

Capitolul 3

AMENAJĂRI ȘI CONSTRUCȚII PENTRU REGULARIZAREA ȘI ÎNDIGUIREA CURSURILOR DE APĂ

Regularizarea (corectarea) unui curs natural de apă reprezintă totalitatea lucrărilor de acumulare și îndiguire, calibrarea albiei, tăieri de coturi, consolidări de maluri, plantații de protecție și combatere a eroziunii solului în bazinul superior. Toate acestea în scopul amplificării posibilităților de folosire a cursurilor de apă prin regularizarea albiei și a debitului, prevenirea inundațiilor, a colmatării albiei și punerea în valoare a zonei anterior inundabile din albia majoră, deci de a obține un profil stabil, cuprins între maluri fixe/consolidate.

3.1. Generalități, obiective, scheme generale ale lucrărilor de regularizare

Elementele morfologice ale albiei oricărui curs natural de apă (râu) sunt secțiunea transversală, traseul în plan și profilul longitudinal.

Secțiunea transversală, compusă din cele două principale elemente ale sale, albia minoră și albia majoră, este puternic influențată de forma și structura văii prin care curge râul.

Văile cu profil transversal în formă de V, caracteristic formațiunilor tinere, neevoluante (din cursul superior/montan), au profilul versanților convex, dominând la mare înălțime cursurile de apă. Râurile au aici o albie minoră îngustă, complet lipsite de albie majoră. În aceeași situație se găsesc și râurile care străbat văile adânci în formă de chei, de origine tectonico-erozivă (ex. defileul Oltului la Turnu-Roșu - Cozia, sau al Jiului la Lainici) sau epigenetică, dezvoltate în calcare (ex. Cheile Carașului, Dâmbovicioarei, Bicazului etc.).

Văile mari, evoluante, cu profil în formă de U, văile trapezoidale, în multe cazuri asimetrice din cauza teraselor care nu se dezvoltă egal pe ambii versanți, precum și zonele de șes în care râul curge într-un întins format din propriile aluviuni, permit și formarea unei albiei majore [13].

Albia minoră este limitată, în principiu de nivelul debitelor medii multianuale și supusă energiei erozive a curentului de apă pe tot parcursul anului. În consecință, această zonă se află într-o continuă transformare. Peste cotele

debitelor medii începe deversarea spre albia majoră, cote/niveluri mult influențate de lucrările care se execută în albia majoră, cu precădere cele de îndiguiri.

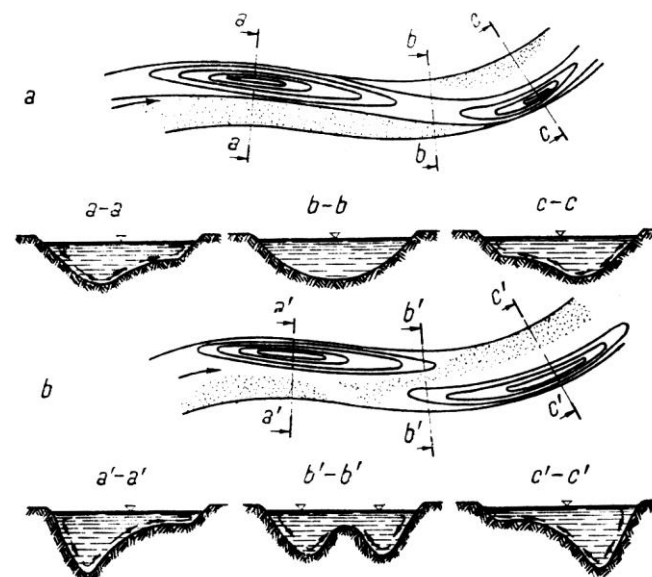


Fig.3.1. Forme caracteristice ale albiei minore

Albia majoră (luncă) este zona secțiunii transversale limitată de nivelurile debitelor maxime sau extraordinare. Curgerea în albia majoră are loc deci, numai în timpul producerii viiturilor (primăvara, toamna). Este în general asimetrică, iar transformările morfologice mult mai lente decât ale albiei minore.

