	11,23	162	694	grâu/păioasă	293,40	0,5699	0,0000	0,5699	0,05	C62
H151	16,52	238	694	grâu/păioasă	292,30	0,5678	0,0000	0,5678	0,03	C62
H152	10,09	182	553	grâu/păioasă	349,00	0,6793	0,0000	0,6793	0,07	C61
H153	15,10	273	553	grâu/păioasă	358,10	0,6971	0,0000	0,6971	0,05	C61
H154	3,05	125	244	grâu/păioasă	80,70	0,1562	0,0001	0,1561	0,05	C63
H155	18,30	391	468	grâu/păioasă	206,30	0,4009	0,0000	0,4009	0,02	C63
H156	6,53	139	468	grâu/păioasă	268,90	0,5232	0,0000	0,5232	0,08	C63
H157	7,57	237	319	grâu/păioasă	147,30	0,2864	0,0000	0,2864	0,04	C64
H158	39,99	325	1230	grâu/păioasă	680,60	1,3243	0,0002	1,3241	0,03	C64
H159	41,47	337	1230	grâu/păioasă	776,60	1,5118	0,0001	1,5117	0,04	C64
H160	40,10	436	919	grâu/păioasă	352,88	0,6817	0,0000	0,6817	0,02	C59
H161	22,37	243	919	grâu/păioasă	900,20	1,7556	0,0011	1,7545	0,08	C59
H162	3,11	151	206	grâu/păioasă	89,10	0,1731	0,0000	0,1731	0,06	C67
H163	4,88	76	643	grâu/păioasă	412,00	0,8034	0,0000	0,8034	0,16	C67
H164	16,10	250	643	grâu/păioasă	545,20	1,0626	0,0005	1,0621	0,07	C67
H165	4,72	124	382	grâu/păioasă	108,80	0,2099	0,0000	0,2099	0,04	C66
H166	20,21	180	1126	grâu/păioasă	709,00	1,3803	0,0008	1,3795	0,07	C66
H167	33,76	300	1126	grâu/păioasă	409,40	0,7937	0,0000	0,7937	0,02	C66
H168	22,75	365	623	grâu/păioasă	345,80	0,4323	0,0000	0,4323	0,02	C65
H169	19,22	308	623	grâu/păioasă	349,00	0,6791	0,0002	0,6789	0,04	C65
H170	10,24	151	676	porumb/prășitoare	575,80	1,2615	0,0001	1,2614	0,12	C69
H171	11,35	168	676	porumb/prășitoare	593,40	1,3158	0,0000	1,3158	0,12	C69
H172	1,57	63	252	porumb/prășitoare	99,00	0,1927	0,0000	0,1927	0,12	C71
H173	2,45	94	260	porumb/prășitoare	199,00	0,6517	0,0000	0,6517	0,27	C71
H174	4,16	160	260	porumb/prășitoare	267,80	1,0520	0,0000	1,0520	0,25	C71

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H175	4,79	220	218	porumb/prășitoare	59,90	0,1162	0,0000	0,1162	0,02	C70
H176	4,39	171	257	porumb/prășitoare	227,80	0,5215	0,0001	0,5214	0,12	C70
H177	5,18	201	257	porumb/prășitoare	180,40	0,3516	0,0000	0,3516	0,07	C70
H178	75,34	372	2025	grâu/păioasă	941,50	1,8299	0,0000	1,8299	0,02	C68
H179	74,50	368	2025	grâu/păioasă	1218,20	2,3711	0,0000	2,3711	0,03	C68
H180	1,56	125	125	porumb/prășitoare	35,60	0,0689	0,0000	0,0689	0,04	C73
H181	17,06	138	1239	porumb/prășitoare	1185,50	3,9488	0,0000	3,9488	0,23	C73
H182	27,18	219	1239	porumb/prășitoare	1337,20	5,5309	0,0005	5,5304	0,20	C73
H183	13,22	197	672	grâu/păioasă	504,10	0,9823	0,0004	0,9819	0,07	C72
H184	4,72	70	672	grâu/păioasă	191,20	0,3690	0,0000	0,3690	0,08	C72
TOTAL	2357,40				99054,81	927,4143	0,0383	927,3760	<b>0,39</b>	media

ALBII, durata ploii 15 minute,  $i = 1.55$  mm/min

Albie	Nod început	Nod sfârșit	Cotă amonte [m]	Cotă aval [m]	Lungime [m]	Lățime [m]	Tip (albie permanentă sau neperm.)	Volum de apă		Volum sedimente [tone]
								[mc]	[mc]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
C1	19	21	275,00	220,00	826	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C2	21	22	220,00	197,50	756	2,50	neperm.	0,00	0,00	0,00
C3	20	21	250,00	220,00	276	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C4	22	24	197,50	193,00	704	3,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C5	23	22	270,00	197,50	444	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C6	24	26	193,00	188,00	694	3,50	neperm.	3014,80	12,00	
C7	25	24	250,00	193,00	768	2,00	neperm.	1737,00	7,70	
C8	26	1	188,00	187,00	342	4,00	neperm.	5852,50	17,90	
C9	27	26	250,00	188,00	1233	3,00	neperm.	2373,90	9,10	
C10	1	2	187,00	184,00	464	4,50	permanentă	8534,70	39,10	
C11	28	1	230,00	187,00	595	2,00	neperm.	1549,80	5,30	
C12	2	3	184,00	181,00	225	4,70	permanentă	10586,90	52,20	
C13	29	2	225,00	184,00	759	2,00	neperm.	1739,70	7,90	
C14	3	4	181,00	169,00	694	5,50	permanentă	16719,30	172,80	
C15	30	3	225,00	181,00	638	2,00	neperm.	4517,80	79,70	
C16	4	5	169,00	168,00	236	5,70	permanentă	18721,70	149,40	
C17	31	4	225,00	169,00	516	2,00	neperm.	1591,90	5,70	
C18	5	6	168,00	160,00	1013	6,00	permanentă	21754,20	216,00	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C19	32	5	200,00	168,00	311	2,00	neperm.	1043,00	17,10
C20	6	7	160,00	156,00	1241	6,50	permanentă	23559,40	139,30
C21	7	8	156,00	155,20	94	7,00	permanentă	53137,50	441,00
C22	44	7	162,00	156,00	492	4,00	neperm.	29685,10	286,40
C23	43	44	169,00	162,00	957	3,50	neperm.	27139,60	248,60
C24	45	44	225,00	162,00	622	2,00	neperm.	2092,80	23,40
C25	38	43	182,00	169,00	1211	3,00	neperm.	17973,40	253,90
C26	42	43	172,00	169,00	441	2,50	neperm.	6979,50	69,90
C27	40	42	225,00	172,00	495	1,50	neperm.	3118,30	78,10
C28	41	42	225,00	172,00	309	1,50	neperm.	1491,60	27,30
C29	37	38	190,00	182,00	563	2,00	neperm.	7830,70	110,50
C30	39	38	225,00	182,00	506	1,50	neperm.	3079,10	51,40
C31	35	37	250,00	190,00	1283	1,50	neperm.	2740,50	19,70
C32	36	37	235,00	190,00	551	1,50	neperm.	1713,60	19,40
C33	8	9	155,20	149,20	547	8,00	permanentă	55718,20	514,70
C34	33	8	200,00	155,20	501	3,00	neperm.	1438,80	4,80
C35	34	8	200,00	155,20	372	2,00	neperm.	693,80	2,50
C36	9	10	149,20	148,00	512	9,00	permanentă	55577,70	146,10
C37	46	9	200,00	149,20	406	2,00	neperm.	1047,20	4,20
C38	10	11	148,00	147,00	523	9,00	permanentă	56627,20	146,40
C39	49	10	160,00	148,00	208	2,00	neperm.	1294,70	5,20
C40	47	49	200,00	160,00	248	1,00	neperm.	432,30	1,30
C41	48	49	200,00	160,00	240	1,50	neperm.	455,90	1,40
C42	11	12	147,00	146,00	886	10,00	permanentă	55040,70	66,50
C43	52	11	155,00	147,00	257	3,00	neperm.	1528,90	5,80
C44	50	52	200,00	155,00	279	2,00	neperm.	625,20	2,50
C45	51	52	200,00	155,00	258	2,00	neperm.	479,30	1,60
C46	12	13	146,00	145,30	767	11,00	permanentă	58361,00	61,90
C47	56	12	159,00	146,00	1232	4,00	neperm.	9293,80	38,60
C48	62	56	193,00	159,00	570	3,00	neperm.	2908,60	11,20
C49	55	56	194,00	159,00	657	2,00	neperm.	3503,10	13,90
C50	57	56	215,00	159,00	328	2,00	neperm.	656,30	2,50
C51	61	62	205,00	193,00	286	1,50	neperm.	551,30	1,40
C52	60	62	199,00	193,00	216	2,00	neperm.	1310,10	3,70
C53	59	60	220,00	199,00	149	1,50	neperm.	494,40	1,40
C54	58	60	220,00	199,00	180	1,50	neperm.	390,20	1,00

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C55	54	55	230,00	194,00	359	2,00	neperm.	819,10	2,50
C56	53	55	235,00	194,00	614	2,00	neperm.	1229,40	3,90
C57	13	14	145,30	144,20	133	11,00	permanentä	58620,80	78,90
C58	63	13	180,00	145,30	441	2,50	neperm.	638,70	2,20
C59	14	15	144,20	142,00	919	14,00	permanentä	54696,90	116,20
C60	67	14	145,00	144,20	328	5,00	neperm.	2979,40	3,50
C61	66	67	158,00	145,00	553	5,00	neperm.	2451,70	9,30
C62	68	67	185,00	145,00	694	4,00	neperm.	633,90	2,20
C63	65	66	185,00	158,00	468	3,00	neperm.	538,90	1,60
C64	64	66	195,00	158,00	1230	4,00	neperm.	1388,50	4,80
C65	15	16	142,00	139,00	623	16,00	permanentä	54794,40	145,90
C66	69	15	180,00	142,00	1126	4,00	neperm.	1054,80	3,60
C67	70	15	185,00	142,00	643	3,00	neperm.	1013,30	3,40
C68	16	17	139,00	132,00	2025	20,00	permanentä	44874,50	208,90
C69	73	16	160,00	139,00	676	3,00	neperm.	2147,20	8,30
C70	71	73	180,00	160,00	257	2,00	neperm.	474,00	1,30
C71	72	73	180,00	160,00	260	2,00	neperm.	571,70	2,30
C72	17	18	132,00	129,00	672	22,00	permanentä	43022,40	241,80
C73	74	17	180,00	132,00	1239	3,00	neperm.	2409,40	12,50

VERSANTI, durata ploii 30 minute,  $i = 0.96$  mm/min

Versant	Arie		Lungime		Lățime		Folosință	Volum scurgere de suprafață		Cantitate de sol antrenat		Depuneri de particule antrenate		Cantitate de sol pierdut		Pierderi medii		Albie în care se descarcă
	[ha]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[mc]	[tone]	[tone]	[tone]	[tone]	[tone]	[tone]	[tone/ha]	[tone/ha]		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
H1	7,57	188	404	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C1
H2	15,22	184	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C1
H3	22,78	276	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C1
H4	4,51	274	164	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C3
H5	2,66	96	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C3
H6	6,31	229	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C3
H7	30,60	405	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C2
H8	22,98	304	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C2
H9	1,91	170	113	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C5
H10	4,19	94	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C5
H11	3,33	75	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C5
H12	32,87	467	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C4
H13	15,82	225	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C4
H14	5,58	125	446	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C7
H15	23,07	301	768	pășune	1717,70	5,2807	0,0000	0,0000	1717,70	5,2807	0,0000	0,0000	5,2807	0,23	5,2807	0,23	0,23	C7
H16	16,22	211	768	pășune	1910,10	12,7340	0,0000	0,0000	1910,10	12,7340	0,0000	0,0000	12,7340	0,78	12,7340	0,78	0,78	C7
H17	16,72	241	694	pășune	1593,20	5,3464	0,0000	0,0000	1593,20	5,3464	0,0000	0,0000	5,3464	0,32	5,3464	0,32	0,32	C6
H18	27,99	403	694	pășune	2004,50	14,1629	0,0000	0,0000	2004,50	14,1629	0,0000	0,0000	14,1629	0,51	14,1629	0,51	0,51	C6
H19	1,88	100	188	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	C9
H20	61,26	497	1233	pășune	2507,10	7,5482	0,0000	0,0000	2507,10	7,5482	0,0000	0,0000	7,5482	0,12	7,5482	0,12	0,12	C9
H21	34,47	280	1233	pășune	3161,70	13,2920	0,0000	0,0000	3161,70	13,2920	0,0000	0,0000	13,2920	0,39	13,2920	0,39	0,39	C9
H22	12,68	370	342	pășune	807,20	2,6803	0,0000	0,0000	807,20	2,6803	0,0000	0,0000	2,6803	0,21	2,6803	0,21	0,21	C8
H23	6,42	187	342	pășune	757,20	2,9937	0,0000	0,0000	757,20	2,9937	0,0000	0,0000	2,9937	0,47	2,9937	0,47	0,47	C8
H24	5,79	309	188	pășune	406,70	1,2194	0,0000	0,0000	406,70	1,2194	0,0000	0,0000	1,2194	0,21	1,2194	0,21	0,21	C11
H25	9,49	159	595	pășune	1197,00	5,3492	0,0000	0,0000	1197,00	5,3492	0,0000	0,0000	5,3492	0,56	5,3492	0,56	0,56	C11
H26	13,95	234	595	pășune	1458,50	6,8187	0,0000	0,0000	1458,50	6,8187	0,0000	0,0000	6,8187	0,49	6,8187	0,49	0,49	C11
H27	10,38	224	464	porumb/prășitoare	1183,30	12,8330	0,0000	0,0000	1183,30	12,8330	0,0000	0,0000	12,8330	1,24	12,8330	1,24	1,24	C10
H28	13,45	290	464	porumb/prășitoare	1365,50	19,8070	0,0000	0,0000	1365,50	19,8070	0,0000	0,0000	19,8070	1,47	19,8070	1,47	1,47	C10
H29	1,76	125	141	pășune	84,40	0,1701	0,0440	0,0440	84,40	0,1701	0,0440	0,0440	0,1261	0,07	0,1261	0,07	0,07	C13
H30	30,61	403	759	pășune	1716,40	5,4273	0,0000	0,0000	1716,40	5,4273	0,0000	0,0000	5,4273	0,18	5,4273	0,18	0,18	C13

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H31	14,14	186	759	pășune	1787,30	13,2110	0,0000	13,2110	0,93	C13
H32	4,75	211	225	porumb/prășitoare	484,30	2,8142	0,0000	2,8142	0,59	C12
H33	1,87	83	225	porumb/prășitoare	273,60	1,3551	0,0000	1,3551	0,72	C12
H34	6,69	264	253	pășune	1119,70	17,2550	0,0000	17,2550	2,58	C15
H35	17,27	271	638	pășune	2906,10	56,8000	0,0000	56,8000	3,29	C15
H36	15,54	244	638	pășune	2718,00	51,2970	0,0000	51,2970	3,30	C15
H37	31,23	450	694	porumb/prășitoare	2078,60	34,7670	0,0000	34,7670	1,11	C14
H38	21,47	309	694	porumb/prășitoare	1998,20	25,0180	0,0000	25,0180	1,17	C14
H39	7,32	188	391	grâu/păioasă	794,20	2,5163	0,0000	2,5163	0,34	C17
H40	13,13	255	516	grâu/păioasă	1282,70	5,2579	0,0000	5,2579	0,40	C17
H41	8,87	172	516	grâu/păioasă	1067,20	4,0029	0,0000	4,0029	0,45	C17
H42	3,44	146	236	porumb/prășitoare	471,50	4,4924	0,0000	4,4924	1,31	C16
H43	9,54	405	236	porumb/prășitoare	638,00	8,1405	0,0000	8,1405	0,85	C16
H44	5,02	188	267	porumb/prășitoare	747,50	21,5470	0,0000	21,5470	4,29	C19
H45	2,59	83	311	porumb/prășitoare	414,50	3,9201	0,0000	3,9201	1,51	C19
H46	3,22	104	311	porumb/prășitoare	485,10	3,9565	0,0000	3,9565	1,23	C19
H47	62,18	614	1013	porumb/prășitoare	2607,00	40,4170	0,0000	40,4170	0,65	C18
H48	40,82	403	1013	porumb/prășitoare	3293,70	63,3210	0,0000	63,3210	1,55	C18
H49	36,65	295	1241	porumb/prășitoare	3876,20	66,7030	0,0000	66,7030	1,82	C20
H50	44,22	356	1241	porumb/prășitoare	3923,30	64,5612	0,0000	64,5612	1,46	C20
H51	7,16	146	492	grâu/păioasă	803,60	2,4189	0,0000	2,4189	0,34	C22
H52	13,61	277	492	grâu/păioasă	1122,40	3,5097	0,0000	3,5097	0,26	C22
H53	3,61	70	514	porumb/prășitoare	533,70	2,3406	0,0000	2,3406	0,65	C24
H54	11,96	192	622	porumb/prășitoare	1517,40	18,9890	0,0000	18,9890	1,59	C24
H55	13,32	214	622	porumb/prășitoare	1637,20	22,1700	0,0000	22,1700	1,67	C24
H56	29,40	307	957	porumb/prășitoare	3023,00	53,8580	0,0000	53,8580	1,83	C23
H57	46,66	487	957	porumb/prășitoare	2854,40	50,3640	0,0000	50,3640	1,08	C23
H58	5,41	123	441	pășune degradată	1231,90	21,9520	0,0000	21,9520	4,06	C26
H59	14,18	322	441	pășune degradată	2322,90	55,5730	0,0000	55,5730	3,92	C26
H60	2,28	124	184	pășune degradată	445,10	5,8781	0,0000	5,8781	2,57	C27
H61	11,90	240	495	pășune degradată	2196,00	62,9620	0,0000	62,9620	5,29	C27
H62	9,10	184	495	pășune degradată	1750,80	43,9630	0,0000	43,9630	4,83	C27
H63	1,47	100	147	pășune degradată	335,00	3,5922	0,0000	3,5922	2,45	C28
H64	3,57	116	309	pășune degradată	821,00	18,4320	0,0000	18,4320	5,16	C28
H65	3,85	125	309	pășune degradată	882,80	17,3300	0,0000	17,3300	4,50	C28
H66	20,58	170	1211	pășune degradată	3962,10	87,9190	0,0000	87,9190	4,27	C25

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H67	45,48	376	1211	pășune degradată	7283,30	205,4332	0,0000	205,4332	4,52	C25
H68	5,05	282	179	pășune degradată	767,50	7,9061	0,0000	7,9061	1,57	C30
H69	8,07	159	506	pășune degradată	1552,50	25,1110	0,0000	25,1110	3,11	C30
H70	12,44	246	506	pășune degradată	2211,20	46,8090	0,0000	46,8090	3,76	C30
H71	11,35	202	563	pășune degradată	2093,40	39,1170	0,0000	39,1170	3,45	C29
H72	18,56	330	563	pășune degradată	3059,20	75,3190	0,0000	75,3190	4,06	C29
H73	1,98	141	141	porumb/prășitoare	210,80	0,7098	0,0000	0,7098	0,36	C32
H74	13,10	238	551	porumb/prășitoare	1558,70	22,8290	0,0000	22,8290	1,74	C32
H75	12,41	225	551	porumb/prășitoare	1433,70	16,4680	0,0000	16,4680	1,33	C32
H76	1,00	100	100	porumb/prășitoare	108,20	0,3254	0,0000	0,3254	0,33	C31
H77	28,04	219	1283	porumb/prășitoare	2815,10	19,7962	0,0000	19,7962	0,71	C31
H78	60,66	473	1283	porumb/prășitoare	3185,70	38,6404	0,0000	38,6404	0,64	C31
H79	2,12	225	94	porumb/prășitoare	194,90	1,6206	0,0000	1,6206	0,77	C21
H80	0,53	56	94	porumb/prășitoare	65,00	0,2099	0,0000	0,2099	0,40	C21
H81	14,42	311	463	grâu/păioasă	1207,60	5,2806	0,0000	5,2806	0,37	C34
H82	4,64	93	501	grâu/păioasă	590,40	1,7771	0,0000	1,7771	0,38	C34
H83	10,11	202	501	grâu/păioasă	1124,10	4,3586	0,0000	4,3586	0,43	C34
H84	4,82	248	194	grâu/păioasă	417,10	1,2487	0,0000	1,2487	0,26	C35
H85	3,18	86	372	grâu/păioasă	476,10	1,6105	0,0000	1,6105	0,51	C35
H86	1,71	46	372	grâu/păioasă	340,20	1,0741	0,0000	1,0741	0,63	C35
H87	14,51	265	547	porumb/prășitoare	1466,10	16,7736	0,0000	16,7736	1,16	C33
H88	25,82	472	547	porumb/prășitoare	1619,80	38,1361	0,0000	38,1361	1,48	C33
H89	1,52	41	370	pășune/fâneată	216,30	0,6498	0,0000	0,6498	0,43	C37
H90	7,35	181	406	pășune/fâneată	888,30	3,6470	0,0000	3,6470	0,50	C37
H91	7,12	175	406	pășune/fâneată	846,30	3,1866	0,0000	3,1866	0,45	C37
H92	12,55	245	512	porumb/prășitoare	1420,60	19,1513	0,0000	19,1513	1,53	C36
H93	14,86	290	512	porumb/prășitoare	1486,90	18,9830	0,0000	18,9830	1,28	C36
H94	5,86	282	208	pășune/fâneată	519,20	2,1878	0,0000	2,1878	0,37	C39
H95	2,22	107	208	pășune/fâneată	315,80	1,1683	0,0000	1,1683	0,53	C39
H96	1,18	118	100	pășune/fâneată	126,20	0,3792	0,0000	0,3792	0,32	C40
H97	1,43	58	248	pășune/fâneată	275,10	0,8907	0,0000	0,8907	0,62	C40
H98	2,01	81	248	pășune/fâneată	303,60	1,0850	0,0000	1,0850	0,54	C40
H99	2,60	137	190	pășune/fâneată	182,60	0,5455	0,0000	0,5455	0,21	C41
H100	3,48	145	240	pășune/fâneată	413,10	1,2795	0,0000	1,2795	0,37	C41
H101	1,65	69	240	pășune/fâneată	263,90	0,9552	0,0000	0,9552	0,58	C41
H102	23,21	444	523	porumb/prășitoare	1630,40	31,1710	0,0000	31,1710	1,34	C38



