

UNELE ASPECTE PRIVIND MORFOMETRIA BAZINULUI CIULUCUL MARE ȘI A REȚELEI HIDROGRAFICE DIN CADRUL ACESTUIA

P. ȚÎȚU

Institutul de Ecologie și Geografie, AȘM

Abstract. The paper presents the main morphometric characteristics of the Ciulucul Mare river basin according to the Horton – Strahler classification. The drainage model is obtained as the result of a combined analysis of the laws of the number of stream segments of successively higher order, of their length summed and their average lengths. The analysis of obtained model and of basin morphometry elements have contributed to given basin evolution stage establishment.

Keywords: Ciulucul Mare basin, Morphometry.

INTRODUCERE

În bazinul Ciulucul Mare nu sunt prezente peisaje impuse nemijlocit de elementul hidrologic. Însă acțiunea îndelungată a apelor curgătoare a creat forme specifice de relief (lunci, terase, suprafețe de nivelare).

Deci analiza rețelei hidrografice, a caracteristicilor morfometrice ale acesteia este necesară, deoarece ea reprezintă un factor activ și dinamic în schimbul de substanță și energie.

MATERIALE ȘI METODE

Rețeaua hidrografică a bazinului Ciulucul Mare a fost generată în baza Modelului Numeric al Terenului și clasificată după sistemul Horton completat de Panov și Strahler.

Apoi s-a analizat diferite elemente morfometrice ale bazinului și rețelei hidrografice, deoarece acestea dețin un rol important în formarea și distribuția elementelor scurgerii râului, fiind utilizate și în elaborarea și aplicarea în practică a metodelor de calcul a parametrilor hidrologici.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Extragerea automată a rețelei hidrografice din MNT (fig. 3) s-a realizat în ArcGis, utilizând extensia ArcHydro, după următorii pași (fig. 1):

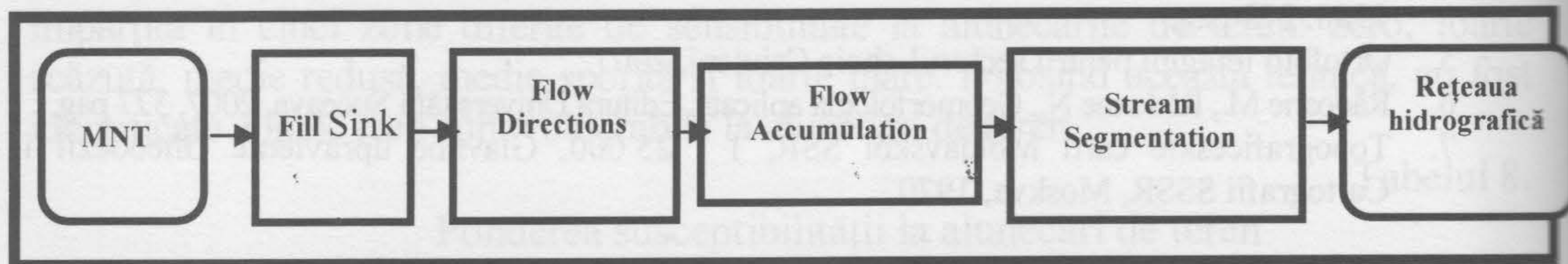


Figura 1. Etapele parcurse pentru generarea rețelei hidrografice din MNT.

Fill Sink - umplerea depresiunilor. Această etapă este necesară, deoarece valoarea pixelului reprezintă o medie a valorilor altimetrice de pe suprafața reală de

teren. În acest fel are loc o uniformizare a reliefului, iar entitățile morfologice cu dimensiuni mai mici decât celula MNT-ului se pierd. Aceasta poate afecta în mod apreciabil analiza hidrologică bazată pe MNT.

În cazul de față această etapă nu a avut o importanță mare deoarece în realizarea MNT-ului s-a inclus și rețeaua hidrografică extrasă de pe hărțile topografice (1:50000). Cu alte cuvinte adâncirea rețelei hidrografice în MNT s-a efectuat înainte de analiza hidrologică a acestuia.

Flow Directions - determinarea direcțiilor de scurgere. Aceasta funcție codifică cele 8 direcții, atribuind un cod în fiecare celulă (Nord=64, Nord-Est=128, Est=1, Sud-Est=2, Sud=4, Sud-Vest=8, Vest=16, Nord-Vest=32).

Flow Accumulation - determinarea acumulării scurgerii. În etapa dată s-a luat ca date de intrare rasterul obținut la etapa precedentă și constă în însumarea celulelor care „se scurg” în celula vizată. Astfel celula care nu primește apă din alte celule primește valoarea 1, iar pentru celulele care primesc apă din surse multiple valoarea se calculează însumând valorile celulelor respective, adăugându-se și valoarea 1.

Stream definition - oferă posibilitatea de generare a rețelei hidrografice în mod automat, utilizând gridul rezultat în urma modelării funcției flow accumulation. Rezultatul obținut este materializat printr-o structură de baze de date de tip grid căruia i-a fost atribuită valoarea 1 pentru toate celulele mai mari decât pragul pe care l-am definit. Toate celelalte celule vor fi asociate cu date lipsă fiind de tip NODATA. Cu cât pragul este mai mic cu atât va rezulta o rețea hidrografică mai densă.