Traseul (parcursul în plan) *albiei* majore este determinat de relieful înalt al văii, care limitează în general și lățimea ei (cu excepția zonelor îndiguite, a rambleelor de cale ferată, șosele etc.). Traseul albiei minore este în general mai sinuos și mult mai instabil. Aceasta pentru că în deplasarea în curbe, curentul de apă datorită forței centrifuge este împins dinspre malul convex spre cel concav, de unde plonjează spre fundul albiei, erodând taluzul acestuia. Apoi în mersul său ascendent, cu capacitate de erodare și transport reduse depune în parte materialul solid purtat pe malul convex (vezi fig.3.2). Astfel, se formează traseul divagant al meandrelor (curbelor și contracurbelor). Paralel cu sporirea lungimii curbei, adâncimile albiei cresc. Acestea însă numai până la o anumită dezvoltare a curbei, când adâncimile încep să scadă. Dacă lungimea părții curbe este mai mare decât $\pi \cdot D/2$, se realizează o meandă (vezi fig.3.3.a). Meandrele sunt, în majoritatea cazurilor, forme instabile ale traseului sinuos care, dacă nu sunt fixate, se pot dezvolta pe o lățime de teren de cca. 20 ori lățimea albiei râului respectiv. Meandrele pot fi divagante (vezi fig.3.3.b, c) sau adâncite (încătușate).

La meandrele adâncite, dezvoltarea laterală este împiedicată în mare măsură de adâncimea albiei pe loc, eventual de malurile înalte ale albiei majore. Viteza de deplasare a acestora este neînsemnată și nu poate fi înregistrată decât dacă se dispune de ridicări pe perioade îndelungate [13].

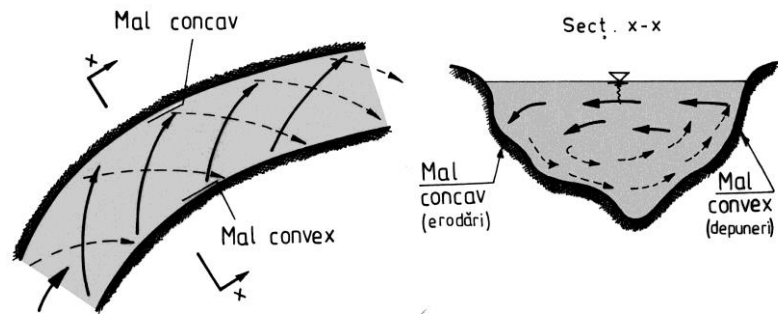


Fig.3.2.

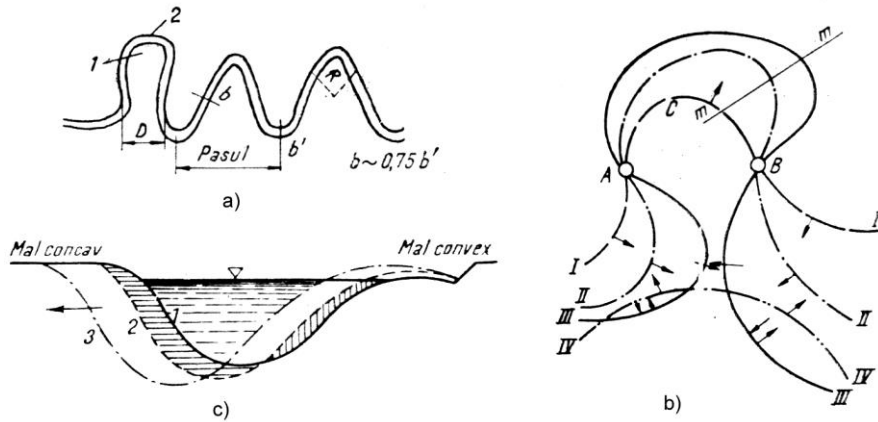


Fig.3.3. Meandre. Traseul divagat al meandrelor

Meandrele divagante evoluează mult mai rapid. Cele mai importante transformări se produc în timpul apelor mari, când curgerea în albia majoră are direcție normală pe cea a meandrelor. Ca urmare, unele ramuri ale meandrelor dispar în câteva zile prin înnisiparea produsă de apele mari (brațele moarte - vezi fig.3.4), în timp ce alte ramuri pot apărea mai departe cu un traseu complet diferit.

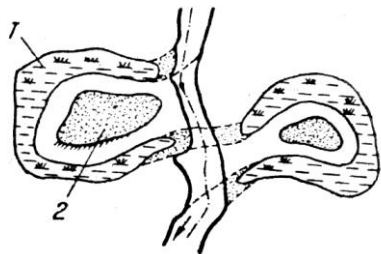


Fig.3.4. Formarea brațelor moarte
1- braț mort;
2- ostrov (popină)

Profilul longitudinal al râurilor, este determinat în mare măsură de profilul în lung al văilor în care curg și este definit de linia talvegului (linia care unește punctele cu cea mai mare adâncime ale albiei unui curs de apă). Deși în realitate

profilul longitudinal este foarte neregulat, privit în ansamblu el are o formă aproximativ parabolică (vezi fig.3.5).