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H103	14,55	279	523	porumb/prășitoare	1126,20	6,7280	0,0000	6,7280	0,46	C38
H104	1,84	71	257	pășune/fâneată	355,60	1,6750	0,0000	1,6750	0,91	C43
H105	1,51	59	257	pășune/fâneată	296,40	1,2577	0,0000	1,2577	0,83	C43
H106	2,10	100	210	pășune/fâneată	224,60	0,6743	0,0000	0,6743	0,32	C44
H107	3,75	134	279	pășune/fâneată	519,80	3,2264	0,0000	3,2264	0,86	C44
H108	2,44	87	279	pășune/fâneată	348,20	1,0906	0,0000	1,0906	0,45	C44
H109	1,00	100	100	pășune/fâneată	94,70	0,2835	0,0000	0,2835	0,28	C45
H110	2,71	105	258	pășune/fâneată	366,10	1,1555	0,0000	1,1555	0,43	C45
H111	1,70	66	258	pășune/fâneată	332,20	1,4968	0,0000	1,4968	0,88	C45
H112	20,53	232	886	porumb/prășitoare	1886,00	11,2150	0,0000	11,2150	0,55	C42
H113	22,78	257	886	porumb/prășitoare	2582,40	37,9515	0,0000	37,9515	1,67	C42
H114	40,54	329	1232	pășune/fâneată	2972,50	10,6770	0,0000	10,6770	0,26	C47
H115	22,75	185	1232	pășune/fâneată	2635,30	9,6942	0,0000	9,6942	0,43	C47
H116	13,42	236	570	pășune/fâneată	1052,80	3,1682	0,0000	3,1682	0,24	C48
H117	9,59	168	570	pășune/fâneată	1191,50	5,4927	0,0000	5,4927	0,57	C48
H118	3,57	290	123	pășune/fâneată	223,40	0,6723	0,0000	0,6723	0,19	C51
H119	5,29	185	286	pășune/fâneată	422,90	1,2707	0,0000	1,2707	0,24	C51
H120	5,53	193	286	pășune/fâneată	593,30	1,9243	0,0000	1,9243	0,35	C51
H121	3,68	170	216	pășune/fâneată	426,50	1,3716	0,0000	1,3716	0,37	C52
H122	2,84	131	216	pășune/fâneată	376,80	1,2132	0,0000	1,2132	0,43	C52
H123	2,71	131	206	pășune/fâneată	314,20	0,9459	0,0000	0,9459	0,35	C53
H124	2,47	166	149	pășune/fâneată	316,60	1,6669	0,0000	1,6669	0,68	C53
H125	2,99	201	149	pășune/fâneată	305,90	1,0590	0,0000	1,0590	0,35	C53
H126	1,00	100	100	pășune/fâneată	107,20	0,3217	0,0000	0,3217	0,32	C54
H127	2,94	164	180	pășune/fâneată	327,30	1,0021	0,0000	1,0021	0,34	C54
H128	2,09	116	180	pășune/fâneată	285,10	1,1093	0,0000	1,1093	0,53	C54
H129	10,25	156	657	pășune/fâneată	1277,00	4,8196	0,0000	4,8196	0,47	C49
H130	15,93	242	657	pășune/fâneată	1637,70	7,1653	0,0000	7,1653	0,45	C49
H131	1,47	174	84	pășune/fâneată	121,20	0,3640	0,0000	0,3640	0,25	C50
H132	3,62	110	328	pășune/fâneată	526,50	2,5816	0,0000	2,5816	0,71	C50
H133	2,16	66	328	pășune/fâneată	425,10	1,7444	0,0000	1,7444	0,81	C50
H134	1,00	100	100	pășune/fâneată	94,70	0,2835	0,0000	0,2835	0,28	C55
H135	4,07	113	359	pășune/fâneată	567,60	2,1977	0,0000	2,1977	0,54	C55
H136	7,48	208	359	pășune/fâneată	848,40	3,6824	0,0000	3,6824	0,49	C55
H137	0,50	50	100	pășune/fâneată	61,70	0,1847	0,0000	0,1847	0,37	C56
H138	11,35	185	614	pășune/fâneată	1210,10	3,7700	0,0000	3,7700	0,33	C56

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H139	11,77	192	614	pășune/fâneață	1246,70	3,8886	0,0000	3,8886	0,33	C56
H140	20,12	262	767	grâu/păioasă	1182,00	3,5522	0,0000	3,5522	0,18	C46
H141	29,45	384	767	grâu/păioasă	1406,10	4,123	0,0000	4,1230	0,14	C46
H142	1,51	100	151	grâu/păioasă	169,80	0,5100	0,0000	0,5100	0,34	C58
H143	4,54	103	441	grâu/păioasă	534,70	1,6077	0,0000	1,6077	0,35	C58
H144	5,68	129	441	grâu/păioasă	610,20	1,8349	0,0000	1,8349	0,32	C58
H145	2,90	218	133	grâu/păioasă	281,30	0,8469	0,0000	0,8469	0,29	C57
H146	1,34	101	133	grâu/păioasă	131,50	0,3935	0,0000	0,3935	0,29	C57
H147	8,70	265	328	grâu/păioasă	451,60	1,3560	0,0000	1,3560	0,16	C60
H148	1,95	60	328	grâu/păioasă	171,60	0,2958	0,0437	0,2521	0,13	C60
H149	3,04	100	304	grâu/păioasă	263,10	0,7849	0,0000	0,7849	0,26	C62
H150	11,23	162	694	grâu/păioasă	775,40	2,3229	0,0000	2,3229	0,21	C62
H151	16,52	238	694	grâu/păioasă	772,50	2,3142	0,0000	2,3142	0,14	C62
H152	10,09	182	553	grâu/păioasă	852,80	2,5635	0,0000	2,5635	0,25	C61
H153	15,10	273	553	grâu/păioasă	896,40	2,6948	0,0000	2,6948	0,18	C61
H154	3,05	125	244	grâu/păioasă	223,20	0,6660	0,0000	0,6660	0,22	C63
H155	18,30	391	468	grâu/păioasă	543,50	1,6288	0,0000	1,6288	0,09	C63
H156	6,53	139	468	grâu/păioasă	623,90	1,8743	0,0000	1,8743	0,29	C63
H157	7,57	237	319	grâu/păioasă	385,70	1,1565	0,0000	1,1565	0,15	C64
H158	39,99	325	1230	grâu/păioasă	1741,50	5,2304	0,0000	5,2304	0,13	C64
H159	41,47	337	1230	grâu/păioasă	1949,60	5,8604	0,0000	5,8604	0,14	C64
H160	40,10	436	919	grâu/păioasă	966,50	2,8918	0,0000	2,8918	0,07	C59
H161	22,37	243	919	grâu/păioasă	2023,70	6,1973	0,0000	6,1973	0,28	C59
H162	3,11	151	206	grâu/păioasă	233,80	0,7004	0,0000	0,7004	0,23	C67
H163	4,88	76	643	grâu/păioasă	696,30	2,1082	0,0000	2,1082	0,43	C67
H164	16,10	250	643	grâu/păioasă	1299,10	3,9112	0,0000	3,9112	0,24	C67
H165	4,72	124	382	grâu/păioasă	306,70	0,8920	0,0158	0,8762	0,19	C66
H166	20,21	180	1126	grâu/păioasă	1732,40	5,2076	0,0000	5,2076	0,26	C66
H167	33,76	300	1126	grâu/păioasă	1126,60	3,3682	0,0000	3,3682	0,10	C66
H168	22,75	365	623	grâu/păioasă	621,10	1,8561	0,0000	1,8561	0,08	C65
H169	19,22	308	623	grâu/păioasă	892,30	2,6801	0,0000	2,6801	0,14	C65
H170	10,24	151	676	porumb/prășitoare	1131,60	5,0073	0,0000	5,0073	0,49	C69
H171	11,35	168	676	porumb/prășitoare	1210,80	5,5410	0,0000	5,5410	0,49	C69
H172	1,57	63	252	porumb/prășitoare	187,90	0,5650	0,0000	0,5650	0,36	C71
H173	2,45	94	260	porumb/prășitoare	332,80	1,7322	0,0000	1,7322	0,71	C71
H174	4,16	160	260	porumb/prășitoare	491,70	3,1737	0,0000	3,1737	0,76	C71

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H175	4,79	220	218	porumb/prășitoare	166,50	0,4979	0,0000	0,4979	0,10	C70
H176	4,39	171	257	porumb/prășitoare	464,90	2,1904	0,0000	2,1904	0,50	C70
H177	5,18	201	257	porumb/prășitoare	436,90	1,3781	0,0000	1,3781	0,27	C70
H178	75,34	372	2025	grâu/păioasă	2462,60	7,3850	0,0000	7,3850	0,10	C68
H179	74,50	368	2025	grâu/păioasă	3080,50	9,2573	0,0000	9,2573	0,12	C68
H180	1,56	125	125	porumb/prășitoare	98,50	0,2949	0,0000	0,2949	0,19	C73
H181	17,06	138	1239	porumb/prășitoare	2120,50	12,0300	0,0000	12,0300	0,71	C73
H182	27,18	219	1239	porumb/prășitoare	2757,90	19,8530	0,0000	19,8530	0,73	C73
H183	13,22	197	672	grâu/păioasă	1189,00	3,5781	0,0000	3,5781	0,27	C72
H184	4,72	70	672	grâu/păioasă	459,10	1,3400	0,0079	1,3321	0,28	C72
TOTAL	2357,40				191101,70	2018,3801	0,1114	2018,2687	<b>0,86</b>	media

ALBII, durata ploii 30 minute,  $i = 0.96$  mm/min

Albie	Nod început	Nod sfârșit	Cotă amonte [m]	Cotă aval [m]	Lungime [m]	Lățime [m]	Tip (albie permanentă sau neperm.)	Volum de apă		Volum sedimente [tone]
								7	8	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
C1	19	21	275,00	220,00	826	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C2	21	22	220,00	197,50	756	2,50	neperm.	0,00	0,00	0,00
C3	20	21	250,00	220,00	276	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C4	22	24	197,50	193,00	704	3,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C5	23	22	270,00	197,50	444	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C6	24	26	193,00	188,00	694	3,50	neperm.	6953,30	43,20	
C7	25	24	250,00	193,00	768	2,00	neperm.	3608,30	22,70	
C8	26	1	188,00	187,00	342	4,00	neperm.	13851,30	52,30	
C9	27	26	250,00	188,00	1233	3,00	neperm.	5556,40	29,40	
C10	1	2	187,00	184,00	464	4,50	permanentă	19318,90	109,30	
C11	28	1	230,00	187,00	595	2,00	neperm.	3052,40	16,90	
C12	2	3	184,00	181,00	225	4,70	permanentă	23581,60	143,60	
C13	29	2	225,00	184,00	759	2,00	neperm.	3561,80	22,40	
C14	3	4	181,00	169,00	694	5,50	permanentă	34211,50	374,20	
C15	30	3	225,00	181,00	638	2,00	neperm.	6766,50	133,10	
C16	4	5	169,00	168,00	236	5,70	permanentă	38356,20	293,10	
C17	31	4	225,00	169,00	516	2,00	neperm.	3163,40	16,30	
C18	5	6	168,00	160,00	1013	6,00	permanentă	45340,20	459,80	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C19	32	5	200,00	168,00	311	2,00	neperm.	1658,50	31,10
C20	6	7	160,00	156,00	1241	6,50	permanență	51306,80	346,70
C21	7	8	156,00	155,20	94	7,00	permanență	101311,30	894,20
C22	44	7	162,00	156,00	492	4,00	neperm.	49970,10	522,50
C23	43	44	169,00	162,00	957	3,50	neperm.	44813,10	448,80
C24	45	44	225,00	162,00	622	2,00	neperm.	3680,60	48,50
C25	38	43	182,00	169,00	1211	3,00	neperm.	29628,10	413,30
C26	42	43	172,00	169,00	441	2,50	neperm.	9939,60	108,60
C27	40	42	225,00	172,00	495	1,50	neperm.	4405,80	118,10
C28	41	42	225,00	172,00	309	1,50	neperm.	2047,90	41,60
C29	37	38	190,00	182,00	563	2,00	neperm.	14324,60	228,60
C30	39	38	225,00	182,00	506	1,50	neperm.	4545,00	84,80
C31	35	37	250,00	190,00	1283	1,50	neperm.	6042,70	67,00
C32	36	37	235,00	190,00	551	1,50	neperm.	3218,00	43,50
C33	8	9	155,20	149,20	547	8,00	permanență	107616,80	1048,70
C34	33	8	200,00	155,20	501	3,00	neperm.	2918,10	14,90
C35	34	8	200,00	155,20	372	2,00	neperm.	1250,50	5,90
C36	9	10	149,20	148,00	512	9,00	permanență	109890,50	823,40
C37	46	9	200,00	149,20	406	2,00	neperm.	1946,80	11,00
C38	10	11	148,00	147,00	523	9,00	permanență	113617,10	800,50
C39	49	10	160,00	148,00	208	2,00	neperm.	2397,30	12,80
C40	47	49	200,00	160,00	248	1,00	neperm.	709,80	3,10
C41	48	49	200,00	160,00	240	1,50	neperm.	866,60	3,70
C42	11	12	147,00	146,00	886	10,00	permanență	115373,70	140,30
C43	52	11	155,00	147,00	257	3,00	neperm.	2549,50	13,70
C44	50	52	200,00	155,00	279	2,00	neperm.	1103,60	6,20
C45	51	52	200,00	155,00	258	2,00	neperm.	803,10	3,80
C46	12	13	146,00	145,30	767	11,00	permanență	129974,50	138,10
C47	56	12	159,00	146,00	1232	4,00	neperm.	19030,80	104,90
C48	62	56	193,00	159,00	570	3,00	neperm.	5917,90	30,20
C49	55	56	194,00	159,00	657	2,00	neperm.	6903,70	37,90
C50	57	56	215,00	159,00	328	2,00	neperm.	1085,70	6,00
C51	61	62	205,00	193,00	286	1,50	neperm.	1246,90	4,40
C52	60	62	199,00	193,00	216	2,00	neperm.	2464,10	10,50
C53	59	60	220,00	199,00	149	1,50	neperm.	941,10	4,30
C54	58	60	220,00	199,00	180	1,50	neperm.	724,60	2,90

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C55	54	55	230,00	194,00	359	2,00	neperm.	1524,10	7,60
C56	53	55	235,00	194,00	614	2,00	neperm.	2506,80	10,50
C57	13	14	145,30	144,20	133	11,00	permanentä	131140,20	171,60
C58	63	13	180,00	145,30	441	2,50	neperm.	1301,60	5,70
C59	14	15	144,20	142,00	919	14,00	permanentä	135143,40	269,50
C60	67	14	145,00	144,20	328	5,00	neperm.	8859,30	26,40
C61	66	67	158,00	145,00	553	5,00	neperm.	6824,90	31,10
C62	68	67	185,00	145,00	694	4,00	neperm.	1770,60	7,50
C63	65	66	185,00	158,00	468	3,00	neperm.	1380,50	5,40
C64	64	66	195,00	158,00	1230	4,00	neperm.	3874,10	16,50
C65	15	16	142,00	139,00	623	16,00	permanentä	139545,20	339,30
C66	69	15	180,00	142,00	1126	4,00	neperm.	3006,80	12,80
C67	70	15	185,00	142,00	643	3,00	neperm.	2205,50	9,30
C68	16	17	139,00	132,00	2025	20,00	permanentä	135053,40	500,50
C69	73	16	160,00	139,00	676	3,00	neperm.	4381,30	25,30
C70	71	73	180,00	160,00	257	2,00	neperm.	1077,60	4,80
C71	72	73	180,00	160,00	260	2,00	neperm.	1021,70	6,20
C72	17	18	132,00	129,00	672	22,00	permanentä	136514,80	590,40
C73	74	17	180,00	132,00	1239	3,00	neperm.	4839,70	37,60

VERSANTI, durata ploii 60 minute,  $i = 0.7 \text{ mm/min}$

Versant	Arie		Lungime		Lățime		Folosință	Volum scurgere de suprafață [mc]	Cantitate de sol antrenat [tone]	Depuneri de particule antrenate [tone]	Cantitate de sol pierdut		Pierderi medii [tone/ha]	Albie în care se descarcă
	[ha]	[m]	[m]	[m]	[tone]	[tone]								
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
H1	7,57	188	404	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C1	
H2	15,22	184	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C1	
H3	22,78	276	826	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C1	
H4	4,51	274	164	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C3	
H5	2,66	96	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C3	
H6	6,31	229	276	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C3	
H7	30,60	405	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C2	
H8	22,98	304	756	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C2	
H9	1,91	170	113	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C5	
H10	4,19	94	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C5	
H11	3,33	75	444	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C5	
H12	32,87	467	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C4	
H13	15,82	225	704	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C4	
H14	5,58	125	446	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C7	
H15	23,07	301	768	pășune	3078,10	3,1566	0,0000	0,0000	3,1566	0,14	3,1566	0,14	C7	
H16	16,22	211	768	pășune	3320,40	11,4960	0,0000	0,0000	11,4960	0,71	11,4960	0,71	C7	
H17	16,72	241	694	pășune	3373,10	4,1010	0,0000	0,0000	4,1010	0,25	4,1010	0,25	C6	
H18	27,99	403	694	pășune	3755,80	20,7686	0,0000	0,0000	20,7686	0,74	20,7686	0,74	C6	
H19	1,88	100	188	pădure	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	C9	
H20	61,26	497	1233	pășune	6099,50	5,3672	0,0000	0,0000	5,3672	0,09	5,3672	0,09	C9	
H21	34,47	280	1233	pășune	7060,20	16,1400	0,0000	0,0000	16,1400	0,47	16,1400	0,47	C9	
H22	12,68	370	342	pășune	1615,50	2,2070	0,0000	0,0000	2,2070	0,17	2,2070	0,17	C8	
H23	6,42	187	342	pășune	1326,90	1,5546	0,0000	0,0000	1,5546	0,24	1,5546	0,24	C8	
H24	5,79	309	188	pășune	753,60	0,6978	0,0000	0,0000	0,6978	0,12	0,6978	0,12	C11	
H25	9,49	159	595	pășune	1922,00	2,3353	0,0000	0,0000	2,3353	0,25	2,3353	0,25	C11	
H26	13,95	234	595	pășune	2822,70	6,0699	0,0000	0,0000	6,0699	0,44	6,0699	0,44	C11	
H27	10,38	224	464	porumb/prășitoare	2355,10	20,4860	0,0000	0,0000	20,4860	1,97	20,4860	1,97	C10	
H28	13,45	290	464	porumb/prășitoare	3052,70	39,2300	0,0000	0,0000	39,2300	2,92	39,2300	2,92	C10	
H29	1,76	125	141	pășune	183,10	0,1583	0,0000	0,0000	0,1583	0,09	0,1583	0,09	C13	
H30	30,61	403	759	pășune	3659,50	4,2781	0,0000	0,0000	4,2781	0,14	4,2781	0,14	C13	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H31	14,14	186	759	pășune	2887,40	10,7280	0,0000	10,7280	0,76	C13
H32	4,75	211	225	porumb/prășitoare	1084,30	4,4665	0,0000	4,4665	0,94	C12
H33	1,87	83	225	porumb/prășitoare	420,10	0,6549	0,0000	0,6549	0,35	C12
H34	6,69	264	253	pășune	1873,50	21,4280	0,0000	21,4280	3,20	C15
H35	17,27	271	638	pășune	4768,70	73,8000	0,0000	73,8000	4,27	C15
H36	15,54	244	638	pășune	4345,20	63,8070	0,0000	63,8070	4,11	C15
H37	31,23	450	694	porumb/prășitoare	4826,50	75,9120	0,0000	75,9120	2,43	C14
H38	21,47	309	694	porumb/prășitoare	4905,00	55,0290	0,0000	55,0290	2,56	C14
H39	7,32	188	391	grâu/păioasă	1467,20	1,2907	0,0000	1,2907	0,18	C17
H40	13,13	255	516	grâu/păioasă	2678,20	5,1534	0,0000	5,1534	0,39	C17
H41	8,87	172	516	grâu/păioasă	1809,70	1,7777	0,0000	1,7777	0,20	C17
H42	3,44	146	236	porumb/prășitoare	785,50	5,1503	0,0000	5,1503	1,50	C16
H43	9,54	405	236	porumb/prășitoare	1458,70	17,2370	0,0000	17,2370	1,81	C16
H44	5,02	188	267	porumb/prășitoare	1325,10	33,0300	0,0000	33,0300	6,58	C19
H45	2,59	83	311	porumb/prășitoare	591,20	3,7163	0,0000	3,7163	1,44	C19
H46	3,22	104	311	porumb/prășitoare	739,40	3,5322	0,0000	3,5322	1,10	C19
H47	62,18	614	1013	porumb/prășitoare	7858,00	118,1400	0,0000	118,1400	1,90	C18
H48	40,82	403	1013	porumb/prășitoare	6691,20	119,9400	0,0000	119,9400	2,94	C18
H49	36,65	295	1241	porumb/prășitoare	8437,80	130,0709	0,0000	130,0709	3,55	C20
H50	44,22	356	1241	porumb/prășitoare	7473,80	113,5570	0,0000	113,5570	2,58	C20
H51	7,16	146	492	grâu/păioasă	1408,00	1,2389	0,0000	1,2389	0,17	C22
H52	13,61	277	492	grâu/păioasă	1888,20	2,0682	0,0000	2,0682	0,15	C22
H53	3,61	70	514	porumb/prășitoare	803,00	0,8747	0,0000	0,8747	0,24	C24
H54	11,96	192	622	porumb/prășitoare	2723,90	27,2440	0,0000	27,2440	2,28	C24
H55	13,32	214	622	porumb/prășitoare	3059,10	34,3000	0,0000	34,3000	2,58	C24
H56	29,40	307	957	porumb/prășitoare	6732,10	108,3400	0,0000	108,3400	3,69	C23
H57	46,66	487	957	porumb/prășitoare	7003,40	117,1800	0,0000	117,1800	2,51	C23
H58	5,41	123	441	pășune degradată	1511,90	19,7390	0,0000	19,7390	3,65	C26
H59	14,18	322	441	pășune degradată	3926,90	78,5640	0,0000	78,5640	5,54	C26
H60	2,28	124	184	pășune degradată	639,90	5,2577	0,0000	5,2577	2,30	C27
H61	11,90	240	495	pășune degradată	3342,70	84,6770	0,0000	84,6770	7,12	C27
H62	9,10	184	495	pășune degradată	2553,50	55,3330	0,0000	55,3330	6,08	C27
H63	1,47	100	147	pășune degradată	411,20	2,2548	0,0000	2,2548	1,54	C28
H64	3,57	116	309	pășune degradată	1007,70	18,2740	0,0000	18,2740	5,11	C28
H65	3,85	125	309	pășune degradată	1083,40	16,3480	0,0000	16,3480	4,25	C28
H66	20,58	170	1211	pășune degradată	5761,30	105,3696	0,0000	105,3696	5,12	C25