Stream Segmentation - generarea segmentelor de râuri, în format grid.

Clasificarea rețelei hidrografice.

În decursul timpului au existat numeroase preocupări privind clasificarea rețelelor hidrografice, clasificări ce țin cont atât de criterii calitative, cât și cantitative (Gravelius, Horton, Panov, Strahler, Shreve, Scheidegger etc.) (I. Zavoianu, 1978).

În lucrarea de față s-a optat pentru sistemul de clasificare elaborat de Horton și completat de Panov și Strahler, deoarece majoritatea softurilor GIS permit o astfel de clasificare în regim automat (fig. 2).

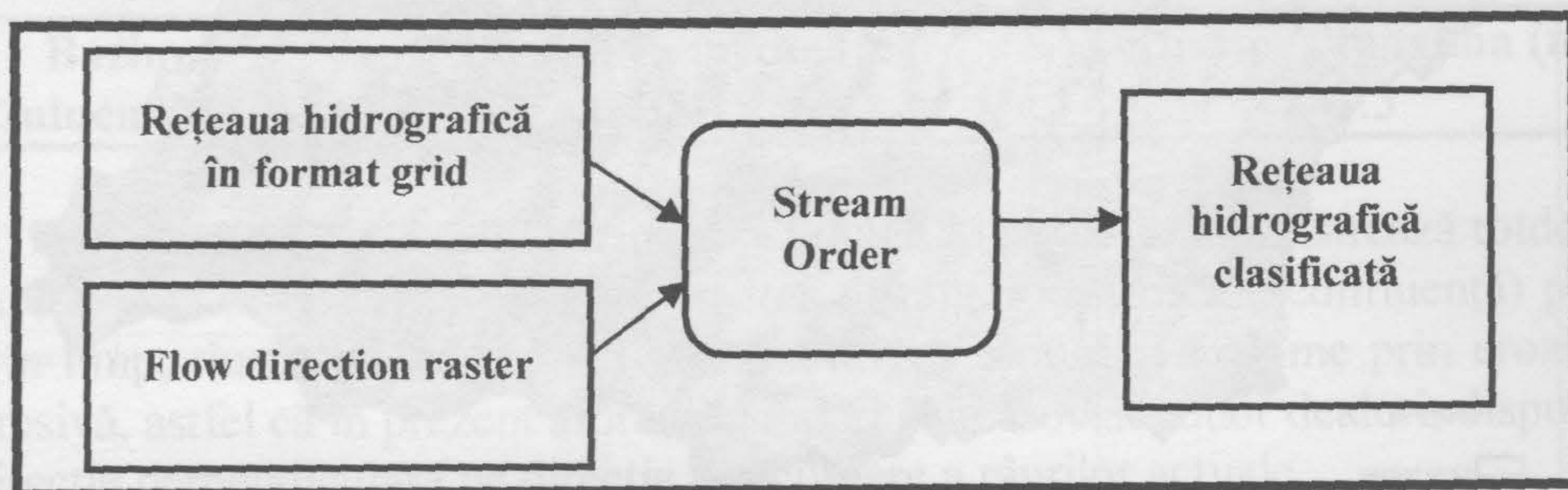


Figura 2. Etapele parcurse pentru clasificarea rețelei hidrografice în meniul Hydrology (ArcGis).

Sistemul dat presupune că ordinul de mărime a unui râu crește atunci când acesta intersectează un alt râu de același ordin. Astfel, toate cursurilor de apă fără afluenți primesc valoarea 1, iar când două râuri de ordinul 1 se unesc rețeaua

hidrografică rezultată va primi ordinul 2. Ordinul de mărime al rețelei hidrografice va crește doar atunci când se unesc două râuri de același ordin, în caz contrar, când se unesc un râu de ordin inferior cu unul de ordin superior ordinul va fi preluat de râul de ordin mai mare (fig. 4).

Morfometria bazinului.

Dintre elementele morfometrice ale bazinului hidrografic, *suprafața* reprezintă cel mai important indice morfometric fiind frecvent utilizat în practica hidrologică datorită rolului pe care îl deține în formarea scurgerii apei (G. Chirilă, 2010). Mărimea suprafeței bazinului are un rol deosebit în producerea fenomenelor hidrologice și în evoluția lor. Într-un bazin mic, evoluția cantităților de apă în râu este în funcție directă de regimul precipitațiilor. O ploaie se resimte imediat în creșterea apelor râului, iar o perioadă relativ scurtă lipsită de precipitații are drept urmare scăderea lor.

Tabelul 1. Suprafața și perimetrul bazinului hidrografic.

Bazinul	Suprafața (km ²)	Perimetrul (km)
Ciulucul Mare	1059.2	195.1

Altitudinea medie a bazinelor hidrografice are o influență deosebită asupra proceselor hidrologice (în special indirectă prin rolul pe care îl deține în distribuția parametrilor climatici, aceștia reflectându-se apoi asupra caracteristicilor elementelor hidrologice) (G. Chirilă, 2010).