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H67	45,48	376	1211	pășune degradată	12732,00	309,4914	0,0000	309,4914	6,81	C25
H68	5,05	282	179	pășune degradată	1392,40	9,7136	0,0000	9,7136	1,92	C30
H69	8,07	159	506	pășune degradată	2291,10	26,3810	0,0000	26,3810	3,27	C30
H70	12,44	246	506	pășune degradată	3498,90	59,6170	0,0000	59,6170	4,79	C30
H71	11,35	202	563	pășune degradată	3198,50	45,8460	0,0000	45,8460	4,04	C29
H72	18,56	330	563	pășune degradată	5196,80	107,6100	0,0000	107,6100	5,80	C29
H73	1,98	141	141	porumb/prășitoare	422,10	0,4845	0,0000	0,4845	0,24	C32
H74	13,10	238	551	porumb/prășitoare	3042,80	38,0160	0,0000	38,0160	2,90	C32
H75	12,41	225	551	porumb/prășitoare	2836,30	26,4410	0,0000	26,4410	2,13	C32
H76	1,00	100	100	porumb/prășitoare	207,80	0,1824	0,0000	0,1824	0,18	C31
H77	28,04	219	1283	porumb/prășitoare	6180,80	32,6386	0,0000	32,6386	1,16	C31
H78	60,66	473	1283	porumb/prășitoare	8490,60	97,3593	0,0000	97,3593	1,61	C31
H79	2,12	225	94	porumb/prășitoare	401,90	2,5313	0,0000	2,5313	1,20	C21
H80	0,53	56	94	porumb/prășitoare	98,50	0,0865	0,0000	0,0865	0,16	C21
H81	14,42	311	463	grâu/păioasă	2035,30	5,1624	0,0000	5,1624	0,36	C34
H82	4,64	93	501	grâu/păioasă	882,50	0,7765	0,0000	0,7765	0,17	C34
H83	10,11	202	501	grâu/păioasă	2051,80	2,5503	0,0000	2,5503	0,25	C34
H84	4,82	248	194	grâu/păioasă	954,90	0,8906	0,0000	0,8906	0,18	C35
H85	3,18	86	372	grâu/păioasă	654,30	0,5778	0,0000	0,5778	0,18	C35
H86	1,71	46	372	grâu/păioasă	354,20	0,3127	0,0000	0,3127	0,18	C35
H87	14,51	265	547	porumb/prășitoare	3252,80	31,7189	0,0000	31,7189	2,19	C33
H88	25,82	472	547	porumb/prășitoare	3902,50	82,1076	0,0000	82,1076	3,18	C33
H89	1,52	41	370	pășune/făneată	284,60	0,2497	0,0000	0,2497	0,16	C37
H90	7,35	181	406	pășune/făneată	1522,20	1,8327	0,0000	1,8327	0,25	C37
H91	7,12	175	406	pășune/făneată	1447,00	1,4545	0,0000	1,4545	0,20	C37
H92	12,55	245	512	porumb/prășitoare	2872,50	32,8070	0,0000	32,8070	2,61	C36
H93	14,86	290	512	porumb/prășitoare	3427,00	38,3239	0,0000	38,3239	2,58	C36
H94	5,86	282	208	pășune/făneată	1166,70	2,7110	0,0000	2,7110	0,46	C39
H95	2,22	107	208	pășune/făneată	453,50	0,4005	0,0000	0,4005	0,18	C39
H96	1,18	118	100	pășune/făneată	221,90	0,1947	0,0000	0,1947	0,16	C40
H97	1,43	58	248	pășune/făneată	286,40	0,2529	0,0000	0,2529	0,18	C40
H98	2,01	81	248	pășune/făneată	409,60	0,3618	0,0000	0,3618	0,18	C40
H99	2,60	137	190	pășune/făneată	315,90	0,2758	0,0000	0,2758	0,11	C41
H100	3,48	145	240	pășune/făneată	683,70	0,6025	0,0000	0,6025	0,17	C41
H101	1,65	69	240	pășune/făneată	344,10	0,3039	0,0000	0,3039	0,18	C41
H102	23,21	444	523	porumb/prășitoare	3630,20	65,2201	0,0000	65,2201	2,81	C38



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H103	14,55	279	523	porumb/prășitoare	2287,20	11,0150	0,0000	11,0150	0,76	C38
H104	1,84	71	257	pășune/fâneată	370,20	0,3269	0,0000	0,3269	0,18	C43
H105	1,51	59	257	pășune/fâneată	308,50	0,2725	0,0000	0,2725	0,18	C43
H106	2,10	100	210	pășune/fâneată	387,40	0,3397	0,0000	0,3397	0,16	C44
H107	3,75	134	279	pășune/fâneată	757,70	1,5475	0,0000	1,5475	0,41	C44
H108	2,44	87	279	pășune/fâneată	489,10	0,4316	0,0000	0,4316	0,18	C44
H109	1,00	100	100	pășune/fâneată	180,30	0,1576	0,0000	0,1576	0,16	C45
H110	2,71	105	258	pășune/fâneată	539,20	0,4759	0,0000	0,4759	0,18	C45
H111	1,70	66	258	pășune/fâneată	345,80	0,3054	0,0000	0,3054	0,18	C45
H112	20,53	232	886	porumb/prășitoare	4505,70	20,5700	0,0000	20,5700	1,00	C42
H113	22,78	257	886	porumb/prășitoare	5276,10	67,1554	0,0000	67,1554	2,95	C42
H114	40,54	329	1232	pășune/fâneată	5426,30	9,0982	0,0000	9,0982	0,22	C47
H115	22,75	185	1232	pășune/fâneată	4634,30	4,7236	0,0000	4,7236	0,21	C47
H116	13,42	236	570	pășune/fâneată	1779,90	1,5661	0,0000	1,5661	0,12	C48
H117	9,59	168	570	pășune/fâneată	1949,60	2,6714	0,0000	2,6714	0,28	C48
H118	3,57	290	123	pășune/fâneată	436,50	0,3840	0,0000	0,3840	0,11	C51
H119	5,29	185	286	pășune/fâneată	698,30	0,6125	0,0000	0,6125	0,12	C51
H120	5,53	193	286	pășune/fâneată	1105,40	1,0007	0,0000	1,0007	0,18	C51
H121	3,68	170	216	pășune/fâneată	746,30	0,6586	0,0000	0,6586	0,18	C52
H122	2,84	131	216	pășune/fâneată	592,60	0,5230	0,0000	0,5230	0,18	C52
H123	2,71	131	206	pășune/fâneată	526,80	0,4635	0,0000	0,4635	0,17	C53
H124	2,47	166	149	pășune/fâneată	506,60	0,8872	0,0000	0,8872	0,36	C53
H125	2,99	201	149	pășune/fâneată	571,30	0,5814	0,0000	0,5814	0,19	C53
H126	1,00	100	100	pășune/fâneată	184,80	0,1620	0,0000	0,1620	0,16	C54
H127	2,94	164	180	pășune/fâneată	573,90	0,5057	0,0000	0,5057	0,17	C54
H128	2,09	116	180	pășune/fâneată	416,90	0,3682	0,0000	0,3682	0,18	C54
H129	10,25	156	657	pășune/fâneată	2075,10	1,9107	0,0000	1,9107	0,19	C49
H130	15,93	242	657	pășune/fâneată	3269,90	6,5874	0,0000	6,5874	0,41	C49
H131	1,47	174	84	pășune/fâneată	274,50	0,2408	0,0000	0,2408	0,16	C50
H132	3,62	110	328	pășune/fâneată	741,70	0,7762	0,0000	0,7762	0,21	C50
H133	2,16	66	328	pășune/fâneată	442,60	0,3909	0,0000	0,3909	0,18	C50
H134	1,00	100	100	pășune/fâneată	180,30	0,1576	0,0000	0,1576	0,16	C55
H135	4,07	113	359	pășune/fâneată	825,10	0,7286	0,0000	0,7286	0,18	C55
H136	7,48	208	359	pășune/fâneată	1548,70	2,4849	0,0000	2,4849	0,33	C55
H137	0,50	50	100	pășune/fâneată	90,20	0,0788	0,0000	0,0788	0,16	C56
H138	11,35	185	614	pășune/fâneată	2235,10	1,9698	0,0000	1,9698	0,17	C56

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H139	11,77	192	614	pășune/fâneată	2347,00	2,0664	0,0000	2,0664	0,18	C56
H140	20,12	262	767	grâu/păioasă	2386,10	2,0932	0,0000	2,0932	0,10	C46
H141	29,45	384	767	grâu/păioasă	3202,30	2,7978	0,0000	2,7978	0,10	C46
H142	1,51	100	151	grâu/păioasă	282,70	0,2479	0,0000	0,2479	0,16	C58
H143	4,54	103	441	grâu/păioasă	864,50	0,7585	0,0000	0,7585	0,17	C58
H144	5,68	129	441	grâu/păioasă	1083,00	0,9502	0,0000	0,9502	0,17	C58
H145	2,90	218	133	grâu/păioasă	595,10	0,5245	0,0000	0,5245	0,18	C57
H146	1,34	101	133	grâu/păioasă	251,20	0,2195	0,0000	0,2195	0,16	C57
H147	8,70	265	328	grâu/păioasă	976,70	0,8565	0,0000	0,8565	0,10	C60
H148	1,95	60	328	grâu/păioasă	340,10	0,2934	0,0000	0,2934	0,15	C60
H149	3,04	100	304	grâu/păioasă	540,80	0,4708	0,0000	0,4708	0,16	C62
H150	11,23	162	694	grâu/păioasă	1361,30	1,1897	0,0000	1,1897	0,11	C62
H151	16,52	238	694	grâu/păioasă	1713,00	1,4969	0,0000	1,4969	0,09	C62
H152	10,09	182	553	grâu/păioasă	1890,90	1,6589	0,0000	1,6589	0,16	C61
H153	15,10	273	553	grâu/păioasă	1804,20	1,5829	0,0000	1,5829	0,10	C61
H154	3,05	125	244	grâu/păioasă	373,50	0,3252	0,0000	0,3252	0,11	C63
H155	18,30	391	468	grâu/păioasă	1412,20	1,2342	0,0000	1,2342	0,07	C63
H156	6,53	139	468	grâu/păioasă	1217,90	1,0683	0,0000	1,0683	0,16	C63
H157	7,57	237	319	grâu/păioasă	825,30	0,7215	0,0000	0,7215	0,10	C64
H158	39,99	325	1230	grâu/păioasă	4099,10	3,5952	0,0000	3,5952	0,09	C64
H159	41,47	337	1230	grâu/păioasă	4442,10	3,8971	0,0000	3,8971	0,09	C64
H160	40,10	436	919	grâu/păioasă	2524,20	2,2055	0,0000	2,2055	0,06	C59
H161	22,37	243	919	grâu/păioasă	4495,70	4,4132	0,0000	4,4132	0,20	C59
H162	3,11	151	206	grâu/păioasă	390,70	0,3415	0,0000	0,3415	0,11	C67
H163	4,88	76	643	grâu/păioasă	960,10	0,8461	0,0000	0,8461	0,17	C67
H164	16,10	250	643	grâu/păioasă	2165,80	1,9058	0,0000	1,9058	0,12	C67
H165	4,72	124	382	grâu/păioasă	553,00	0,4809	0,0000	0,4809	0,10	C66
H166	20,21	180	1126	grâu/păioasă	3820,70	3,3519	0,0000	3,3519	0,17	C66
H167	33,76	300	1126	grâu/păioasă	2863,60	2,5010	0,0000	2,5010	0,07	C66
H168	22,75	365	623	grâu/păioasă	1624,30	1,4185	0,0000	1,4185	0,06	C65
H169	19,22	308	623	grâu/păioasă	2044,90	1,7935	0,0000	1,7935	0,09	C65
H170	10,24	151	676	porumb/prășitoare	2208,30	4,5574	0,0000	4,5574	0,45	C69
H171	11,35	168	676	porumb/prășitoare	2477,10	6,0062	0,0000	6,0062	0,53	C69
H172	1,57	63	252	porumb/prășitoare	322,50	0,2822	0,0000	0,2822	0,18	C71
H173	2,45	94	260	porumb/prășitoare	524,70	0,9837	0,0000	0,9837	0,40	C71
H174	4,16	160	260	porumb/prășitoare	911,00	3,5150	0,0000	3,5150	0,85	C71

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H175	4,79	220	218	porumb/prășitoare	532,90	0,4644	0,0000	0,4644	0,10	C70
H176	4,39	171	257	porumb/prășitoare	953,50	2,4542	0,0000	2,4542	0,56	C70
H177	5,18	201	257	porumb/prășitoare	829,50	1,1769	0,0000	1,1769	0,23	C70
H178	75,34	372	2025	grâu/păioasă	6300,20	5,5073	0,0000	5,5073	0,07	C68
H179	74,50	368	2025	grâu/păioasă	7430,90	6,5186	0,0000	6,5186	0,09	C68
H180	1,56	125	125	porumb/prășitoare	219,20	0,1910	0,0000	0,1910	0,12	C73
H181	17,06	138	1239	porumb/prășitoare	3776,60	10,7850	0,0000	10,7850	0,63	C73
H182	27,18	219	1239	porumb/prășitoare	6027,80	32,6830	0,0000	32,6830	1,20	C73
H183	13,22	197	672	grâu/păioasă	2561,80	2,2539	0,0000	2,2539	0,17	C72
H184	4,72	70	672	grâu/păioasă	831,80	0,7231	0,0000	0,7231	0,15	C72
TOTAL	2357,40				372444,70	2966,5542	0,0000	2966,5541	<b>1,26</b>	media

ALBII, durata ploii 60 minute,  $i = 0.7$  mm/min

Albie	Nod început	Nod sfârșit	Cotă amonte [m]	Cotă aval [m]	Lungime [m]	Lățime		Tip (albie permanentă sau nepermanentă)	Volum de apă		Volum sedimente [tone]
						[m]	[m]		[mc]	[tone]	
0	1	2									
C1	19	21	275,00	220,00	826	2,00	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C2	21	22	220,00	197,50	756	2,50	2,50	neperm.	0,00	0,00	0,00
C3	20	21	250,00	220,00	276	2,00	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C4	22	24	197,50	193,00	704	3,00	3,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C5	23	22	270,00	197,50	444	2,00	2,00	neperm.	0,00	0,00	0,00
C6	24	26	193,00	188,00	694	3,50	3,50	neperm.	13337,70	49,90	49,90
C7	25	24	250,00	193,00	768	2,00	2,00	neperm.	6427,20	22,40	22,40
C8	26	1	188,00	187,00	342	4,00	4,00	neperm.	29321,00	94,70	94,70
C9	27	26	250,00	188,00	1233	3,00	3,00	neperm.	13226,70	39,40	39,40
C10	1	2	187,00	184,00	464	4,50	4,50	permanentă	40165,90	184,90	184,90
C11	28	1	230,00	187,00	595	2,00	2,00	neperm.	5520,50	14,90	14,90
C12	2	3	184,00	181,00	225	4,70	4,70	permanentă	48455,40	225,90	225,90
C13	29	2	225,00	184,00	759	2,00	2,00	neperm.	6757,50	21,60	21,60
C14	3	4	181,00	169,00	694	5,50	5,50	permanentă	69081,70	595,40	595,40
C15	30	3	225,00	181,00	638	2,00	2,00	neperm.	11011,10	170,20	170,20
C16	4	5	169,00	168,00	236	5,70	5,70	permanentă	77219,90	642,90	642,90
C17	31	4	225,00	169,00	516	2,00	2,00	neperm.	5975,20	15,60	15,60
C18	5	6	168,00	160,00	1013	6,00	6,00	permanentă	94092,40	992,60	992,60

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C19	32	5	200,00	168,00	311	2,00	neperm.	2667,70	42,80
C20	6	7	160,00	156,00	1241	6,50	permanență	108864,70	631,40
C21	7	8	156,00	155,20	94	7,00	permanență	201780,50	1490,80
C22	44	7	162,00	156,00	492	4,00	neperm.	92548,20	814,90
C23	43	44	169,00	162,00	957	3,50	neperm.	82914,80	707,00
C24	45	44	225,00	162,00	622	2,00	neperm.	6609,90	70,70
C25	38	43	182,00	169,00	1211	3,00	neperm.	55045,10	761,20
C26	42	43	172,00	169,00	441	2,50	neperm.	14520,00	136,50
C27	40	42	225,00	172,00	495	1,50	neperm.	6550,60	152,20
C28	41	42	225,00	172,00	309	1,50	neperm.	2511,80	39,50
C29	37	38	190,00	182,00	563	2,00	neperm.	29645,20	383,80
C30	39	38	225,00	182,00	506	1,50	neperm.	7196,80	102,90
C31	35	37	250,00	190,00	1283	1,50	neperm.	14913,80	148,50
C32	36	37	235,00	190,00	551	1,50	neperm.	6316,70	70,80
C33	8	9	155,20	149,20	547	8,00	permanență	215359,80	1773,40
C34	33	8	200,00	155,20	501	3,00	neperm.	4995,70	13,80
C35	34	8	200,00	155,20	372	2,00	neperm.	1981,10	4,80
C36	9	10	149,20	148,00	512	9,00	permanență	223330,90	1417,60
C37	46	9	200,00	149,20	406	2,00	neperm.	3278,70	8,80
C38	10	11	148,00	147,00	523	9,00	permanență	232273,10	1407,90
C39	49	10	160,00	148,00	208	2,00	neperm.	3911,90	11,20
C40	47	49	200,00	160,00	248	1,00	neperm.	923,00	1,80
C41	48	49	200,00	160,00	240	1,50	neperm.	1351,00	2,50
C42	11	12	147,00	146,00	886	10,00	permanență	242162,60	1272,60
C43	52	11	155,00	147,00	257	3,00	neperm.	3411,30	7,60
C44	50	52	200,00	155,00	279	2,00	neperm.	1645,50	4,00
C45	51	52	200,00	155,00	258	2,00	neperm.	1075,90	2,00
C46	12	13	146,00	145,30	767	11,00	permanență	277379,80	1197,60
C47	56	12	159,00	146,00	1232	4,00	neperm.	34026,80	96,50
C48	62	56	193,00	159,00	570	3,00	neperm.	10145,10	24,60
C49	55	56	194,00	159,00	657	2,00	neperm.	12631,80	35,50
C50	57	56	215,00	159,00	328	2,00	neperm.	1472,20	3,20
C51	61	62	205,00	193,00	286	1,50	neperm.	2247,80	2,90
C52	60	62	199,00	193,00	216	2,00	neperm.	4136,60	6,80
C53	59	60	220,00	199,00	149	1,50	neperm.	1609,20	2,80
C54	58	60	220,00	199,00	180	1,50	neperm.	1180,90	1,70

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C55	54	55	230,00	194,00	359	2,00	neperm.	2568,00	5,50
C56	53	55	235,00	194,00	614	2,00	neperm.	4695,00	8,60
C57	13	14	145,30	144,20	133	11,00	permanentä	280159,20	1252,10
C58	63	13	180,00	145,30	441	2,50	neperm.	2258,70	4,70
C59	14	15	144,20	142,00	919	14,00	permanentä	302999,20	1206,90
C60	67	14	145,00	144,20	328	5,00	neperm.	20659,10	39,10
C61	66	67	158,00	145,00	553	5,00	neperm.	15896,50	34,80
C62	68	67	185,00	145,00	694	4,00	neperm.	3665,60	7,20
C63	65	66	185,00	158,00	468	3,00	neperm.	3029,20	4,90
C64	64	66	195,00	158,00	1230	4,00	neperm.	9269,00	18,10
C65	15	16	142,00	139,00	623	16,00	permanentä	315984,30	1314,10
C66	69	15	180,00	142,00	1126	4,00	neperm.	7165,00	13,90
C67	70	15	185,00	142,00	643	3,00	neperm.	3553,40	7,10
C68	16	17	139,00	132,00	2025	20,00	permanentä	329744,00	1587,40
C69	73	16	160,00	139,00	676	3,00	neperm.	8814,90	28,80
C70	71	73	180,00	160,00	257	2,00	neperm.	2325,70	5,50
C71	72	73	180,00	160,00	260	2,00	neperm.	1768,00	5,80
C72	17	18	132,00	129,00	672	22,00	permanentä	340178,00	1742,90
C73	74	17	180,00	132,00	1239	3,00	neperm.	10089,60	55,40

Single storm  
USDA WATER EROSION PREDICTION PROJECT

-----  
HILLSLOPE PROFILE AND WATERSHED MODEL  
VERSION 2004.700

September 7, 2004

TO REPORT PROBLEMS OR TO BE PUT ON THE MAILING  
LIST FOR FUTURE WEPP MODEL RELEASES, PLEASE CONTACT:

WEPP TECHNICAL SUPPORT  
USDA-AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE  
NATIONAL SOIL EROSION RESEARCH LABORATORY  
1196 BUILDING SOIL, PURDUE UNIVERSITY  
WEST LAFAYETTE, IN 47907-1196 USA

PHONE: (765) 494-8673  
FAX: (765) 494-5948  
email: wepp@ecn.purdue.edu  
URL: http://topsoil.nserl.purdue.edu

HILLSLOPE INPUT DATA FILES - VERSION 2004.700  
September 7, 2004

MANAGEMENT: p0.man  
MAN. PRACTICE: description 1  
description 2  
description 3

SLOPE: 141.slp  
CLIMATE: erikafinal30.cli  
Station: DES MOINES WB AP IA  
SOIL: erikasol.sol  
PLANE 1 erikasol SIL  
CLIGEN VERSION 4.30

I. SINGLE STORM HYDROLOGY

-----  
infiltration, rainfall excess, and runoff hydrograph for event of 07/07/05  
hydrology summary

-----  
rainfall amount 28.80 (mm)  
rainfall duration 12.00 (min)  
normalized peak intensity 1.01  
normalized time to peak 0.20

rainfall  
time intensity  
(min) (mm/hr)  
-----  
0.00 144.54  
5.98 143.46  
12.00 0.00

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

hillslope 141  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

overland flow element 1

\*\*\*\*\*

infiltration input parameters

-----

effective saturated conductivity	5.20 (mm/h)
effective matric potential	32.64 (mm)
effective porosity	0.41 (mm/mm)
saturation	70.00 (%)
canopy cover	50.00 (%)
surface cover	50.00 (%)

input runoff parameters

-----

plane length	384.00 (m)
discharge exponent	1.50
average slope of profile	0.07
chezy coefficient	1.77 (m**0.5/s)

output runoff parameters

-----

equivalent sat. hydr. cond.	5.20 (mm/hr)
equivalent matr. potential	32.64 (mm)
average pore fraction	0.43 (m/m)
average saturation fraction	0.30 (m/m)

runoff output

-----

runoff volume	3.53 (mm)
peak runoff rate	10.06 (mm/hr)
effective runoff duration	21.04 (min)
effective length	384.00 (meters)

output runoff hydrograph for hillslope 141

-----

		cumul.	
index	time	rate	depth
	(min)	(mm/h)	(mm)

-----

1	0.00	0.00	0.00
2	0.73	0.00	0.00
3	1.00	0.00	0.00
4	2.00	0.00	0.00
5	3.00	0.12	0.00
6	4.00	0.57	0.00
7	5.00	1.23	0.01
8	5.98	2.06	0.02
9	7.00	3.08	0.05
10	8.00	4.22	0.09
11	9.00	5.50	0.15
12	10.00	6.90	0.23
13	11.00	8.42	0.34
14	12.00	10.06	0.46
15	13.00	10.06	0.62
16	14.00	10.06	0.79

17	15.00	10.06	0.95
18	16.00	10.06	1.12
19	17.00	10.06	1.29
20	18.00	10.06	1.46
21	19.00	10.06	1.62
22	20.00	10.06	1.79
23	21.00	10.06	1.96
24	22.00	10.06	2.13
25	23.00	10.06	2.29
26	24.00	10.06	2.46
27	25.00	10.06	2.63
28	26.00	10.06	2.80
29	27.00	10.06	2.97
30	28.00	10.06	3.13
31	29.00	10.06	3.30
32	30.00	10.06	3.47
33	31.00	10.06	3.64
34	32.00	10.06	3.80
35	33.00	10.06	3.97
36	34.00	10.06	4.14
37	35.00	10.06	4.31
38	36.00	10.06	4.47
39	37.00	10.06	4.64
40	38.00	10.06	4.81
41	39.00	10.06	4.98
42	40.00	10.06	5.14
43	41.00	10.06	5.31
44	42.00	10.06	5.48
45	43.00	10.06	5.65
46	44.00	10.06	5.81
47	45.00	10.06	5.98
48	46.00	10.06	6.15
49	47.00	10.06	6.32
50	48.00	10.06	6.48
51	49.00	10.06	6.65
52	50.00	10.06	6.82
53	51.00	10.06	6.99
54	52.00	10.06	7.16
55	53.00	10.06	7.32
56	54.00	10.06	7.49
57	55.00	10.06	7.66
58	56.00	10.06	7.83
59	57.00	10.06	7.99
60	58.00	10.06	8.16
61	59.00	10.06	8.33
62	60.00	10.06	8.50
63	61.00	10.06	8.66
64	62.00	10.06	8.83

---

runoff hydrograph summary for hillslope 141

---

rainfall volume	28.40 (mm)
infiltration volume	24.88 (mm)
runoff volume	3.53 (mm)
peak rainfall intensity	144.54 (mm/h)
effective rainfall intensity	143.89 (mm/h)



effective rainfall duration 10.00 (min)  
 final infiltration rate 24.95 (mm/h)  
 peak runoff rate 10.06 (mm/h)  
 duration of rainfall 12.00 (min)  
 time to first ponding 0.73 (min)  
 effective runoff duration 21.04 (min)  
 effective length 384.00 (meters)

## II. ON SITE EFFECTS

### A. AREA OF NET SOIL LOSS

\*\* Soil Loss (Avg. of Net Detachment Areas) = 0.010 kg/m2 \*\*

\*\* Maximum Soil Loss = 0.011 kg/m2 at 145.92 meters \*\*

\*\* Interrill Contribution = 0.011 kg/m2 for OFE # 1

Area of Net Loss (m)	Soil Loss MEAN (kg/m2)	Soil Loss STDEV (kg/m2)	MAX Loss (m)	MAX Loss (kg/m2)	MIN Loss (m)	MIN Loss (kg/m2)
0.00-295.68	0.011	0.001	0.011	145.92	0.002	3.84
322.56-376.32	0.004	0.002	0.006	372.48	0.000	326.40

### B. AREA OF SOIL DEPOSITION

\*\* Soil Deposition (Avg. of Net Deposition Areas) = -0.046 kg/m2 \*\*

\*\* Maximum Soil Deposition = -0.126 kg/m2 at 303.36 meters \*\*

Area of Net Dep (m)	Soil Dep MEAN (kg/m2)	Soil Dep STDEV (kg/m2)	MAX Dep (m)	MAX Dep (kg/m2)	MIN Dep (m)	MIN Dep (kg/m2)
295.68-322.56	-0.046	0.043	-0.126	303.36	-0.003	322.56
376.32-384.00	-0.045	0.018	-0.058	384.00	-0.032	380.16

### C. SOIL LOSS/DEPOSITION ALONG SLOPE PROFILE

Profile distances are from top to bottom of hillslope

distance (m)	soil loss (kg/m2)	flow elem	distance (m)	soil loss (kg/m2)	flow elem	distance (m)	soil loss (kg/m2)	flow elem
3.84	0.002	1	134.40	0.011	1	264.96	0.011	1
7.68	0.011	1	138.24	0.011	1	268.80	0.011	1
11.52	0.011	1	142.08	0.011	1	272.64	0.011	1
15.36	0.011	1	145.92	0.011	1	276.48	0.011	1
19.20	0.011	1	149.76	0.011	1	280.32	0.011	1
23.04	0.011	1	153.60	0.011	1	284.16	0.011	1
26.88	0.011	1	157.44	0.011	1	288.00	0.011	1
30.72	0.011	1	161.28	0.011	1	291.84	0.011	1
34.56	0.011	1	165.12	0.011	1	295.68	0.011	1
38.40	0.011	1	168.96	0.011	1	299.52	-0.055	1
42.24	0.011	1	172.80	0.011	1	303.36	-0.126	1
46.08	0.011	1	176.64	0.011	1	307.20	-0.070	1

49.92	0.011	1	180.48	0.011	1	311.04	-0.038	1
53.76	0.011	1	184.32	0.011	1	314.88	-0.020	1
57.60	0.011	1	188.16	0.011	1	318.72	-0.009	1
61.44	0.011	1	192.00	0.011	1	322.56	-0.003	1
65.28	0.011	1	195.84	0.011	1	326.40	0.000	1
69.12	0.011	1	199.68	0.011	1	330.24	0.003	1
72.96	0.011	1	203.52	0.011	1	334.08	0.004	1
76.80	0.011	1	207.36	0.011	1	337.92	0.005	1
80.64	0.011	1	211.20	0.011	1	341.76	0.005	1
84.48	0.011	1	215.04	0.011	1	345.60	0.005	1
88.32	0.011	1	218.88	0.011	1	349.44	0.005	1
92.16	0.011	1	222.72	0.011	1	353.28	0.006	1
96.00	0.011	1	226.56	0.011	1	357.12	0.006	1
99.84	0.011	1	230.40	0.011	1	360.96	0.006	1
103.68	0.011	1	234.24	0.011	1	364.80	0.006	1
107.52	0.011	1	238.08	0.011	1	368.64	0.006	1
111.36	0.011	1	241.92	0.011	1	372.48	0.006	1
115.20	0.011	1	245.76	0.011	1	376.32	0.001	1
119.04	0.011	1	249.60	0.011	1	380.16	-0.032	1
122.88	0.011	1	253.44	0.011	1	384.00	-0.058	1
126.72	0.011	1	257.28	0.011	1			
130.56	0.011	1	261.12	0.011	1			

note: (+) soil loss - detachment (-) soil loss - deposition

### III. OFF SITE EFFECTS

A. SEDIMENT LEAVING PROFILE for jul 7 1 1.771 kg/m

Predicted sediment leaving side of OFE 1 is 0.000 kg/m width

B. SEDIMENT CHARACTERISTICS AND ENRICHMENT

Sediment particle information leaving profile

Class	Diameter (mm)	Particle Composition			Detached Fraction		Sediment In Flow Fraction	In Flow Exiting
		Specific Gravity	% Sand	% Silt	% Clay	% O.M.		
1	0.002	2.60	0.0	0.0	100.0	8.4	0.055	0.189
2	0.010	2.65	0.0	100.0	0.0	0.0	0.103	0.108
3	0.030	1.80	0.0	66.2	33.8	2.8	0.311	0.523
4	0.423	1.60	62.5	25.2	12.3	1.0	0.416	0.164
5	0.200	2.65	100.0	0.0	0.0	0.0	0.114	0.016

SSA enrichment ratio leaving profile for jul 7 1 = 1.75

În figurile a3.1.....a3.12 se prezintă evoluția eroziunii relative pe versanții H18 (folosința pășune bine încheată), H67 (folosința pășune parțial degradată) și H78 (folosința plante prășitoare) în cele patru ipoteze de producere a ploilor torențiale.

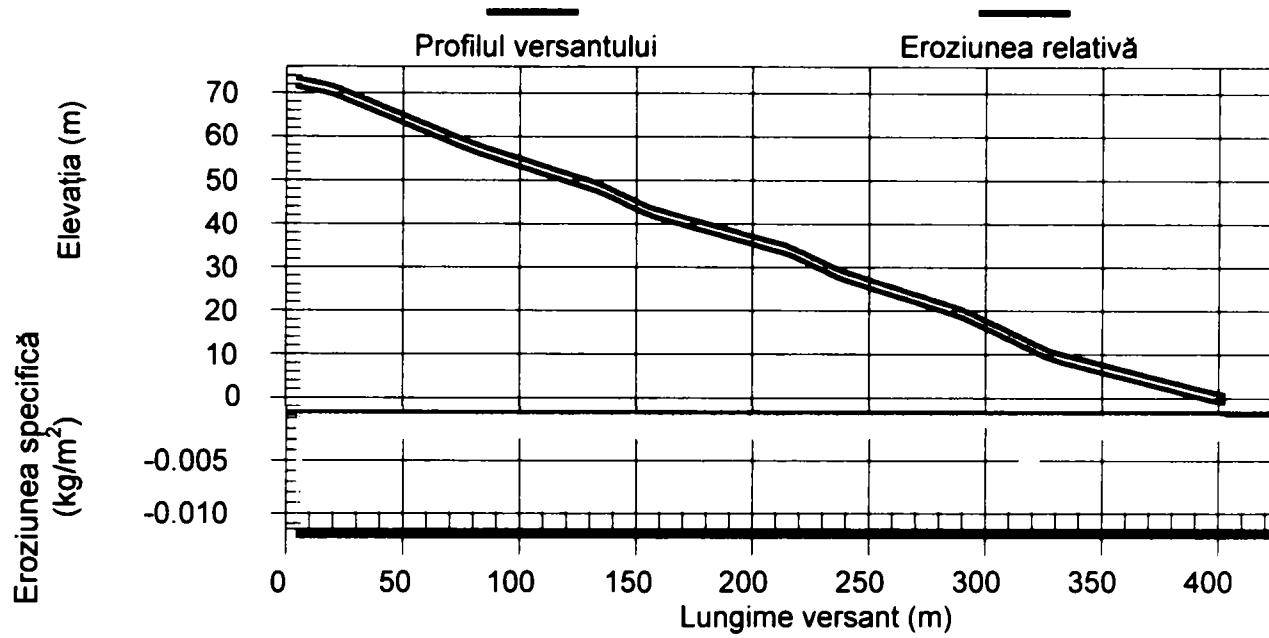


Fig. a3.1 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 18 (durata ploii 5 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 4,03 m - 0,011 kg/m<sup>2</sup>)

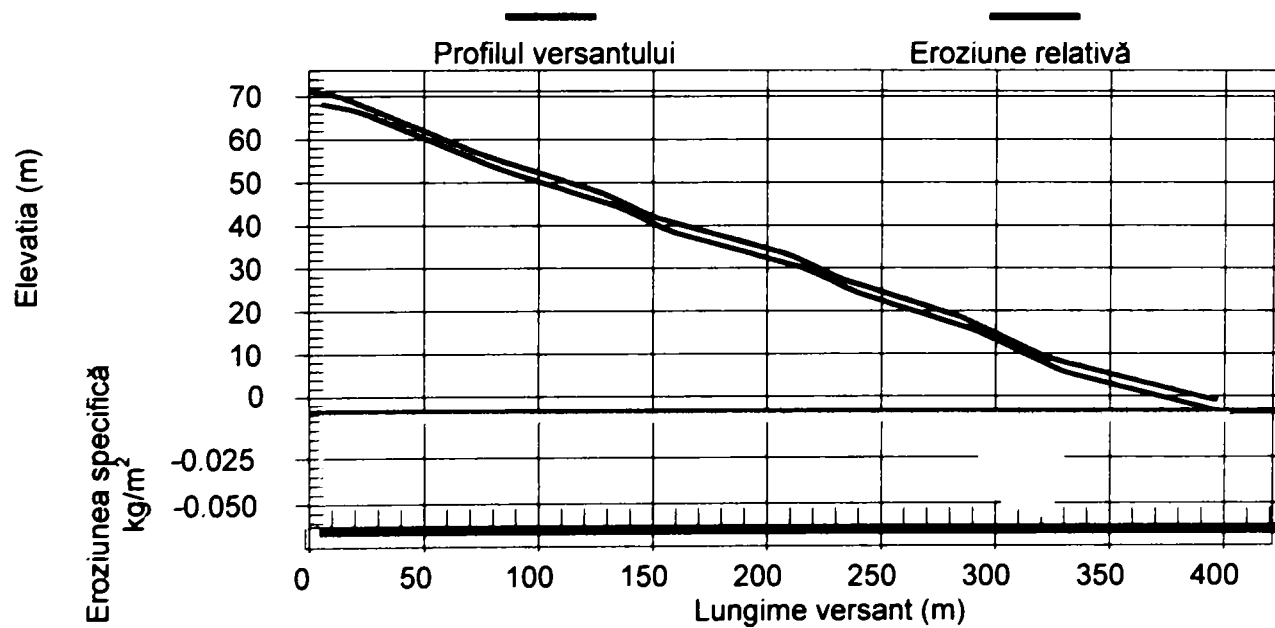


Fig. a3.2 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 18 (durata ploii 15 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 322 m - 0,059 kg/m<sup>2</sup>)

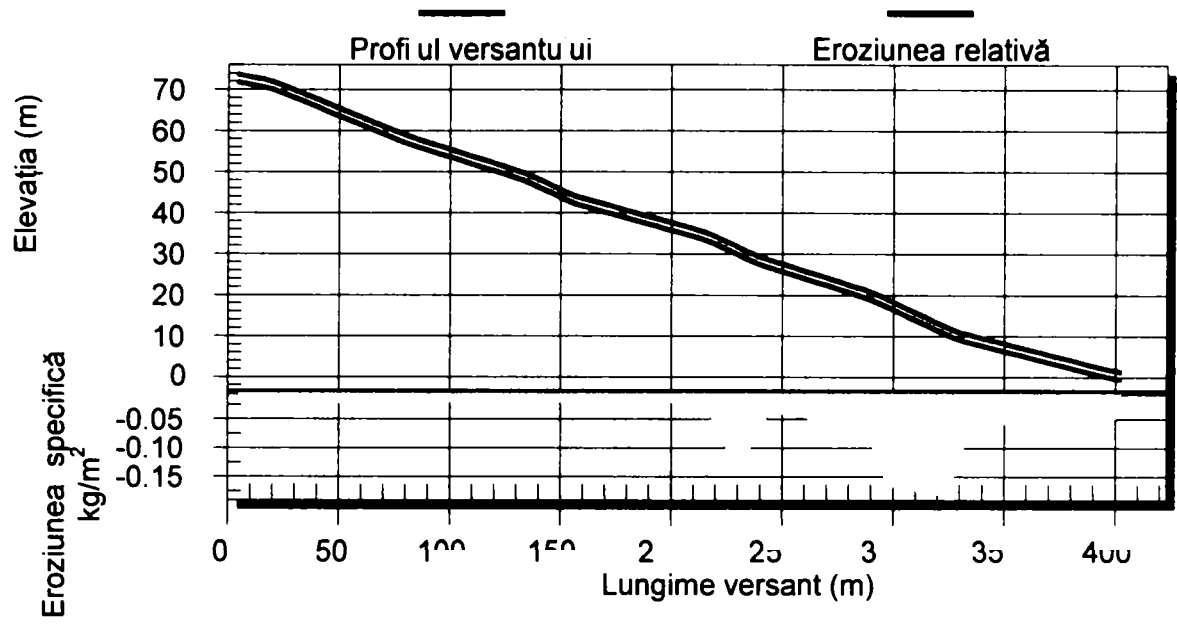


Fig. a3.3 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 18 (durata ploii 30 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 322 m - 0,18 kg/m<sup>2</sup>)

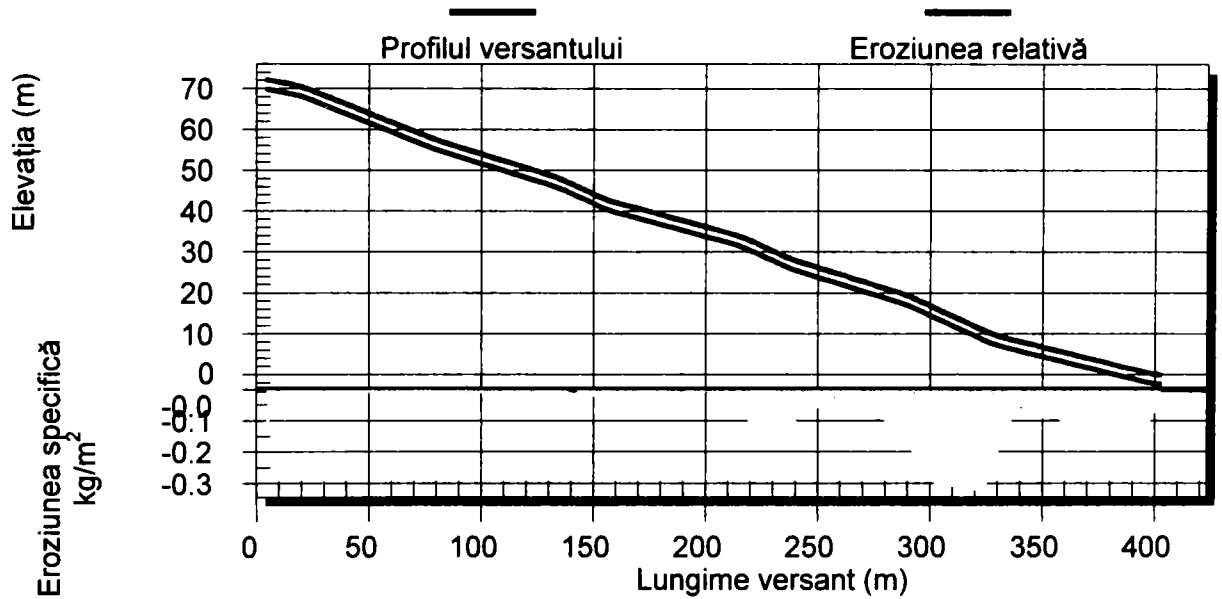


Fig. a3.4 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 18 (durata ploii 60 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 322 m - 0,328 kg/m<sup>2</sup>)