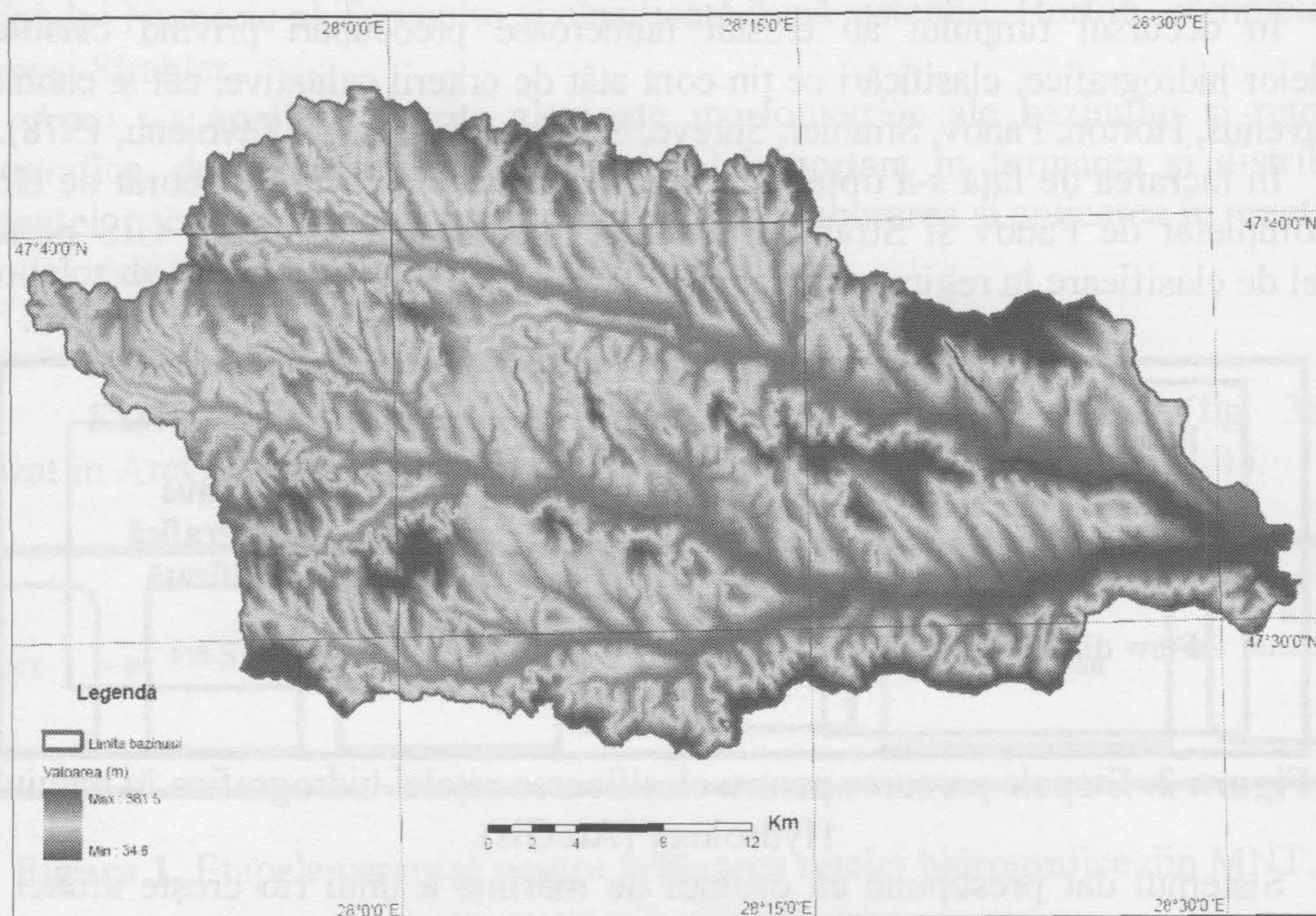


Figura 3. MNT-ul bazinului Ciulucul Mare.