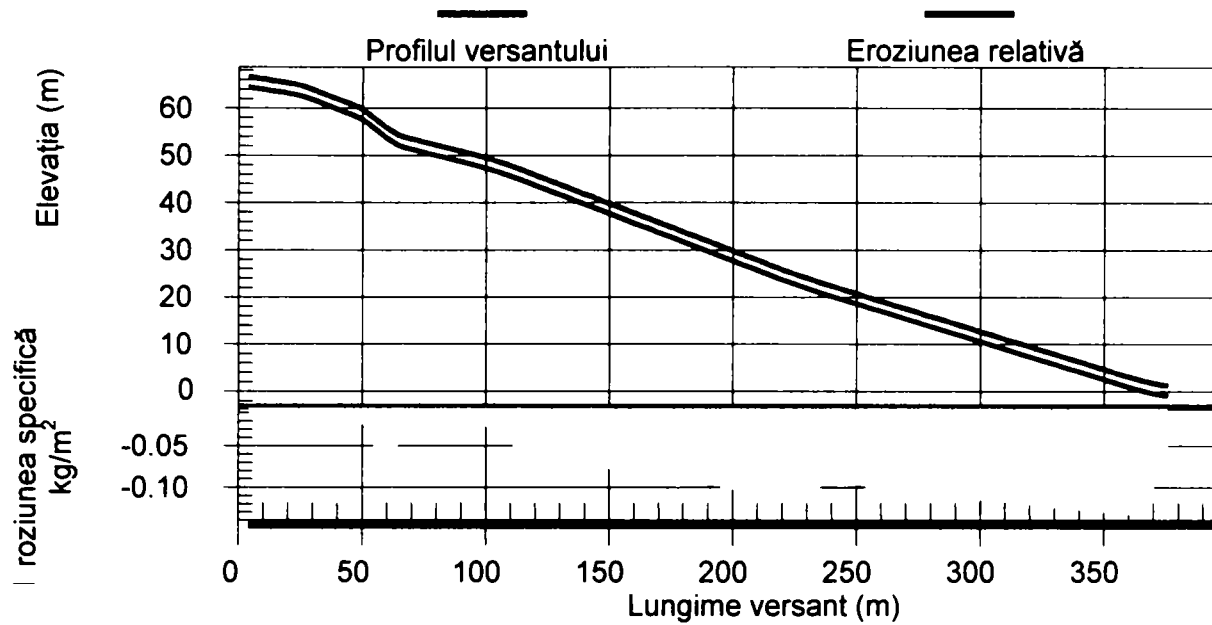


Fig. a3.5 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 67 (durata ploii 5 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 361 m - 0,133 kg/m<sup>2</sup>)

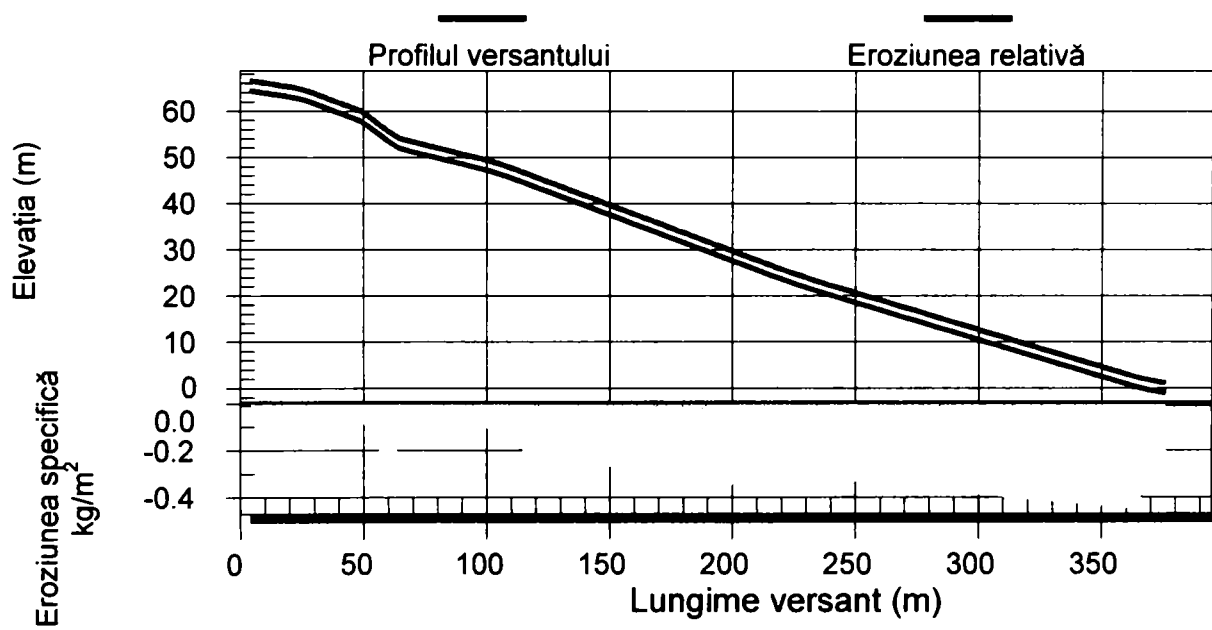


Fig. a3.6 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 67 (durata ploii 15 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 361 m - 0,449 kg/m<sup>2</sup>)

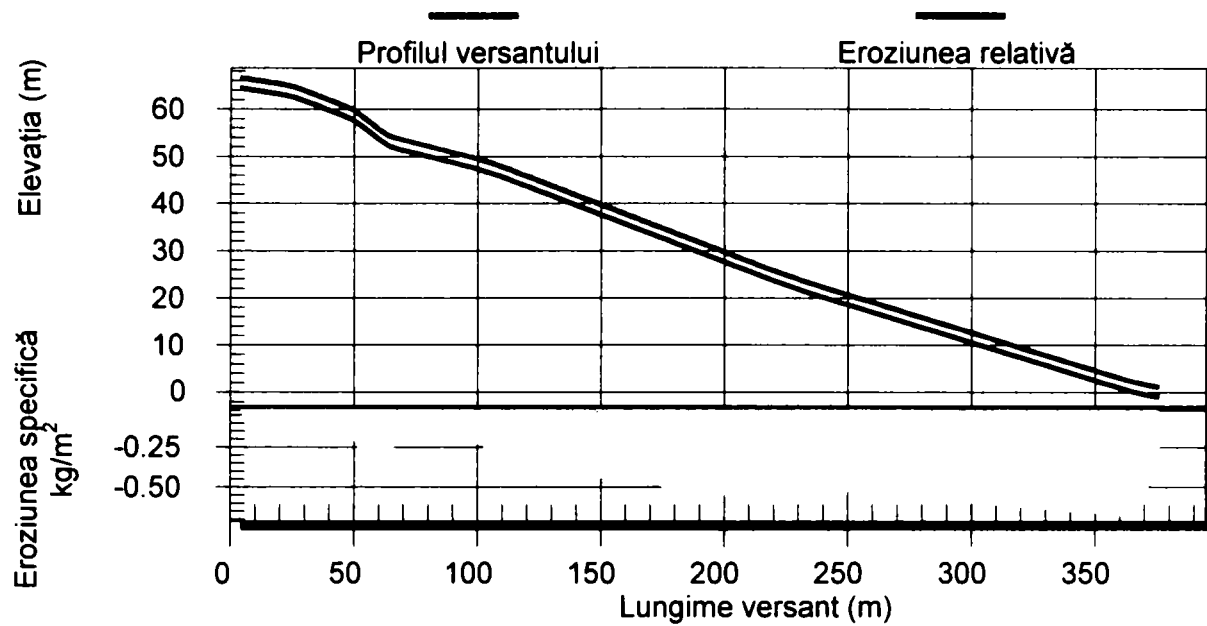


Fig. a3.7 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 67 (durata ploii 30 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 361 m – 0,618  $\text{kg/m}^2$ )

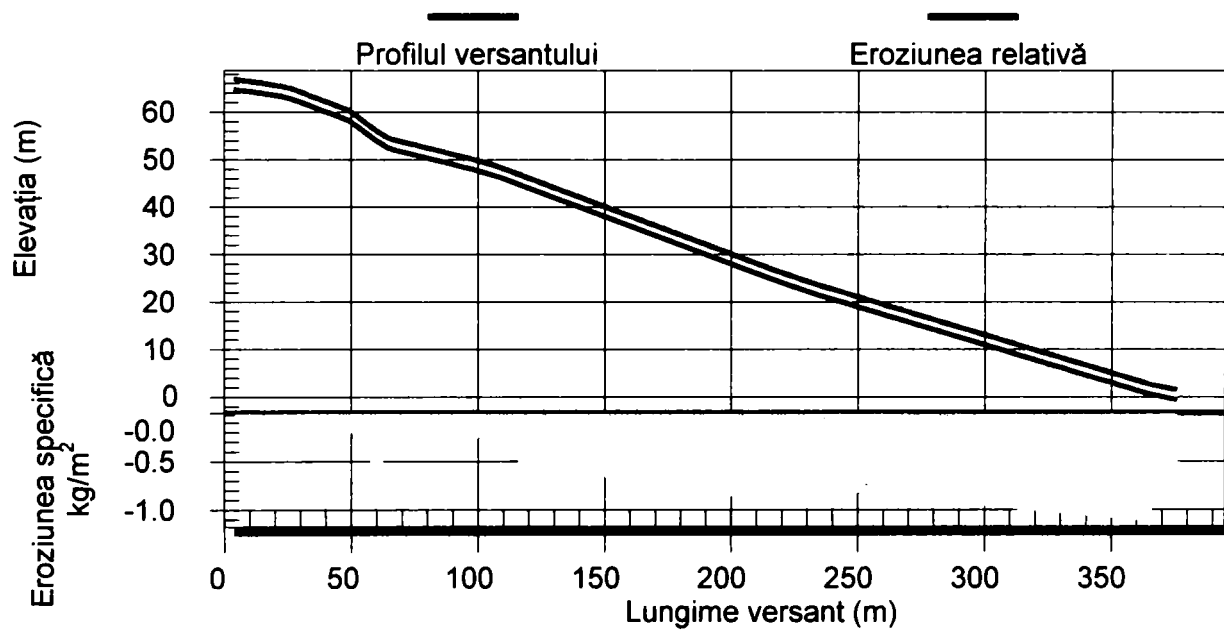


Fig. a3.8 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 67 (durata ploii 60 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 361 m – 1,12  $\text{kg/m}^2$ )

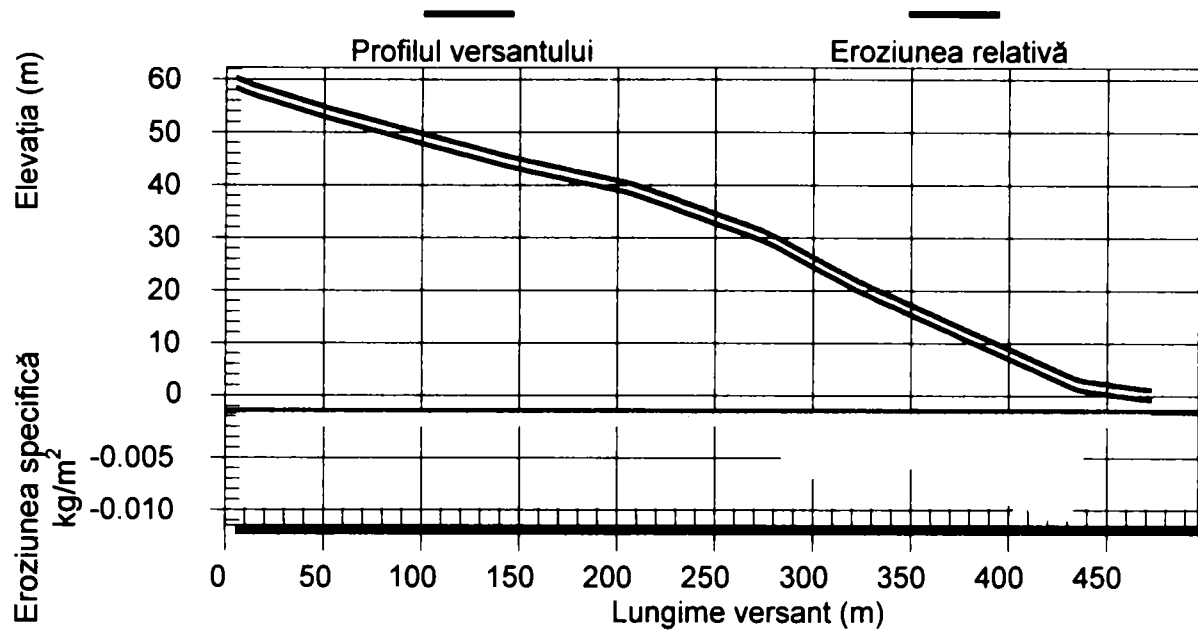


Fig. a3.9 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 78 (durata ploii 5 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 416 m - 0,011 kg/m<sup>2</sup>)

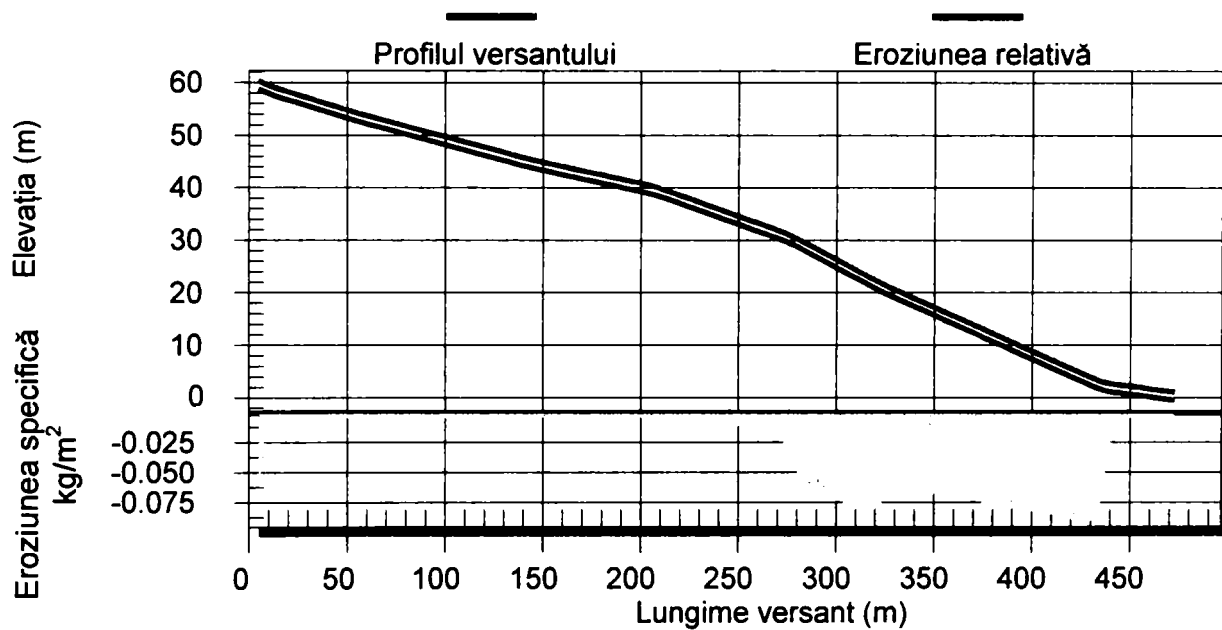


Fig. a3.10 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 78 (durata ploii 15 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 430 m - 0,091 kg/m<sup>2</sup>)

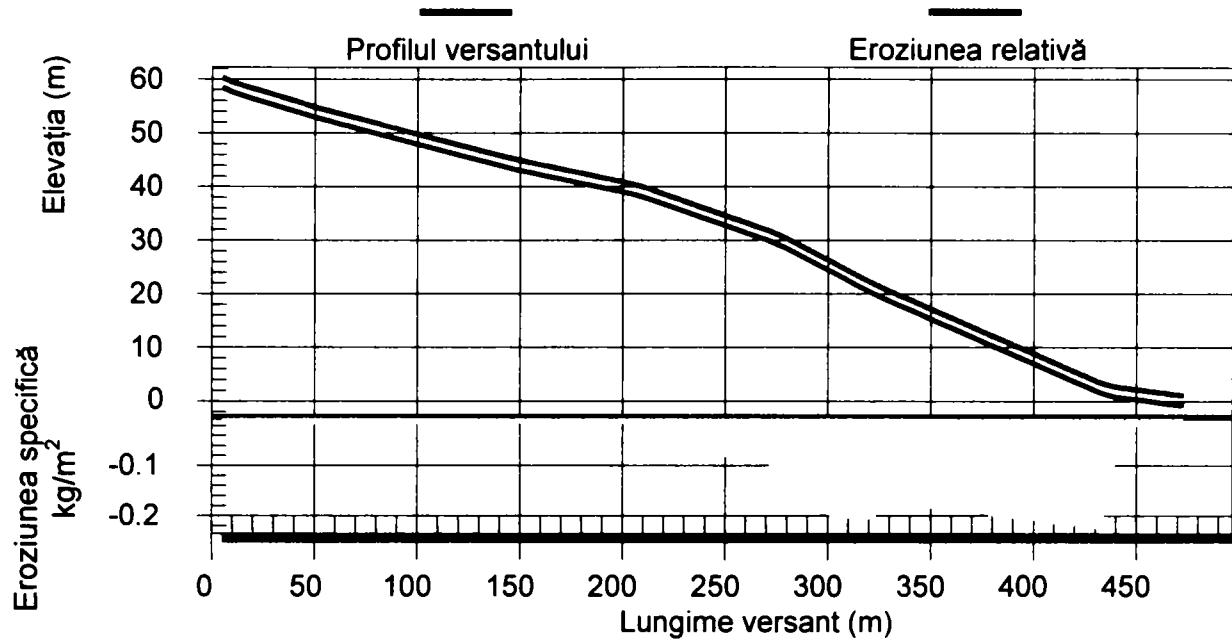


Fig. a3.11 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 78 (durata ploii 30 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 430 m - 0,225 kg/m<sup>2</sup>)

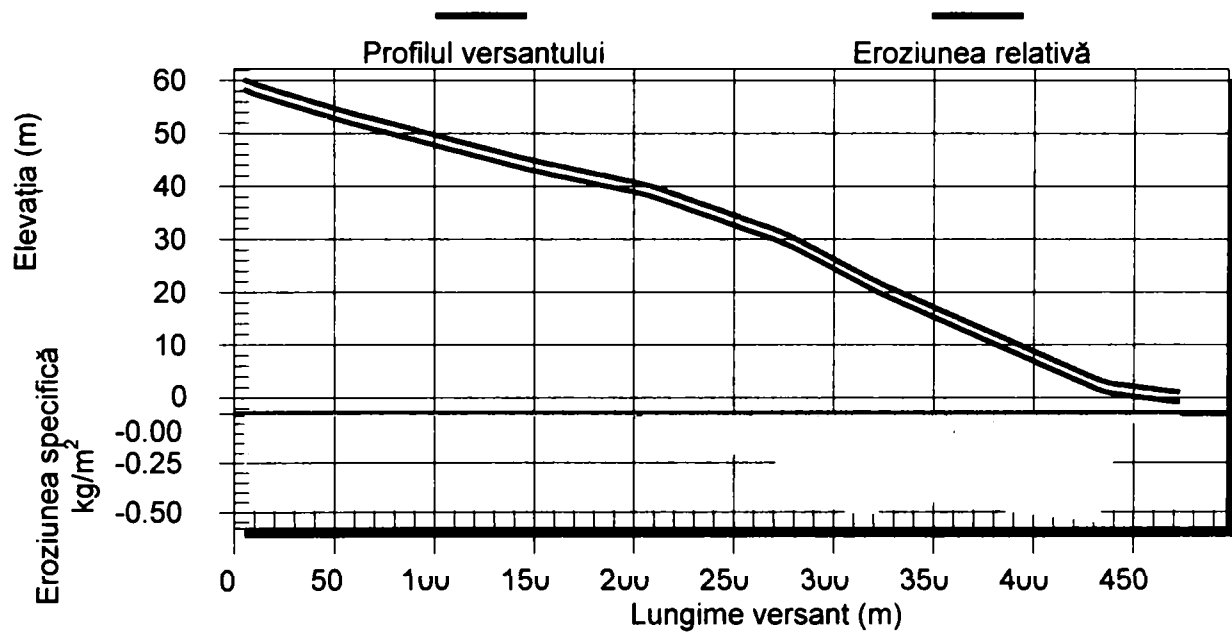


Fig. a3.12 Evoluția procesului de eroziune pe versantul H 78 (durata ploii 60 min, antrenare maximă a particulelor de sol la 430 m - 0,553 kg/m<sup>2</sup>)