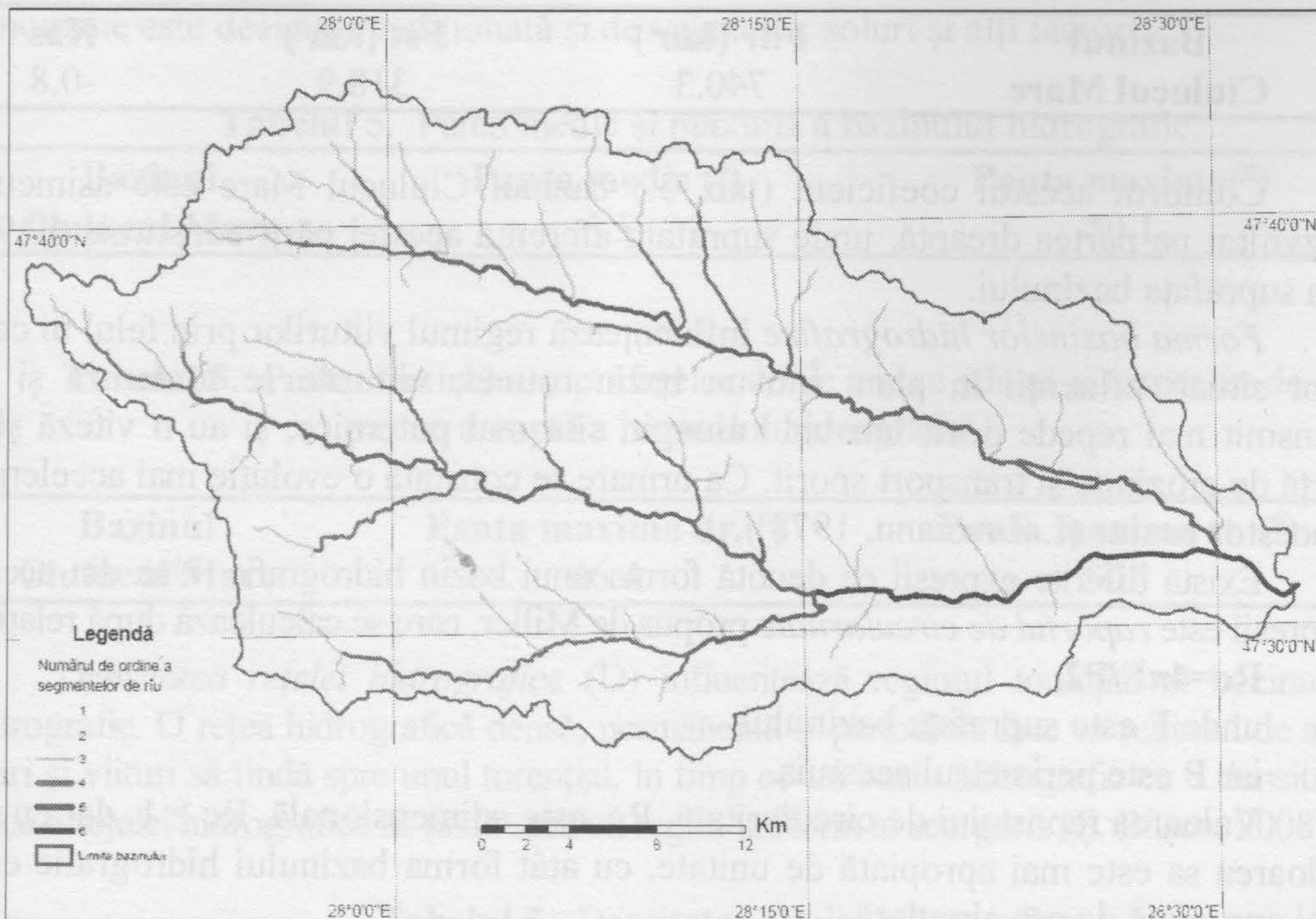


Figura 3. Rețeaua hidrografică a bazinului Ciulucul Mare, clasificată după Strahler.

Altitudinea medie are semnificații hidrologice importante în cazul bazinelor cu o suprafață mică condiționând, în general, atât cantitatea de materie și energie recepționată pe unitatea de suprafață cât și intensitatea transferului în cadrul bazinului.

Tabelul 2. Altitudinea medie și maximă a bazinului hidrografic.

Bazinul	Altitudinea medie (m)	Altitudinea maxima (m)
Ciulucul Mare	135.4	381.5

Altitudinile maxime ale bazinului Ciulucul Mare nu se înregistrează totdeauna în apropierea obârșiilor (sau în apropierea distanței maxime de confluență) pentru că, în timp, râurile au fragmentat interfluviile cu altitudini maxime prin eroziunea regresivă, astfel că în prezent altitudinile mari sunt asociate unor dealuri, dispuse pe o direcție perpendiculară pe direcția de scurgere a râurilor actuale.

Coeficientul de asimetrie se calculează pe baza relației $Kas=2(Fst-Fdr)/F$, unde **Fdr** și **Fst** sunt suprafețele aferente de pe partea stîngă și respectiv de pe partea dreaptă a cursului principal, iar **F** – suprafața bazinului dat.

Tabelul 3. Coeficientul de asimetrie a bazinului hidrografic

Bazinul	Fdr (km ²)	Fst (km ²)	Kas
Ciulucul Mare	740.3	318.9	-0.8

Conform acestui coeficient (tab. 3.) bazinul Ciulucul Mare este asimetric dezvoltat pe partea dreaptă, unde suprafața aferentă acestei părți constituie 69.9% din suprafața bazinului.

Forma bazinelor hidrografice influențează regimul viiturilor prin felul în care sunt situați afluenții în plan. Într-un bazin rotund, viiturile se formează și se transmit mai repede decât într-unul alungit, sînt mai puternice, și au o viteză și o forță de eroziune și transport sporit. Ca urmare se constată o evoluție mai accelerată a acestor bazine (I. Zavoianu, 1978).

Există diferite expresii ce denotă forma unui bazin hidrografic. Una din aceste expresii este *raportul de circularitate* propus de Miller, care se calculează după relația:

$$Rc = 4\pi F / P^2,$$

unde **F** este suprafața bazinului,
iar **P** este perimetrul acestuia.

Valoarea raportului de circularitate, Rc , este adimensională, $Rc \geq 1$, dar cu cât valoarea sa este mai apropiată de unitate, cu atît forma bazinului hidrografic este mai apropiată de cea circulară.