Tronson	Nod inițial	Nod final	Nod	Cotă talveg [m]	X [m]	Y [m]	Arie aferentă [ha]	Coeficienți de scurgere		
								i [mm/min]		
								0,96;0,7	1,55	3
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C1	19	21	1	187,00	1981,50	10166,00	42,53	0,080	0,150	0,250
C2	21	22	2	184,00	2035,50	9722,25	68,58	0,295	0,345	0,413
C3	20	21	3	181,00	2101,25	9514,75	39,43	0,184	0,244	0,329
C4	22	24	4	169,00	2213,75	8845,50	74,69	0,612	0,625	0,640
C5	23	22	5	168,00	2182,50	8617,75	18,79	0,700	0,710	0,720
C6	24	26	6	160,00	2122,75	7656,75	103,00	0,700	0,710	0,720
C7	25	24	7	156,00	1970,25	6495,75	101,64	0,639	0,651	0,665
C8	26	1	8	155,20	1996,00	6403,50	22,28	0,436	0,454	0,482
C9	27	26	9	149,20	2127,00	5875,25	54,80	0,536	0,562	0,596
C10	1	2	10	148,00	2271,25	5408,75	35,49	0,559	0,582	0,613
C11	28	1	11	147,00	2307,50	4943,00	41,11	0,650	0,664	0,682
C12	2	3	12	146,00	2393,00	4129,50	106,61	0,332	0,378	0,441
C13	29	2	13	145,30	2492,50	3438,00	59,79	0,400	0,420	0,450
C14	3	4	14	144,20	2490,00	3302,50	14,90	0,400	0,420	0,450
C15	30	3	15	142,00	2828,50	2525,00	137,41	0,400	0,420	0,450
C16	4	5	16	139,00	2806,50	1946,50	63,56	0,502	0,519	0,542
C17	31	4	17	132,00	1839,25	438,00	194,08	0,468	0,486	0,512
C18	5	6	18	129,00	1501,75	0,00	17,95	0,400	0,420	0,450
C19	32	5	19	275,00	2294,75	13248,50	7,57	0,050	0,120	0,200
C20	6	7	20	250,00	1906,75	12503,00	4,51	0,050	0,120	0,200
C21	7	8	21	220,00	2176,50	12477,75	46,97	0,050	0,120	0,200
C22	44	7	22	197,50	2306,00	11810,00	61,11	0,050	0,120	0,200
C23	43	44	23	270,00	1890,00	11924,50	1,91	0,050	0,120	0,200
C24	45	44	24	193,00	2125,00	11156,50	87,99	0,063	0,133	0,222
C25	38	43	25	250,00	1627,50	11689,25	5,58	0,050	0,120	0,200
C26	42	43	26	188,00	1900,00	10502,25	140,44	0,080	0,150	0,250
C27	40	42	27	250,00	1089,50	11298,50	1,88	0,050	0,120	0,200
C28	41	42	28	230,00	2462,50	10493,75	5,79	0,080	0,150	0,250
C29	37	38	29	225,00	1373,00	9933,50	1,76	0,080	0,150	0,250
C30	39	38	30	225,00	2617,00	9842,00	6,69	0,080	0,150	0,250
C31	35	37	31	225,00	2718,25	8926,25	7,32	0,400	0,420	0,450
C32	36	37	32	200,00	1892,00	8726,75	5,02	0,700	0,710	0,720
C33	8	9	33	200,00	2304,25	6782,25	14,42	0,400	0,420	0,450
C34	33	8	34	200,00	1705,50	6222,25	4,82	0,400	0,420	0,450
C35	34	8	35	250,00	568,25	10290,75	1,00	0,700	0,710	0,720
C36	9	10	36	235,00	172,50	9245,00	1,98	0,700	0,710	0,720
C37	46	9	37	190,00	630,50	9049,00	114,21	0,700	0,710	0,720
C38	10	11	38	182,00	1081,75	8738,50	50,42	0,350	0,500	0,700
C39	49	10	39	225,00	1279,00	9190,25	5,05	0,350	0,500	0,700
C40	47	49	40	225,00	834,00	8447,50	2,28	0,350	0,500	0,700
C41	48	49	41	225,00	683,50	7966,75	1,47	0,350	0,500	0,700
C42	11	12	42	172,00	981,50	8000,25	28,42	0,350	0,500	0,700
C43	52	11	43	169,00	1251,00	7657,00	85,65	0,350	0,500	0,700
C44	50	52	44	162,00	1564,25	6763,75	101,33	0,700	0,710	0,720
C45	51	52	45	225,00	1059,75	6407,50	3,61	0,700	0,710	0,720
C46	12	13	46	200,00	1742,25	5772,75	1,52	0,080	0,150	0,250
C47	56	12	47	200,00	2626,75	5632,25	1,18	0,080	0,150	0,250
C48	62	56	48	200,00	2684,00	5417,00	2,60	0,080	0,150	0,250
C49	55	56	49	160,00	2468,75	5468,75	8,57	0,080	0,150	0,250
C50	57	56	50	200,00	2809,00	5066,25	2,10	0,080	0,150	0,250

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C51	61	62	51	200	2736,25	4761,75	1,00	0,080	0,150	0,250
C52	60	62	52	155	2563,75	4949,75	10,59	0,080	0,150	0,250
C53	59	60	53	235	1203,25	6165,75	0,50	0,080	0,150	0,250
C54	58	60	54	230	1008,25	5737,50	1,00	0,080	0,150	0,250
C55	54	55	55	194	1309,25	5571,75	34,67	0,080	0,150	0,250
C56	53	55	56	159	1556,00	4991,50	54,96	0,080	0,150	0,250
C57	13	14	57	215	1738,25	5228,25	1,47	0,080	0,150	0,250
C58	63	13	58	220	977,75	5364,25	1,00	0,080	0,150	0,250
C59	14	15	59	220	798,25	5283,25	2,71	0,080	0,150	0,250
C60	67	14	60	199	923,00	5202,25	10,49	0,080	0,150	0,250
C61	66	67	61	205	759,50	4836,50	3,57	0,080	0,150	0,250
C62	68	67	62	193	988,25	4998,00	17,34	0,080	0,150	0,250
C63	65	66	63	180	2914,25	3442,50	1,51	0,400	0,420	0,450
C64	64	66	64	195	775,50	4454,00	7,57	0,400	0,420	0,450
C65	15	16	65	185	1366,00	3371,25	3,05	0,400	0,420	0,450
C66	69	15	66	158	1691,75	3666,75	106,28	0,400	0,420	0,450
C67	70	15	67	145	2172,00	3393,00	52,93	0,400	0,420	0,450
C68	16	17	68	185	1596,25	3057,75	3,04	0,400	0,420	0,450
C69	73	16	69	180	1705,75	2556,00	4,72	0,400	0,420	0,450
C70	71	73	70	185	3088,75	3040,00	3,11	0,400	0,420	0,450
C71	72	73	71	180	1913,50	1916,00	4,79	0,700	0,710	0,720
C72	17	18	72	180	2010,25	1611,00	1,57	0,700	0,710	0,720
C73	74	17	73	160	2145,75	1827,75	16,17	0,700	0,710	0,720
			74	180	1691,50	1634,50	1,56	0,700	0,710	0,720

ANEXA nr. 5

Date pentru modelul DUFLOW – secțiuni transversale

Lățimea oglinzii apei la diferite adâncimi (m)

Nr. pct.	Cota talveg (m)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	Lățime fund albie (m)
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	187,00	1,17	2,23	3,30	4,36	5,43	6,49	7,56	8,62	9,69	0,10
2	184,00	0,74	1,39	2,03	2,68	3,32	3,97	4,61	5,25	5,90	0,10
3	181,00	0,78	1,40	2,03	2,65	3,28	3,90	4,53	5,15	5,78	0,15
4	169,00	0,76	1,23	1,69	2,15	2,61	3,08	3,54	4,00	4,46	0,30
5	168,00	1,60	2,95	4,30	5,65	7,00	8,35	9,70	11,05	12,40	0,25
6	160,00	0,96	1,63	2,29	2,95	3,62	4,28	4,94	5,60	6,27	0,30
7	156,00	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	3,50	0,35
8	155,20	0,83	1,25	1,68	2,11	2,54	2,96	3,39	3,82	4,24	0,40
9	149,20	0,89	1,33	1,77	2,22	2,66	3,10	3,54	3,98	4,42	0,45
10	148,00	2,29	4,08	5,87	7,66	9,45	11,24	13,03	14,82	16,61	0,50
11	147,00	1,98	3,40	4,83	6,26	7,68	9,11	10,54	11,96	13,39	0,55
12	146,00	1,59	2,57	3,56	4,55	5,53	6,52	7,50	8,49	9,48	0,60
13	145,30	2,71	4,76	6,82	8,88	10,94	12,99	15,05	17,11	19,17	0,65
14	144,20	2,08	3,47	4,85	6,24	7,62	9,01	10,39	11,78	13,16	0,70
15	142,00	2,20	3,60	5,20	7,30	8,50	9,80	10,50	12,10	13,30	0,75
16	139,00	2,30	3,70	5,30	7,50	8,60	9,50	10,70	12,30	13,50	0,80
17	132,00	3,00	4,50	6,20	8,20	9,00	10,00	11,00	12,60	14,00	0,85
18	129,00	3,50	5,00	6,50	8,50	9,20	10,30	11,20	13,00	14,00	0,90
19	275,00	0,63	1,27	1,90	2,54	3,17	3,80	4,44	5,07	5,71	
20	250,00	0,27	0,53	0,80	1,06	1,33	1,59	1,86	2,12	2,39	
21	220,00	0,42	0,83	1,25	1,66	2,08	2,50	2,91	3,33	3,74	
22	197,50	0,63	1,26	1,90	2,53	3,16	3,79	4,42	5,06	5,69	
23	270,00	0,20	0,41	0,61	0,82	1,02	1,22	1,43	1,63	1,84	
24	193,00	1,23	2,46	3,69	4,92	6,15	7,38	8,61	9,84	11,07	
25	250,00	0,23	0,45	0,68	0,91	1,14	1,36	1,59	1,82	2,04	
26	188,00	1,42	2,84	4,26	5,68	7,10	8,52	9,94	11,36	12,78	
27	250,00	0,27	0,53	0,80	1,06	1,33	1,59	1,86	2,12	2,39	
28	230,00	0,16	0,32	0,48	0,64	0,81	0,97	1,13	1,29	1,45	
29	225,00	0,26	0,51	0,77	1,02	1,28	1,53	1,79	2,04	2,30	
30	225,00	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
31	225,00	0,27	0,53	0,80	1,06	1,33	1,59	1,86	2,12	2,39	
32	200,00	0,19	0,39	0,58	0,77	0,97	1,16	1,35	1,54	1,74	
33	200,00	0,35	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	
34	200,00	0,19	0,39	0,58	0,78	0,97	1,16	1,36	1,55	1,75	
35	250,00	0,24	0,48	0,73	0,97	1,21	1,45	1,69	1,94	2,18	
36	235,00	0,34	0,68	1,01	1,35	1,69	2,03	2,37	2,70	3,04	
37	190,00	0,25	0,50	0,76	1,01	1,26	1,51	1,76	2,02	2,27	
38	182,00	0,40	0,81	1,21	1,61	2,02	2,42	2,82	3,23	3,63	
39	225,00	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,95	1,11	1,27	1,43	
40	225,00	0,13	0,27	0,40	0,54	0,67	0,80	0,94	1,07	1,21	
41	225,00	0,18	0,35	0,53	0,70	0,88	1,06	1,23	1,41	1,58	
42	172,00	0,47	0,95	1,42	1,89	2,37	2,84	3,31	3,79	4,26	
43	169,00	0,61	1,22	1,82	2,43	3,04	3,65	4,25	4,86	5,47	
44	162,00	0,95	1,90	2,86	3,81	4,76	5,71	6,66	7,61	8,57	
45	225,00	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,91	2,23	2,55	2,87	
46	200,00	0,16	0,31	0,47	0,62	0,78	0,93	1,09	1,24	1,40	
47	200,00	0,14	0,27	0,41	0,54	0,68	0,82	0,95	1,09	1,22	
48	200,00	0,18	0,35	0,53	0,70	0,88	1,06	1,23	1,41	1,58	
49	160,00	0,32	0,65	0,97	1,30	1,62	1,94	2,27	2,59	2,92	
50	200,00	0,28	0,57	0,85	1,13	1,42	1,70	1,98	2,26	2,55	
51	200,00	0,31	0,61	0,92	1,22	1,53	1,83	2,14	2,44	2,75	
52	155,00	0,23	0,47	0,70	0,94	1,17	1,40	1,64	1,87	2,11	
53	235,00	0,34	0,67	1,01	1,34	1,68	2,01	2,35	2,68	3,02	
54	230,00	0,41	0,82	1,23	1,64	2,06	2,47	2,88	3,29	3,70	
55	194,00	0,35	0,70	1,06	1,41	1,76	2,11	2,46	2,81	3,17	
56	159,00	0,29	0,57	0,86	1,14	1,43	1,71	2,00	2,28	2,57	
57	215,00	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,89	
58	220,00	0,19	0,39	0,58	0,77	0,97	1,16	1,35	1,54	1,74	
59	220,00	0,26	0,53	0,79	1,05	1,32	1,58	1,84	2,10	2,37	
60	199,00	0,37	0,73	1,10	1,47	1,83	2,20	2,57	2,93	3,30	
61	205,00	0,26	0,51	0,77	1,02	1,28	1,54	1,79	2,05	2,30	
62	193,00	1,14	2,28	3,42	4,56	5,70	6,84	7,98	9,12	10,26	
63	180,00	0,40	0,80	1,21	1,61	2,01	2,41	2,81	3,22	3,62	
64	195,00	0,33	0,65	0,98	1,30	1,63	1,96	2,28	2,61	2,93	
65	185,00	0,41	0,82	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87	3,28	3,69	
66	158,00	1,24	2,47	3,71	4,94	6,18	7,41	8,65	9,88	11,12	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
67	145,00	1,56	3,03	4,49	5,96	7,42	8,88	10,35	11,81	13,28	0,10
68	185,00	0,54	1,08	1,62	2,16	2,71	3,25	3,79	4,33	4,87	
69	180,00	0,36	0,72	1,09	1,45	1,81	2,17	2,53	2,90	3,26	
70	185,00	0,44	0,87	1,31	1,74	2,18	2,61	3,05	3,48	3,92	
71	180,00	0,67	1,34	2,01	2,68	3,35	4,01	4,68	5,35	6,02	
72	180,00	0,41	0,83	1,24	1,66	2,07	2,48	2,90	3,31	3,73	
73	160,00	0,36	0,72	1,07	1,43	1,79	2,15	2,51	2,86	3,22	
74	180,00	0,31	0,62	0,93	1,24	1,55	1,85	2,16	2,47	2,78	

În figurile a6.1 ..... a6.6 se prezintă hidrograful debitelor pe tronsoanele 65, 68 și 72 și hidrograful nivelelor în secțiunile 16, 17 și 18 în următoarele ipoteze de producere a ploilor torențiale:  $i = 3 \text{ mm/min}$ , durata 5 min;  $i = 1,55 \text{ mm/min}$ , durata 15 min și  $i = 0,96 \text{ mm/min}$ , durata 30 min.

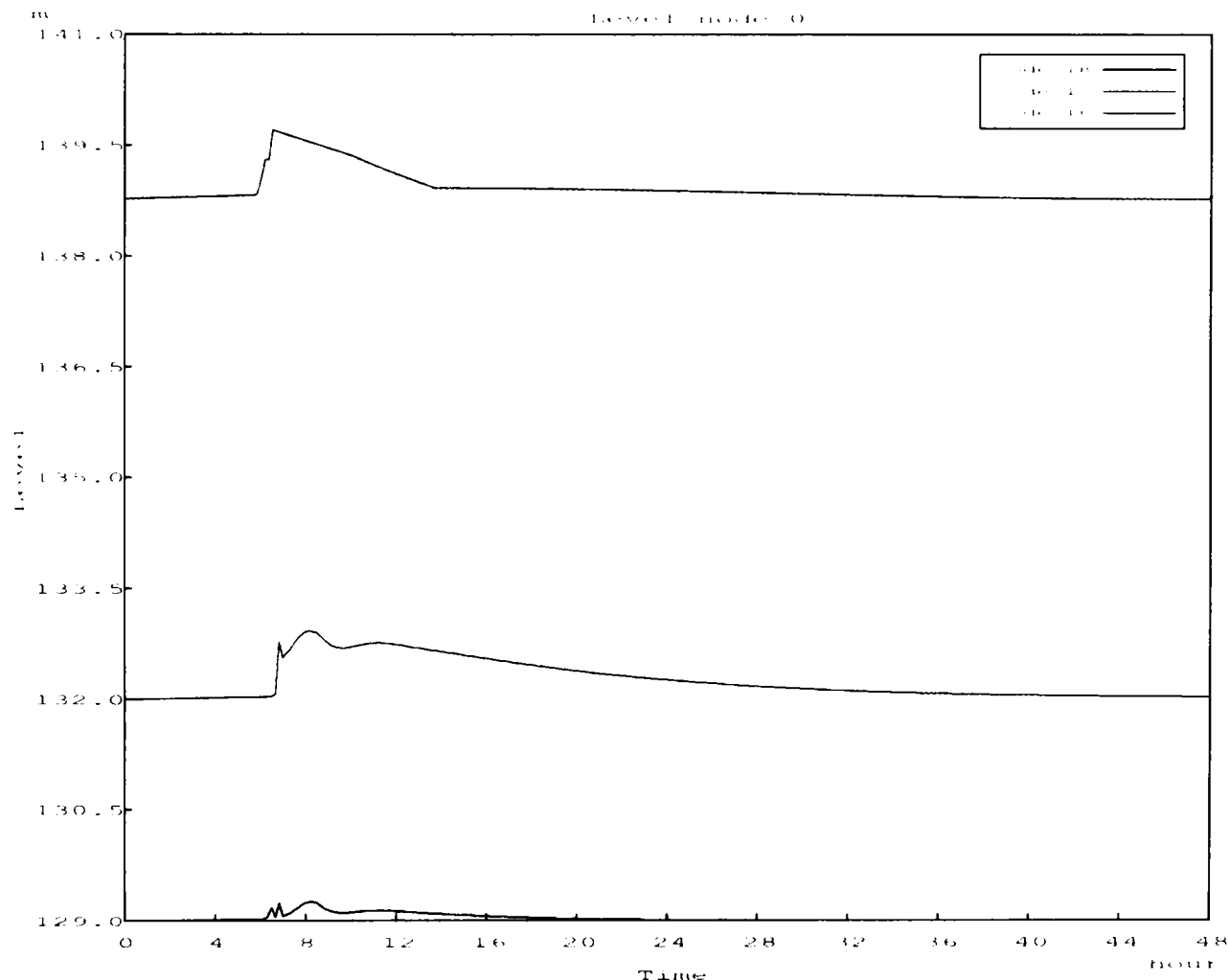


Fig. a6.1 Variația nivelelor de apă în nodurile 16, 17 și 18 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 5 minute

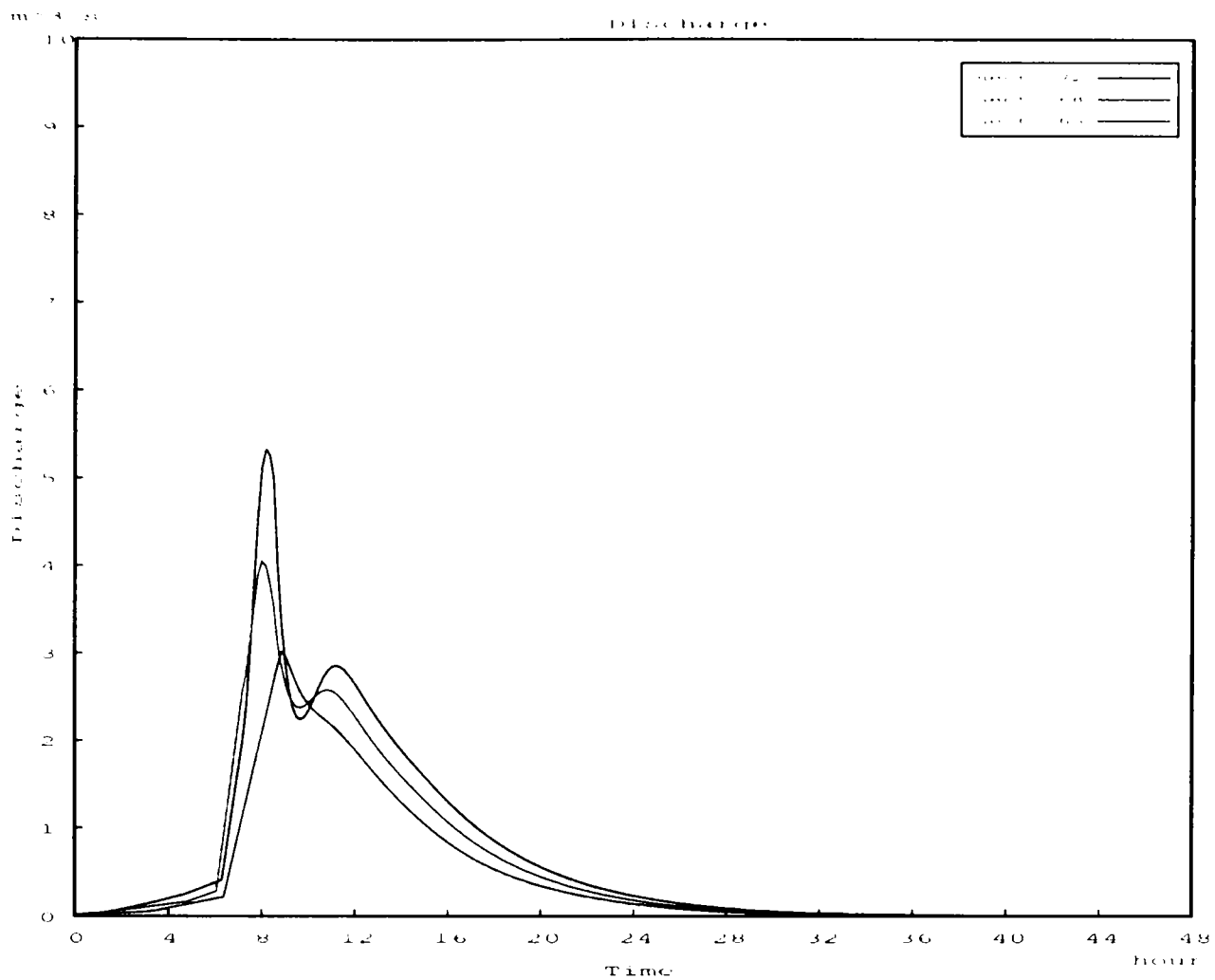


Fig. a6.2 Variatia debitelor de apă pe tronsoanele 65, 68 și 72 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 5 minute

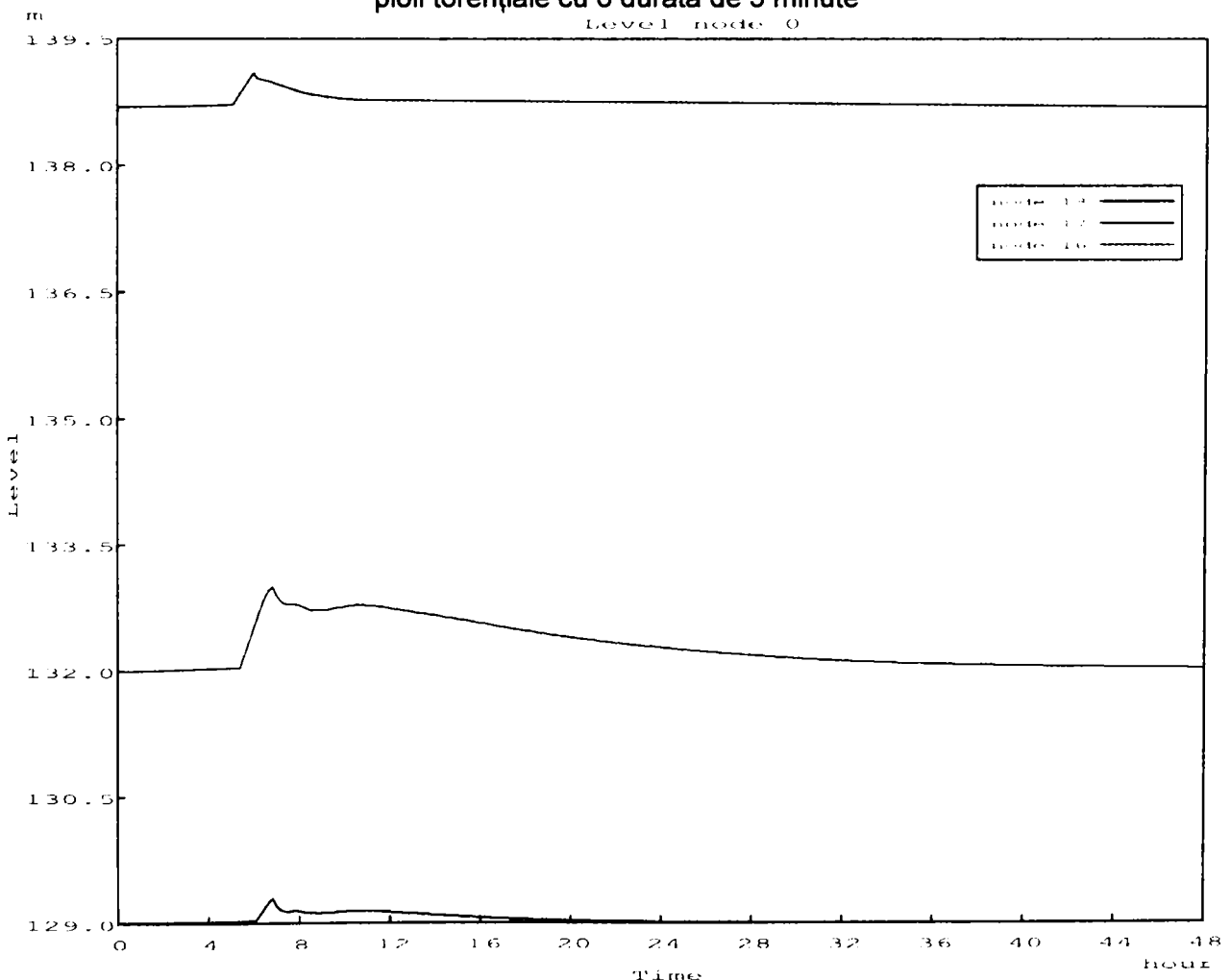


Fig. a6.3 Variatia nivelelor de apă în nodurile 16, 17 și 18 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 15 minute

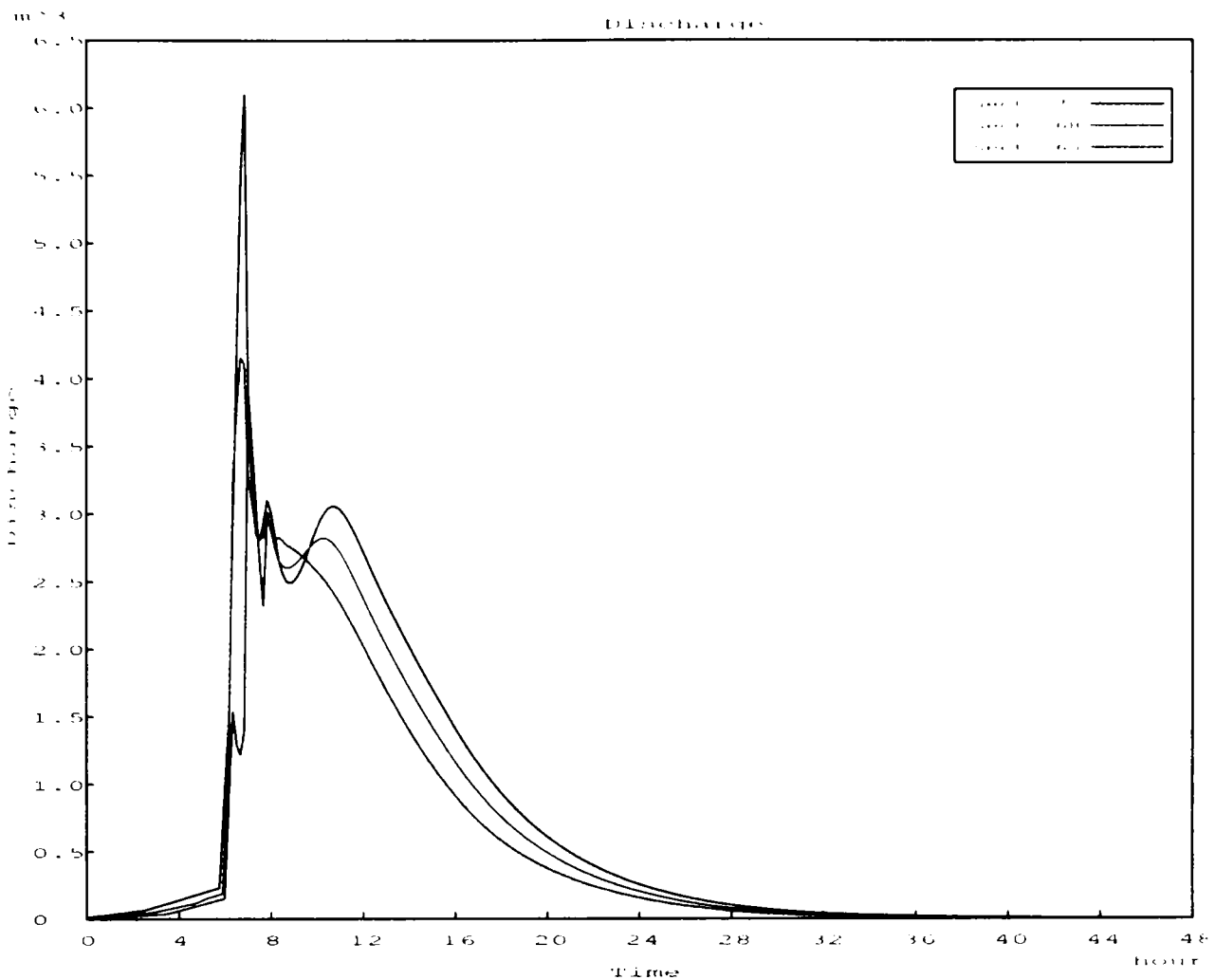


Fig. a6.4 Variația debitelor de apă pe tronsoanele 65, 68 și 72 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 15 minute

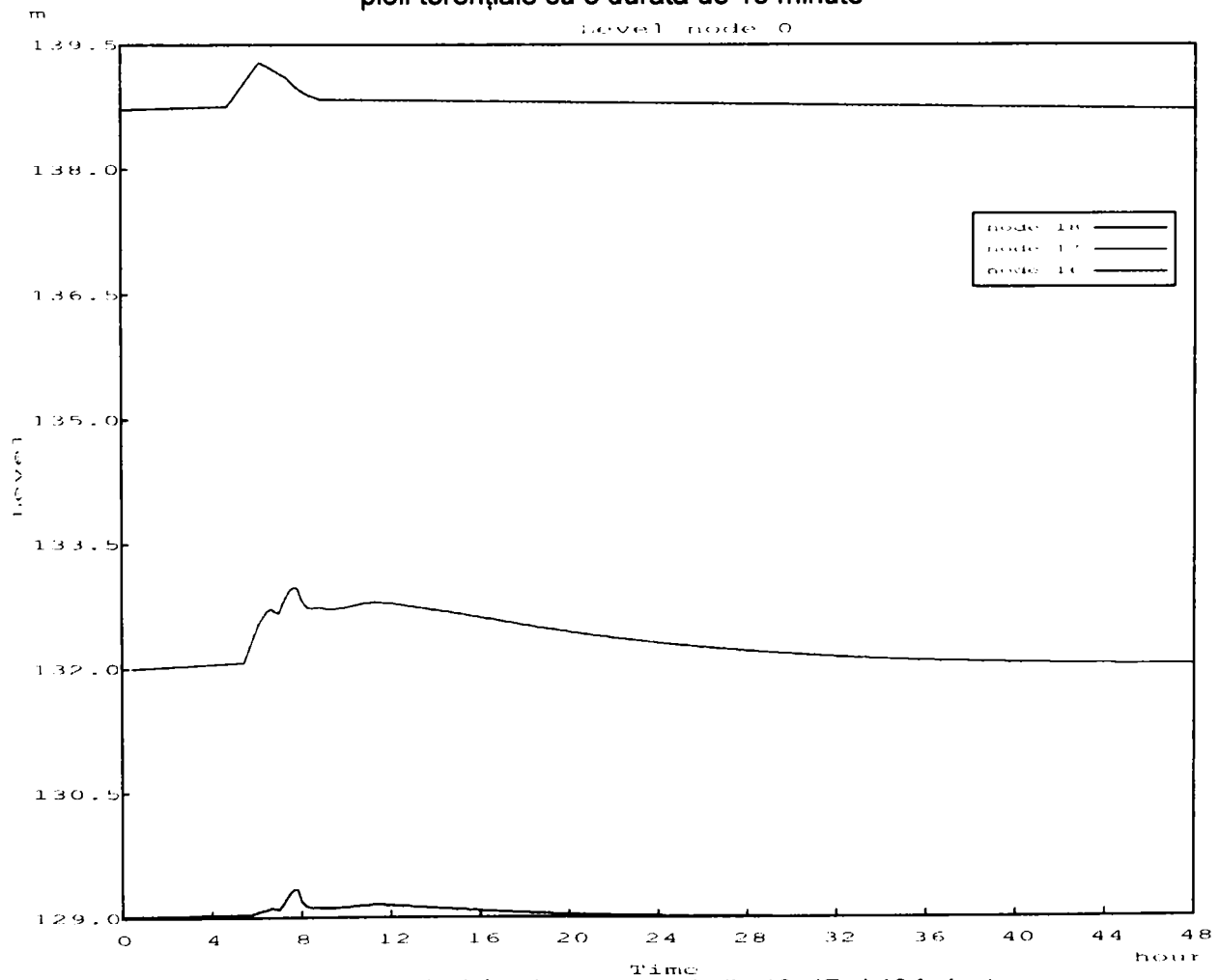


Fig. a6.5 Variația nivelelor de apă în nodurile 16, 17 și 18 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 30 minute



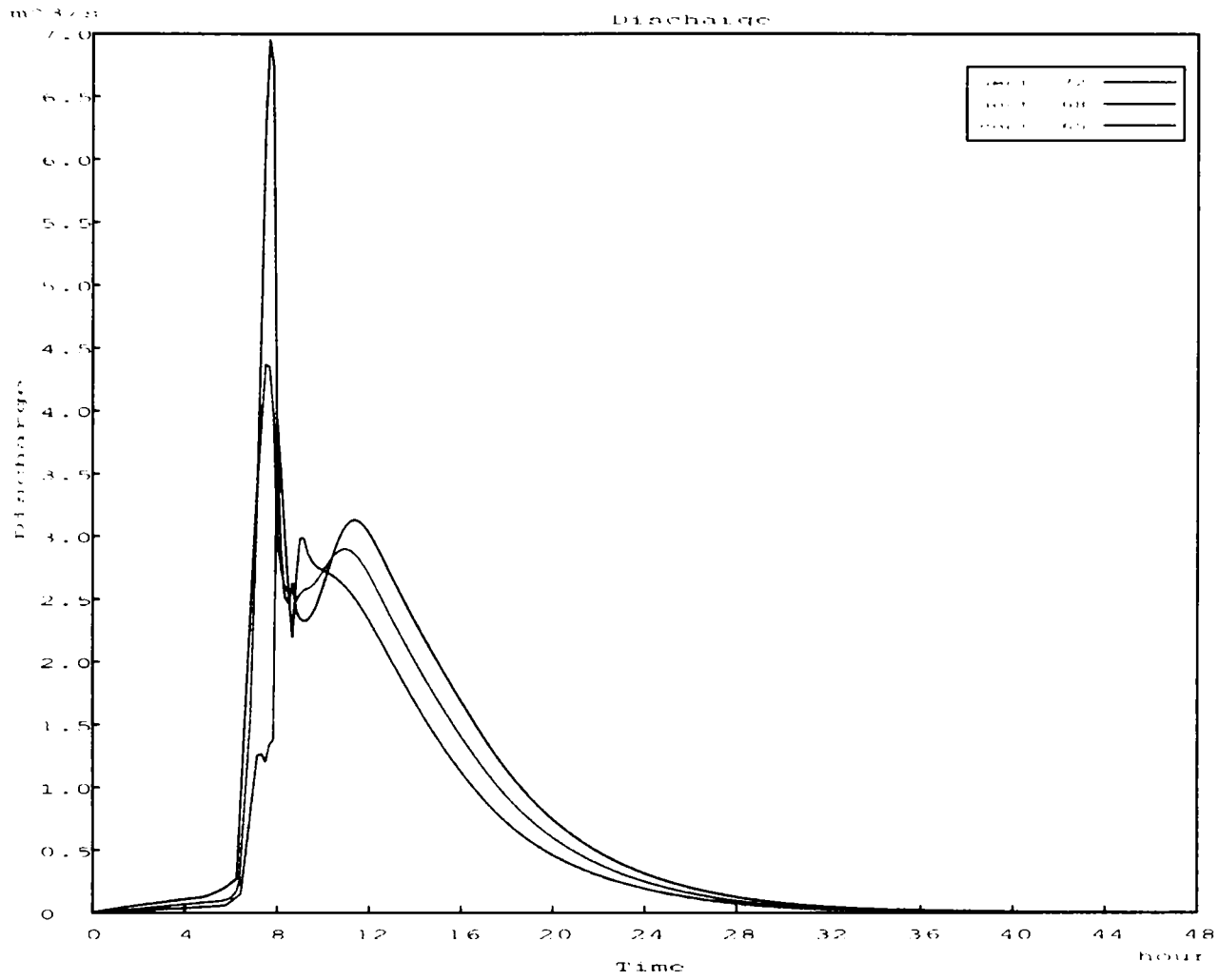


Fig. a6.6 Variația debitelor de apă pe tronsoanele 65, 68 și 72 în ipoteza ploii torențiale cu o durată de 30 minute

Dezvoltarea modelului PROPRIU

ANEXA nr. 7

Pășune, fâneață, păioase  $i = 3 \text{ mm/min}$

Ver-sant	Lun-gime [m]	Pantă [%]	i [mm/min]	Erozi- unea [t/ha]		X1i	X2i	X3i	X11*X1i	X21*X2i	X31*X3i	X11*X2i	X11*X3i	X21*X3i	Yi	Y1*X1i	Y1*X2i	Y1*X3i
				3	4													
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
H2	184	13,91	3,00	0,047	5,215	2,633	1,099	27,196	6,931	1,207	13,729	5,729	2,892	-3,058	-15,945	-8,049	-3,359	
H3	276	11,20	3,00	0,023	5,620	2,416	1,099	31,589	5,837	1,207	13,578	6,175	2,654	-3,772	-21,202	-9,113	-4,144	
H5	96	20,00	3,00	0,119	4,564	2,996	1,099	20,833	8,974	1,207	13,674	5,014	3,291	-2,129	-9,716	-6,377	-2,339	
H6	229	22,22	3,00	0,055	5,434	3,101	1,099	29,525	9,616	1,207	16,850	5,970	3,407	-2,900	-15,760	-8,994	-3,186	
H12	467	20,68	3,00	0,025	6,146	3,029	1,099	37,777	9,176	1,207	18,618	6,752	3,328	-3,689	-22,673	-11,174	-4,053	
H15	301	13,33	3,00	0,000	5,707	2,590	1,099	32,571	6,708	1,207	14,782	6,270	2,845	0,000	0,000	0,000	0,000	
H17	241	14,44	3,00	0,037	5,485	2,670	1,099	30,083	7,129	1,207	14,644	6,026	2,933	-3,297	-18,082	-8,803	-3,622	
H18	403	18,83	3,00	0,027	5,999	2,935	1,099	35,987	8,617	1,207	17,610	6,591	3,225	-3,612	-21,668	-10,603	-3,968	
H22	370	14,00	3,00	0,020	5,914	2,639	1,099	34,970	6,965	1,207	15,606	6,497	2,899	-3,912	-23,134	-10,324	-4,298	
H30	403	13,55	3,00	0,020	5,999	2,606	1,099	35,987	6,793	1,207	15,636	6,591	2,863	-3,912	-23,468	-10,196	-4,298	
H47	614	13,03	3,00	0,012	6,420	2,567	1,099	41,216	6,591	1,207	16,482	7,053	2,820	-4,423	-28,395	-11,355	-4,859	
H48	403	18,00	3,00	0,027	5,999	2,890	1,099	35,987	8,354	1,207	17,339	6,591	3,175	-3,612	-21,668	-10,440	-3,968	
H49	295	20,00	3,00	0,039	5,687	2,996	1,099	32,342	8,974	1,207	17,037	6,248	3,291	-3,244	-18,450	-9,719	-3,564	
H50	356	17,29	3,00	0,030	5,875	2,850	1,099	34,515	8,123	1,207	16,744	6,454	3,131	-3,507	-20,601	-9,994	-3,852	
H51	146	11,42	3,00	0,050	4,984	2,435	1,099	24,836	5,931	1,207	12,137	5,475	2,676	-2,996	-14,930	-7,296	-3,291	
H56	307	20,00	3,00	0,037	5,727	2,996	1,099	32,797	8,974	1,207	17,156	6,292	3,291	-3,297	-18,880	-9,876	-3,622	
H57	487	15,39	3,00	0,020	6,188	2,734	1,099	38,295	7,473	1,207	16,917	6,799	3,003	-3,912	-24,209	-10,694	-4,298	
H59	322	17,56	3,00	0,033	5,775	2,866	1,099	33,345	8,212	1,207	16,548	6,344	3,148	-3,411	-19,698	-9,775	-3,748	
H64	116	36,92	3,00	0,265	4,754	3,609	1,099	22,597	13,023	1,207	17,155	5,222	3,965	-1,328	-6,313	-4,793	-1,459	
H66	170	26,60	3,00	0,104	5,136	3,281	1,099	26,376	10,764	1,207	16,850	5,642	3,604	-2,263	-11,624	-7,426	-2,487	
H67	376	18,63	3,00	0,029	5,930	2,925	1,099	35,160	8,554	1,207	17,343	6,514	3,213	-3,540	-20,993	-10,355	-3,890	
H72	329	17,77	3,00	0,032	5,796	2,878	1,099	33,594	8,280	1,207	16,678	6,368	3,161	-3,442	-19,950	-9,904	-3,781	
H77	219	12,30	3,00	0,032	5,389	2,510	1,099	29,042	6,298	1,207	13,524	5,921	2,757	-3,442	-18,549	-8,638	-3,781	
H78	473	12,69	3,00	0,016	6,159	2,541	1,099	37,934	6,456	1,207	15,649	6,766	2,791	-4,135	-25,469	-10,507	-4,543	
H84	248	13,00	3,00	0,030	5,513	2,565	1,099	30,398	6,579	1,207	14,142	6,057	2,818	-3,507	-19,333	-8,994	-3,852	
H90	181	16,84	3,00	0,060	5,198	2,824	1,099	27,024	7,974	1,207	14,679	5,711	3,102	-2,813	-14,626	-7,944	-3,091	