O altă expresie este *raportul de formă* propus de Horton, care are ca figură de referință pătratul și se calculează după relația:

$$Rf = F / (P/4)^2,$$

Conform valorilor raportului de formă, Rf , bazinele hidrografice pot fi: alungite, cu $Rf < 1$; pătrate, în cazul în care $Rf = 1$; rotunde, cu valorile Rf cuprinse între 1 și 1,274.

Coeficientul de dezvoltare a cumpenei de apă, introdus de Cebotarev, indică de asemenea forma bazinului și se calculează după relația:

$$Kcum = 0,282 Lcum / \sqrt{F},$$

unde **Lcum** este lungimea cumpenei de apă.

Acest coeficient are valoarea egală cu o unitate în cazul unui cerc perfect și crește la valori ce depășește cifra de 2,5 cînd forma bazinului devine alungită.

Tabelul 4. Raportul de circularitate, raportul de formă și coeficientul de dezvoltare a cumpenei de apă.

Bazinul	Rc	Rf	Kcum
Ciulucul Mare	1.69	0.45	1.7

Panta medie a bazinului hidrografic determină timpul pe care apa, provenită din precipitații, îl parcurge pînă ajunge la organismul colector (G. Chirilă, 2010). Ea este componenta reliefului cu cea mai mare influență asupra scurgerii maxime, deoarece reprezintă suprafața de geneză a viiturilor de versant. Valorile ridicate reprezintă condiții favorabile pentru o scurgere rapidă a apelor, pentru timpi de concentrare a apei scurți, pentru viituri cu debite de vîrf ridicate, pentru eroziune

pronunțată și transport corespunzător de material solid. Intensitatea acestor fenomene este desigur condiționată și de vegetație, soluri și alți factori.

Tabelul 5. Panta medie și maximă a bazinului hidrografic.

Bazinul	Panta medie (°)	Panta maxima(°)
Ciulucul Mare	5.5	50.1

Tabelul 5. Panta maximă a suprafețelor de pe partea stîngă și respectiv de pe partea dreaptă a bazinului hidrografic.

Bazinul	Panta maxima dr.(°)	Panta maxima st. (°)
Ciulucul Mare	46.4	50.1

Densitatea rețelei hidrografice (D) influențează regimul torențial al bazinului hidrografic. O rețea hidrografică densă, permanentă și periodică, face ca regimul de ape mari și viituri să tindă spre unul torențial, în timp ce un bazin hidrografic cu o densitate mică a rețelei hidrografice să tindă spre un regim uniform al scurgerii. (Ș. Bilșco, 2008)

Tabelul 5. Densitatea rețelei hidrografice.

Bazinul	D (km/km ²)	Lp (km)
Ciulucul Mare	1.39	0.38

Pornind de la densitatea rețelei hidrografice s-a determinat lungimea scurgerii de pantă L_p folosind expresia propusă de Horton:

$$L_p = 1/2 * D.$$

Morfometria rețelei hidrografice.

În cadrul ierarhizării rețelei hidrografice a bazinului Ciulucul Mare, s-a luat în calcul toate arterele, privite sub aspect morfologic, prin care se produce scurgerea lichidă organizată, începând cu ogașe și încheind cu văile mari, indiferent dacă scurgerea este temporară sau permanentă. Aceasta precondiție a fost posibilă de a o realiza, deoarece în generarea automată a rețelei hidrografice elementele date sunt reprezentate ca segmente de râuri.

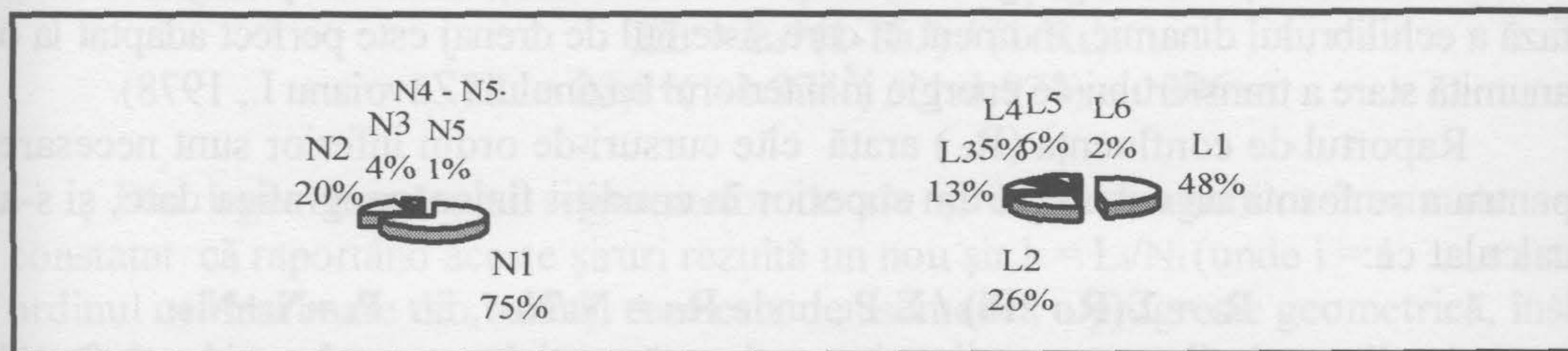


Figura 5. Ponderea numărului de segmente de râu și a lungimilor însumate în bazinul Ciulucul Mare

Conform sistemului de clasificare Horton - Strahler, bazinul Ciulucul Mare are ordinul de mărime 7. Lungimea segmentelor de ordinul 1 (L_1) însumează doar 48 % (fig. 5), deși numărul segmentelor de ordinul dat (N_1) reprezintă 75%. Frecvența talvegurilor elementare, calculată prin raportarea numărului segmentelor de ordinul 1 (N_1) la suprafața totală a bazinului, este de 1.08 segmente la km^2 , valoare specifică zonelor cu altitudine joasă.