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H108	87	14,40	3,00	0,100	4,466	2,667	1,099	19,944	7,114	1,207	11,912	4,906	2,930	-2,303	-10,283	-6,142	-2,530
H111	66	24,00	3,00	0,190	4,190	3,178	1,099	17,553	10,100	1,207	13,315	4,603	3,491	-1,661	-6,958	-5,278	-1,824
H114	329	14,66	3,00	0,030	5,796	2,685	1,099	33,594	7,210	1,207	15,563	6,368	2,950	-3,507	-20,324	-9,416	-3,852
H130	242	16,66	3,00	0,040	5,489	2,813	1,099	30,128	7,913	1,207	15,440	6,030	3,090	-3,219	-17,668	-9,055	-3,536
H140	262	8,50	3,00	0,018	5,568	2,140	1,099	31,006	4,580	1,207	11,917	6,117	2,351	-4,017	-22,370	-8,597	-4,414
H141	384	10,42	3,00	0,015	5,951	2,344	1,099	35,410	5,493	1,207	13,947	6,537	2,575	-4,200	-24,991	-9,843	-4,614
H144	129	9,40	3,00	0,040	4,860	2,241	1,099	23,618	5,021	1,207	10,889	5,339	2,462	-3,219	-15,643	-7,213	-3,536
H152	182	9,00	3,00	0,030	5,204	2,197	1,099	27,082	4,828	1,207	11,434	5,717	2,414	-3,507	-18,248	-7,705	-3,852
H155	391	5,70	3,00	0,010	5,969	1,740	1,099	35,625	3,029	1,207	10,388	6,557	1,912	-4,605	-27,487	-8,015	-5,059
H158	325	7,60	3,00	0,010	5,784	2,028	1,099	33,453	4,113	1,207	11,730	6,354	2,228	-4,605	-26,635	-9,340	-5,059
H166	180	8,88	3,00	0,030	5,193	2,184	1,099	26,967	4,769	1,207	11,340	5,705	2,399	-3,507	-18,209	-7,658	-3,852
H170	151	10,28	3,00	0,038	5,017	2,330	1,099	25,173	5,430	1,207	11,691	5,512	2,560	-3,270	-16,407	-7,620	-3,593
H178	372	6,15	3,00	0,010	5,919	1,816	1,099	35,033	3,299	1,207	10,751	6,503	1,996	-4,605	-27,258	-8,365	-5,059
H179	368	8,40	3,00	0,012	5,908	2,128	1,099	34,905	4,529	1,207	12,574	6,491	2,338	-4,423	-26,131	-9,413	-4,859
H181	138	12,50	3,00	0,053	4,927	2,526	1,099	24,278	6,379	1,207	12,445	5,413	2,775	-2,937	-14,474	-7,419	-3,227
				<b>SUMA</b>	231,853	114,098	52,043	1273,749	300,115	59,485	607,443	261,223	131,758	-122,737	-753,422	-336,421	-133,221

Pășune degradată i = 3 mm/min

Ver- sant	Lun- gime [m]	Pantă [%]	i [mm/min]	Erozi- unea [t/ha]	X1i	X2i	X3i	X1i*X1i	X2i*X2i	X3i*X3i	X1i*X2i	X1i*X3i	X2i*X3i	Yi	Yi*X1i	Yi*X2i	Yi*X3i
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H2	184	13,91	3,00	0,683	5,215	2,633	1,099	27,196	6,931	1,207	13,729	5,729	2,892	-0,381	-1,988	-1,004	-0,419
H3	276	11,20	3,00	0,35	5,620	2,416	1,099	31,589	5,837	1,207	13,578	6,175	2,654	-1,050	-5,900	-2,536	-1,153
H5	96	20,00	3,00	1,156	4,564	2,996	1,099	20,833	8,974	1,207	13,674	5,014	3,291	0,145	0,662	0,434	0,159
H6	229	22,22	3,00	1,294	5,434	3,101	1,099	29,525	9,616	1,207	16,850	5,970	3,407	0,258	1,400	0,799	0,283
H12	467	20,68	3,00	0,911	6,146	3,029	1,099	37,777	9,176	1,207	18,618	6,752	3,328	-0,093	-0,573	-0,282	-0,102
H15	301	13,33	3,00	0,495	5,707	2,590	1,099	32,571	6,708	1,207	14,782	6,270	2,845	-0,703	-4,013	-1,821	-0,773
H17	241	14,44	3,00	0,638	5,485	2,670	1,099	30,083	7,129	1,207	14,644	6,026	2,933	-0,449	-2,465	-1,200	-0,494
H18	403	18,83	3,00	0,819	5,999	2,935	1,099	35,987	8,617	1,207	17,610	6,591	3,225	-0,200	-1,198	-0,586	-0,219
H22	370	14,00	3,00	0,497	5,914	2,639	1,099	34,970	6,965	1,207	15,606	6,497	2,899	-0,699	-4,135	-1,845	-0,768
H30	403	13,55	3,00	0,449	5,999	2,606	1,099	35,987	6,793	1,207	15,636	6,591	2,863	-0,801	-4,804	-2,087	-0,880
H47	614	13,03	3,00	0,351	6,420	2,567	1,099	41,216	6,591	1,207	16,482	7,053	2,820	-1,047	-6,722	-2,688	-1,150
H48	403	18,00	3,00	0,759	5,999	2,890	1,099	35,987	8,354	1,207	17,339	6,591	3,175	-0,276	-1,654	-0,797	-0,303
H49	295	20,00	3,00	1,010	5,687	2,996	1,099	32,342	8,974	1,207	17,037	6,248	3,291	0,010	0,057	0,030	0,011
H50	356	17,29	3,00	0,741	5,875	2,850	1,099	34,515	8,123	1,207	16,744	6,454	3,131	-0,300	-1,761	-0,854	-0,329
H51	146	11,42	3,00	0,529	4,984	2,435	1,099	24,836	5,931	1,207	12,137	5,475	2,676	-0,637	-3,173	-1,551	-0,700
H56	307	20,00	3,00	0,995	5,727	2,996	1,099	32,797	8,974	1,207	17,156	6,292	3,291	-0,005	-0,029	-0,015	-0,006
H57	487	15,39	3,00	0,535	6,188	2,734	1,099	38,295	7,473	1,207	16,917	6,799	3,003	-0,625	-3,871	-1,710	-0,687
H59	322	17,56	3,00	0,780	5,775	2,866	1,099	33,345	8,212	1,207	16,548	6,344	3,148	-0,248	-1,435	-0,712	-0,273
H64	116	36,92	3,00	2,080	4,754	3,609	1,099	22,597	13,023	1,207	17,155	5,222	3,965	0,732	3,481	2,643	0,805
H66	170	26,60	3,00	1,642	5,136	3,281	1,099	26,376	10,764	1,207	16,850	5,642	3,604	0,496	2,547	1,627	0,545
H67	376	18,63	3,00	0,824	5,930	2,925	1,099	35,160	8,554	1,207	17,343	6,514	3,213	-0,194	-1,148	-0,566	-0,213
H72	329	17,77	3,00	0,800	5,796	2,878	1,099	33,594	8,280	1,207	16,678	6,368	3,161	-0,223	-1,293	-0,642	-0,245
H77	219	12,30	3,00	0,494	5,389	2,510	1,099	29,042	6,298	1,207	13,524	5,921	2,757	-0,705	-3,800	-1,770	-0,775
H78	473	12,69	3,00	0,366	6,159	2,541	1,099	37,934	6,456	1,207	15,649	6,766	2,791	-1,005	-6,191	-2,554	-1,104
H84	248	13,00	3,00	0,520	5,513	2,565	1,099	30,398	6,579	1,207	14,142	6,057	2,818	-0,654	-3,605	-1,677	-0,718
H90	181	16,84	3,00	0,922	5,198	2,824	1,099	27,024	7,974	1,207	14,679	5,711	3,102	-0,081	-0,422	-0,229	-0,089
H108	87	14,40	3,00	0,815	4,466	2,667	1,099	19,944	7,114	1,207	11,912	4,906	2,930	-0,205	-0,914	-0,546	-0,225
H111	66	24,00	3,00	1,302	4,190	3,178	1,099	17,553	10,100	1,207	13,315	4,603	3,491	0,264	1,106	0,839	0,290
H114	329	14,66	3,00	0,569	5,796	2,685	1,099	33,594	7,210	1,207	15,563	6,368	2,950	-0,564	-3,268	-1,514	-0,619

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H130	242	16,66	3,00	0,813	5,489	2,813	1,099	30,128	7,913	1,207	15,440	6,030	3,090	-0,207	-1,136	-0,582	-0,227
H140	262	8,50	3,00	0,190	5,568	2,140	1,099	31,006	4,580	1,207	11,917	6,117	2,351	-1,661	-9,248	-3,554	-1,824
H141	384	10,42	3,00	0,243	5,951	2,344	1,099	35,410	5,493	1,207	13,947	6,537	2,575	-1,415	-8,418	-3,316	-1,554
H144	129	9,40	3,00	0,393	4,860	2,241	1,099	23,618	5,021	1,207	10,889	5,339	2,462	-0,934	-4,539	-2,093	-1,026
H152	182	9,00	3,00	0,284	5,204	2,197	1,099	27,082	4,828	1,207	11,434	5,717	2,414	-1,259	-6,551	-2,766	-1,383
H155	391	5,70	3,00	0,078	5,969	1,740	1,099	35,625	3,029	1,207	10,388	6,557	1,912	-2,551	-15,226	-4,440	-2,803
H158	325	7,60	3,00	0,127	5,784	2,028	1,099	33,453	4,113	1,207	11,730	6,354	2,228	-2,064	-11,935	-4,185	-2,267
H166	180	8,88	3,00	0,280	5,193	2,184	1,099	26,967	4,769	1,207	11,340	5,705	2,399	-1,273	-6,610	-2,780	-1,398
H170	151	10,28	3,00	0,425	5,017	2,330	1,099	25,173	5,430	1,207	11,691	5,512	2,560	-0,856	-4,293	-1,994	-0,940
H178	372	6,15	3,00	0,086	5,919	1,816	1,099	35,033	3,299	1,207	10,751	6,503	1,996	-2,453	-14,521	-4,456	-2,695
H179	368	8,40	3,00	0,142	5,908	2,128	1,099	34,905	4,529	1,207	12,574	6,491	2,338	-1,952	-11,532	-4,154	-2,144
H181	138	12,50	3,00	0,634	4,927	2,526	1,099	24,278	6,379	1,207	12,445	5,413	2,775	-0,456	-2,245	-1,151	-0,501
				<b>SUMA</b>	<b>231,853</b>	<b>114,098</b>	<b>52,043</b>	<b>1273,749</b>	<b>300,115</b>	<b>59,485</b>	<b>607,443</b>	<b>261,223</b>	<b>131,758</b>	<b>-12,320</b>	<b>-136,365</b>	<b>-42,286</b>	<b>-11,915</b>

Prășitoare, i = 3 mm/min

Ver-sant	Lun-gime [m]	Pantă [%]	i [mm/min]	Erozi- unea [t/ha]	X1i	X2i	X3i	X11*X1i	X21*X2i	X31*X3i	X11*X2i	X11*X3i	X21*X3i	Yi	Yi*X1i	Yi*X2i	Yi*X3i
H2	184	13,91	3,00	0,049	5,215	2,633	1,099	27,196	6,931	1,207	13,729	5,729	2,892	-3,016	-15,728	-7,940	-3,313
H3	276	11,20	3,00	0,021	5,620	2,416	1,099	31,589	5,837	1,207	13,578	6,175	2,654	-3,863	-21,713	-9,333	-4,244
H5	96	20,00	3,00	0,19	4,564	2,996	1,099	20,833	8,974	1,207	13,674	5,014	3,291	-1,661	-7,580	-4,975	-1,824
H6	229	22,22	3,00	0,159	5,434	3,101	1,099	29,525	9,616	1,207	16,850	5,970	3,407	-1,839	-9,992	-5,702	-2,020
H12	467	20,68	3,00	0,109	6,146	3,029	1,099	37,777	9,176	1,207	18,618	6,752	3,328	-2,216	-13,623	-6,714	-2,435
H15	301	13,33	3,00	0,029	5,707	2,590	1,099	32,571	6,708	1,207	14,782	6,270	2,845	-3,540	-20,206	-9,170	-3,890
H17	241	14,44	3,00	0,046	5,485	2,670	1,099	30,083	7,129	1,207	14,644	6,026	2,933	-3,079	-16,888	-8,221	-3,383
H18	403	18,83	3,00	0,087	5,999	2,935	1,099	35,987	8,617	1,207	17,610	6,591	3,225	-2,442	-14,648	-7,168	-2,683
H22	370	14,00	3,00	0,029	5,914	2,639	1,099	34,970	6,965	1,207	15,606	6,497	2,899	-3,540	-20,937	-9,343	-3,890
H30	403	13,55	3,00	0,023	5,999	2,606	1,099	35,987	6,793	1,207	15,636	6,591	2,863	-3,772	-22,630	-9,832	-4,144
H47	614	13,03	3,00	0,013	6,420	2,567	1,099	41,216	6,591	1,207	16,482	7,053	2,820	-4,343	-27,881	-11,149	-4,771
H48	403	18,00	3,00	0,077	5,999	2,890	1,099	35,987	8,354	1,207	17,339	6,591	3,175	-2,564	-15,381	-7,411	-2,817
H49	295	20,00	3,00	0,114	5,687	2,996	1,099	32,342	8,974	1,207	17,037	6,248	3,291	-2,172	-12,350	-6,505	-2,386
H50	356	17,29	3,00	0,071	5,875	2,850	1,099	34,515	8,123	1,207	16,744	6,454	3,131	-2,645	-15,540	-7,539	-2,906
H51	146	11,42	3,00	0,041	4,984	2,435	1,099	24,836	5,931	1,207	12,137	5,475	2,676	-3,194	-15,919	-7,779	-3,509
H56	307	20,00	3,00	0,113	5,727	2,996	1,099	32,797	8,974	1,207	17,156	6,292	3,291	-2,180	-12,487	-6,532	-2,395
H57	487	15,39	3,00	0,040	6,188	2,734	1,099	38,295	7,473	1,207	16,917	6,799	3,003	-3,219	-19,919	-8,799	-3,536
H59	322	17,56	3,00	0,077	5,775	2,866	1,099	33,345	8,212	1,207	16,548	6,344	3,148	-2,564	-14,806	-7,347	-2,817
H64	116	36,92	3,00	0,480	4,754	3,609	1,099	22,597	13,023	1,207	17,155	5,222	3,965	-0,734	-3,489	-2,649	-0,806
H66	170	26,60	3,00	0,252	5,136	3,281	1,099	26,376	10,764	1,207	16,850	5,642	3,604	-1,378	-7,079	-4,522	-1,514
H67	376	18,63	3,00	0,087	5,930	2,925	1,099	35,160	8,554	1,207	17,343	6,514	3,213	-2,442	-14,479	-7,142	-2,683
H72	329	17,77	3,00	0,079	5,796	2,878	1,099	33,594	8,280	1,207	16,678	6,368	3,161	-2,538	-14,712	-7,304	-2,789
H77	219	12,30	3,00	0,030	5,389	2,510	1,099	29,042	6,298	1,207	13,524	5,921	2,757	-3,507	-18,897	-8,800	-3,852
H78	473	12,69	3,00	0,015	6,159	2,541	1,099	37,934	6,456	1,207	15,649	6,766	2,791	-4,200	-25,866	-10,671	-4,614
H84	248	13,00	3,00	0,030	5,513	2,565	1,099	30,398	6,579	1,207	14,142	6,057	2,818	-3,507	-19,333	-8,994	-3,852
H90	181	16,84	3,00	0,092	5,198	2,824	1,099	27,024	7,974	1,207	14,679	5,711	3,102	-2,386	-12,403	-6,737	-2,621
H108	87	14,40	3,00	0,105	4,466	2,667	1,099	19,944	7,114	1,207	11,912	4,906	2,930	-2,254	-10,065	-6,011	-2,476
H111	66	24,00	3,00	0,302	4,190	3,178	1,099	17,553	10,100	1,207	13,315	4,603	3,491	-1,197	-5,016	-3,805	-1,315
H114	329	14,66	3,00	0,039	5,796	2,685	1,099	33,594	7,210	1,207	15,563	6,368	2,950	-3,244	-18,804	-8,711	-3,564

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H130	242	16,66	3,00	0,076	5,489	2,813	1,099	30,128	7,913	1,207	15,440	6,030	3,090	-2,577	-14,145	-7,249	-2,831
H140	262	8,50	3,00	0,016	5,568	2,140	1,099	31,006	4,580	1,207	11,917	6,117	2,351	-4,135	-23,026	-8,850	-4,543
H141	384	10,42	3,00	0,014	5,951	2,344	1,099	35,410	5,493	1,207	13,947	6,537	2,575	-4,269	-25,401	-10,005	-4,690
H144	129	9,40	3,00	0,037	4,860	2,241	1,099	23,618	5,021	1,207	10,889	5,339	2,462	-3,297	-16,022	-7,387	-3,622
H152	182	9,00	3,00	0,025	5,204	2,197	1,099	27,082	4,828	1,207	11,434	5,717	2,414	-3,689	-19,197	-8,105	-4,053
H155	391	5,70	3,00	0,070	5,969	1,740	1,099	35,625	3,029	1,207	10,388	6,557	1,912	-2,659	-15,872	-4,628	-2,921
H158	325	7,60	3,00	0,011	5,784	2,028	1,099	33,453	4,113	1,207	11,730	6,354	2,228	-4,510	-26,084	-9,147	-4,955
H166	180	8,88	3,00	0,025	5,193	2,184	1,099	26,967	4,769	1,207	11,340	5,705	2,399	-3,689	-19,156	-8,056	-4,053
H170	151	10,28	3,00	0,040	5,017	2,330	1,099	25,173	5,430	1,207	11,691	5,512	2,560	-3,219	-16,150	-7,501	-3,536
H178	372	6,15	3,00	0,008	5,919	1,816	1,099	35,033	3,299	1,207	10,751	6,503	1,996	-4,828	-28,578	-8,770	-5,304
H179	368	8,40	3,00	0,011	5,908	2,128	1,099	34,905	4,529	1,207	12,574	6,491	2,338	-4,510	-26,645	-9,598	-4,955
H181	138	12,50	3,00	0,050	4,927	2,526	1,099	24,278	6,379	1,207	12,445	5,413	2,775	-2,996	-14,761	-7,566	-3,291
				<b>SUMA</b>	<b>231,853</b>	<b>114,098</b>	<b>52,043</b>	<b>1273,749</b>	<b>300,115</b>	<b>59,485</b>	<b>607,443</b>	<b>261,223</b>	<b>131,758</b>	<b>-109,614</b>	<b>-678,408</b>	<b>-297,669</b>	<b>-118,804</b>

Versant	Lungime	Pantă medie	Eroziune WEPP (t/ha)			Eroziune calculată (t/ha)		
			Folosință			Folosință		
	[m]	[%]	pășune / păioase	pășune degradată	prășitoare	pășune / păioase	pășune degradată	prășitoare
0	1	2	3	4	5	6	7	8
H1	186	13.30	0.043	0.628	0.042	0.046	0.527	0.056
H7	405	21.53	0.030	1.017	0.125	0.037	0.993	0.085
H8	304	19.00	0.036	0.92	0.099	0.042	0.862	0.080
H13	225	16.16	0.045	0.799	0.073	0.047	0.705	0.071
H16	211	21.53	0.057	1.261	0.153	0.068	1.184	0.125
H20	497	12.00	0.014	0.311	0.013	0.016	0.338	0.026
H21	280	16.00	0.036	0.713	0.063	0.038	0.653	0.061
H23	187	16.36	0.055	0.876	0.084	0.057	0.757	0.081
H26	234	17.33	0.045	0.081	0.086	0.049	0.788	0.079
H31	186	24.00	0.077	1.465	0.201	0.086	1.482	0.165
H37	450	15.45	0.022	0.555	0.043	0.023	0.540	0.043
H38	309	15.31	0.032	0.632	0.050	0.033	0.588	0.053
H52	277	13.60	0.030	0.535	0.032	0.032	0.493	0.046
H58	123	25.26	0.122	1.501	0.256	0.135	1.812	0.232
H65	125	28.57	0.152	1.690	0.315	0.151	2.238	0.288
H71	202	18.66	0.054	1.041	0.111	0.061	0.933	0.099
H81	311	16.06	0.033	0.687	0.060	0.034	0.639	0.058
H87	265	15.31	0.037	0.676	0.055	0.038	0.613	0.058
H88	472	17.87	0.023	0.710	0.071	0.026	0.688	0.055
H91	175	16.00	0.058	0.863	0.083	0.059	0.741	0.081
H92	245	18.28	0.044	0.941	0.097	0.050	0.854	0.085
H93	290	16.00	0.035	0.702	0.061	0.037	0.647	0.060
H102	444	16.88	0.024	0.655	0.060	0.026	0.633	0.051
H103	279	10.61	0.021	0.305	0.020	0.025	0.318	0.029
H107	134	24.00	0.103	1.440	0.226	0.118	1.619	0.201
H110	105	14.40	0.086	0.806	0.089	0.086	0.707	0.091
H112	232	11.06	0.027	0.376	0.025	0.031	0.360	0.035
H113	257	19.25	0.043	1.002	0.109	0.050	0.923	0.090
H115	185	15.65	0.054	0.822	0.076	0.055	0.702	0.075
H139	192	13.75	0.044	0.658	0.046	0.046	0.554	0.058
H143	103	9.40	0.050	0.437	0.046	0.056	0.337	0.042
H151	238	5.50	0.013	0.125	0.011	0.014	0.105	0.009
H156	139	8.00	0.031	0.298	0.029	0.035	0.234	0.026
H159	337	8.90	0.015	0.174	0.013	0.017	0.222	0.019
H160	436	4.90	0.006	0.063	0.005	0.007	0.073	0.005
H161	243	13.33	0.033	0.550	0.034	0.036	0.493	0.048
H167	300	4.60	0.009	0.088	0.070	0.009	0.072	0.006
H168	365	4.48	0.007	0.071	0.006	0.008	0.065	0.005
H169	308	7.65	0.014	0.135	0.012	0.016	0.175	0.015
H171	168	10.28	0.034	0.396	0.032	0.039	0.345	0.037
H182	219	12.50	0.033	0.511	0.031	0.037	0.453	0.045