Analiza modelului de drenaj s-a realizat pentru segmentele de râu de ordin 1 – 6, urmărindu-se stabilirea coeficientului de realizare sub aspectul numărului total al segmentelor de râu, pentru determinarea stadiului de evoluție a bazinului. Pentru aceasta s-a calculat numărul segmentelor de râu, lungimea însumată a segmentelor de râu și lungimea medie a acestora (tab.6).

Tabelul 6. Datele pentru modelul morfometric al drenajului - bazinul Ciulucul Mare

Parametrul		Ordinul						Rația progresiei	Suma termenilor progresiei
		1	2	3	4	5	6		
Numărul segmentelor	m	1149	301	68	15	3	1	RC=3.974	$\Sigma N=1535$
	c	1149	289	73	18	5	1.159		
Lungimea segmentelor	m	700.70	382.90	192.50	79.90	93.60	24.20	RL=1.974	$\Sigma L=1396$
	c	700.70	354.97	179.83	91.10	46.15	23.38		
Lungimea medie a segmentelor	m	0.610	1.272	2.831	5.327	31.200	24.200	rl= 2.013	$\Sigma l= \Sigma L/\Sigma N=0.910$
	c	0.610	1.228	2.472	4.977	10.022	20.178		

Analizând datele din tabelul dat, se observă că numărul de segmente de râu scade odată cu creșterea ordinului de mărime, iar lungimea medie a acestora crește odată cu ordinul de mărime. Acest lucru se realizează după trei legi: legea numărului segmentelor de râu, legea lungimilor însumate și legea lungimilor medii.

Legea numărului segmentelor de râu se referă la faptul că *numărul de segmente de râu de ordine succesive, dintr-un bazin hidrografic, tinde să formeze o progresie geometrică inversă, în care primul termen (N_1) este dat de numărul cursurilor de ordinul 1, iar rația o constituie raportul de confluență (R_c)* (Horton, preluat de Zăvoianu I., 1978).

Realizarea unei progresii geometrice descrescătoare a numărului de segmente de ordine succesive este o stare către care tinde evoluția în timp a oricărei rețele de drenaj. În anumite condiții fizico-geografice, ea poate fi realizată, dar nu reprezintă decât o fază a echilibrului dinamic, moment în care sistemul de drenaj este perfect adaptat la o anumită stare a transferului de energie în interiorul bazinului (Zăvoianu I., 1978).

Raportul de confluență (R_c) arată câte cursuri de ordin inferior sunt necesare pentru a se forma un curs de ordin superior în condiții fizico-geografice date, și s-a calculat ca:

$$R_c = \Sigma(R_{ci} * P_i) / \Sigma P_i, \text{ unde } R_{ci} = N_i/N_{i+1}, \text{ iar } P_i = N_i + N_{i+1}.$$

Analiza valorilor raporturilor de confluență parțiale a scos în evidență faptul că bazinul Ciulucul Mare se comportă ca un bazin în plină evoluție, supus continuu fragmentării, ceea ce influențează creșterea valorii parțiale R_{c4} .

Primul termen al șirului, plecând de la formula general valabilă în cadrul unei progresii geometrice descrescătoare, s-a calculat ca:

$$N_s = N_1 / R_c^{s-1}.$$

În cazul bazinului Ciulucul Mare $s=6$, respectiv $N_6 = 1149 / 3.974^5 = 1.159$. Deci în ceea ce privește acumularea cursurilor de ordine inferioare, râul Ciulucul Mare este realizat în proporție de 115 %.

Pentru calcularea celorlalți termeni ai progresiei s-a folosit formula:

$$N_i = N_s * R_c^{s-1}.$$

Valorile calculate sunt: 1149; 289; 73; 18; 5; 1.159.

ΣN_c s-a calculat cu ajutorul proprietății progresiei geometrice descrescătoare care impune că suma termenilor este dată de formula:

$$\Sigma N = N_s * (1 - R_c^s) / (1 - R_c).$$

Valoarea obținută este: $\Sigma N = 1535$ valoare foarte apropiată de cea obținută prin numărare directă.

Ordinul de mărime real al bazinului s-a calculat după formula:

$$s = 1 + (\log N_1 - \log N_s) / \log R_c.$$

Conform valorii obținute, ordinul de mărime real a bazinului Ciulucul Mare este de 6.11.

Cea de a doua lege din modelul drenajului este **legea lungimilor însumate** care dovedește că *sumele lungimii segmentelor de râu de ordine succesive tind să formeze o progresie geometrică descrescătoare, al cărei prim termen este dat de lungimea totală a cursurilor de ordinul 1 (L_1), iar rația o constituie raportul lungimilor (R_L)* (Zăvoianu I., 1978).

Raportul lungimilor totale (R_L) arată de câte ori este mai mică lungimea cursurilor de un ordin oarecare față de lungimea cursurilor care aparțin ordinului imediat superior, și s-a calculat ca medie ponderată a rațiilor parțiale:

$$R_L = \Sigma (R_{Li} * P_i) / \Sigma P_i, \text{ unde } R_{Li} = N_i / N_{i+1}; \text{ iar } P_i = L_i + L_{i+1}.$$

Primul termen al șirului s-a calculat ca:

$$L_s = L_1 / R_L^{s-1}.$$

În cazul bazinului Ciulucul Mare $s=6$, respectiv $L_6 = 700.7 / 1.974^5 = 23.380$. Valoarea dată reprezintă lungimea cursului principal.

Ceilalți termeni ai progresiei s-au calculat după formula:

$$L_i = L_s * R_L^{s-1}.$$

Lungimea totală a rețelei de râuri s-a calculat după formula:

$$\Sigma L = L_s * (1 - R_L^s) / (1 - R_L).$$

$$\Sigma L = 23,8 * (1 - 1.974^5) / (1 - 1.974) = 1396 \text{ m.}$$

Din legea numărului segmentelor de râu și legea lungimilor însumate s-a constatat că raportând aceste șiruri rezultă un nou șir $l_i = L_i / N_i$ (unde $i = 1, \dots, s$ este ordinul cel mai mare din bazin), care este de asemenea o progresie geometrică, însă de data aceasta este crescătoare.

Șirul nou de date obținut determină a treia lege, **legea lungimilor medii**, care se formulează astfel: *lungimile medii ale sectoarelor de râuri de ordine succesive,*

dintr-un bazin dat, tind să formeze o progresie geometrică crescătoare, al cărui prim termen îl constituie lungimea medie a cursurilor de primul ordin (l_1), iar rația este dată de raportul lungimilor medii (r_1) (Horton, preluat de Zăvoianu I., 1978).

Rația progresiei r_1 s-a determinat ca raportul R_c/R_L . $r_1 = 3.974/1.974 = 2.013$.

Termenii progresiei noi au fost apreciați conform expresiei:

$$l_1; l_1 \cdot r_1; l_1 \cdot r_1^2; l_1 \cdot r_1^3 \dots l_1 \cdot r_1^{s-1}.$$

0.610; 1.228; 2.472; 4.977; 10.022; 20.178.

Reprezentarea grafică a funcțiilor $N(i)$, $L(i)$ și $l(i)$, unde $i = 1, 2, \dots, s$ s-a făcut în coordonate semilogaritmice: pe axa x s-a trecut ordinele de mărime i , iar pe axa logaritmică y s-a trecut valorile măsurate ale numărului de segmente de râu (N), lungimea (L), lungimea medie a segmentelor de râu (l). Punctele de pe grafic reprezintă valorile măsurate iar dreptele care definesc fiecare progresie în parte s-au trasat încât să treacă prin cât mai multe valori măsurate, sau abaterea medie pătratică pentru fiecare punct să fie cât mai mică.

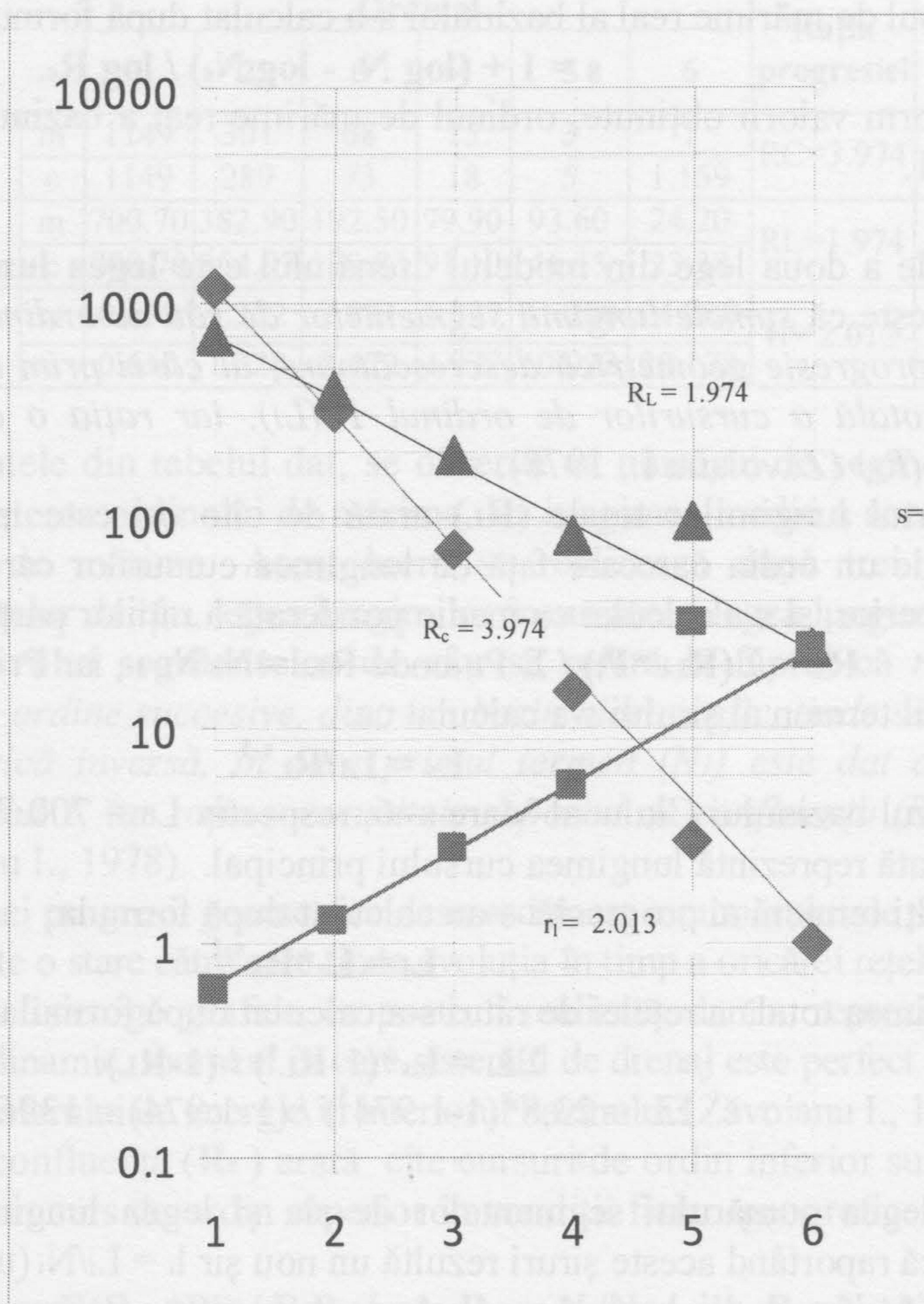


Figura 6. Modelul morfometric al drenajului pentru bazinul Ciulucul Mare.

Modelul drenajului (fig.6) relevă existența unor interdeterminări calitative și cantitative la nivelul bazinului hidrografic (F. Vartolomei, 2008). În primul rând, vârful triunghiului, obținut la intersecția graficilor $L(i)$ și $l(i)$ reprezintă ordinul de mărime real al bazinului, adică aceste două ecuații au rădăcini comune în punctul dat. De asemenea, analiza modelului drenajului reflectă că rațiile sunt strâns legate între ele: $1 < R_L < R_c$; $1 < r_l < R_c$ (E. Marinescu, 2006), adică $1 < 1.974 < 3.974$ și $1 < 2.013 < 3.974$.

Date cu privire la morfometria rețelei hidrografice din bazinul Ciulucul Mare, sunt prezentate în lucrarea tezei de doctor: "Modificările rețelei hidrografice ale bazinului r. Răut în secolul XX", realizată de I. Codreanu. Conform datelor din această lucrare, suprafața bazinului măsurată este de 1081.8 km^2 , cursul de ordinul 6 este realizat în proporție de 150 % și ordinul de mărime real al bazinului este de 6.26 (I. Codreanu, 2005). Divergențele dintre valoarea unor caracteristici ale rețelei hidrografice ale bazinului respectiv, obținute de noi și cele prezentate de I. Codreanu, poate fi explicată utilizarea, ca sursă informațională primară, a materialelor cartografice la diferită scară.

CONCLUZII

Bazinul Ciulucul Mare este de ordinul 6 (calculat 6.11), cu formă alungită, dezvoltat asimetric pe partea dreaptă. Suprafața bazinului constituie 1059.2 km^2 , iar densitatea rețelei de drenaj este de 1.39 km/km^2 . Gradul de realizare a bazinului, sub aspectul numărului total al segmentelor de râu, este în proporție de 115 %. Modelul morfometric al drenajului scoate în evidență faptul că acest bazin nu a atins stadiul de maturitate și este în plină evoluție, supus continuu fragmentării. Judecând după debitele mici, ponderea și frecvența talvegurilor elementare, se poate afirma că bazinul Ciulucul Mare a evoluat în ultima perioadă, ca rezultat al alternării perioadelor secetoase cu cele umede. Rezultatele analizei morfometrice diferă în funcție de scara materialului cartografic.

BIBLIOGRAFIE

1. Bănică, S. Studiu fizico-geografic al bazinului râului Bârsa – cu privire specială asupra peisajelor. Teză de dr. șt. geografice. București, 2006, 254 p.
2. Chirilă (Neculau), G. Resursele de apă din bazinul râului Trotuș. Studiu de hidrologie și calitatea apelor. Rezumatul Tezei de dr. șt. geografice. București, 2010, 7 p.
3. Codreanu, I. Modificările rețelei hidrografice ale bazinului Răut în secolul XX. Teză de dr. șt. geografice. Chișinău, 2005, 185 p.
4. Marinescu, E. Studiul reliefului din bazinul hidrografic Gilort. Rezumatul Tezei de dr. șt. geografice. București, 2006, 45 p.
5. Vartolomei, F. Bazinul Prutului - studiu de hidrologie. Rezumatul Tezei de dr. șt. geografice. București, 2008, 58 p.
6. Zăvoianu, I. Morfometria bazinelor hidrografice. București: Academiei, 1978, 174 p.