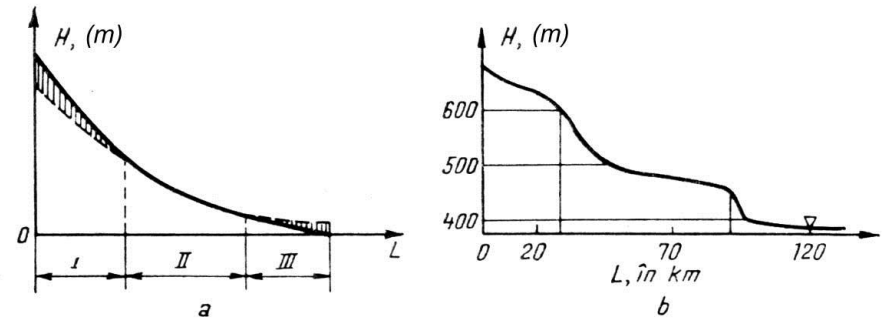


Fig.3.5. a) forma teoretică; b) profil longitudinal în trepte

Configurația terenului și alcătuirea geologică a patului albiei pot aduce perturbații în această formă teoretică. De asemenea și construcția barajelor sau a lucrărilor de regularizare.

Panta longitudinală, deci și procesele de albie, diferă sensibil în cele trei zone distincte (I, II și III - fig.3.5.a):

- sectorul superior (I - montan / eroziune);
- sectorul mijlociu (II - echilibru temporar);
- sectorul inferior (III - de șes / depuneri).

Panta longitudinală, foarte mare în sectorul superior, se micșorează spre vărsare (sectorul inferior). Datorită pantei foarte mari, râul exercită în cursul superior o puternică și continuă acțiune erozivă asupra albiei. O modificare continuă a albiei are loc și în sectorul inferior, dar unde din cauza micșorării forței de antrenare (hidrodinamice) se produc depuneri, deci înălțarea fundului albiei. În sectorul mijlociu, profilul longitudinal considerat în ansamblu, se găsește temporar în starea de echilibru.

Fenomenul de eroziune, transport și depunere face ca profilul în lung să evolueze în timp către o formă stabilă, care este *profilul de echilibru* al râului respectiv. La râurile mari, evoluția către profilul de echilibru se face lent, în decurs de secole, în timp ce la cele mici și mai ales la torenți evoluția este mai rapidă.

Variații importante în profilul longitudinal al râurilor care și-au stabilit un profil de echilibru, se produc datorită construcției barajelor. Lacurile de acumulare care iau naștere în spatele acestora și acumulările masive de aluviuni de aici, modifică atât panta longitudinală a râului principal, cât și a afluenților săi. Modificări importante se produc și în aval de baraj, unde apele râului degajate de aluviuni au o forță de antrenare mai mare și erodează albia.

Din cele prezentate până acum rezultă evident faptul că procesele naturale normale de albie determină modificări continue ale acesteia, modificări care la rândul lor influențează caracteristicile curgerii și care conduc spre un echilibru natural inevitabil.

Dar procesele de albie, mai ales în perioadele de viitură pot conduce și spre efecte dăunătoare, ca de exemplu:

- erodarea, surparea/deplasarea malurilor și în consecință atacarea/compromiterea terenurilor adiacente;
- crearea formațiunilor aluvionare care pot stânjeni funcționarea captărilor de ape sau navigația;
- inundarea teritoriilor adiacente albiei majore, la atingerea nivelurilor maxime sau extraordinare.

Acestor procese de albie dăunătoare, dar și celor destinate realizării unor condiții superioare de utilizare a albiei și apei care circulă în aceasta, trebuie să le găsească soluții tehnice corespunzătoare domeniului aferent regularizărilor și îndiguirii cursurilor de apă.

Mai concret, *lucrările de regularizare și corectare a albiilor respectiv malurilor râurilor* vizează îmbunătățirea scurgerilor lichide și solide (aluviunilor) și ridicarea capacității de transport a albiilor în perioadele de ape mari (viituri); deci posibilitatea evacuării debitelor maxime în intervale mai scurte de timp și fără creșteri ale nivelurilor peste cotele de inundabilitate.

Prin aceste lucrări se realizează:

- corectarea traseului albiei, adică reducerea gradului de sinuozitate și scurtarea sectorului supus amenajării (vezi fig.3.6 - contur rectificat);

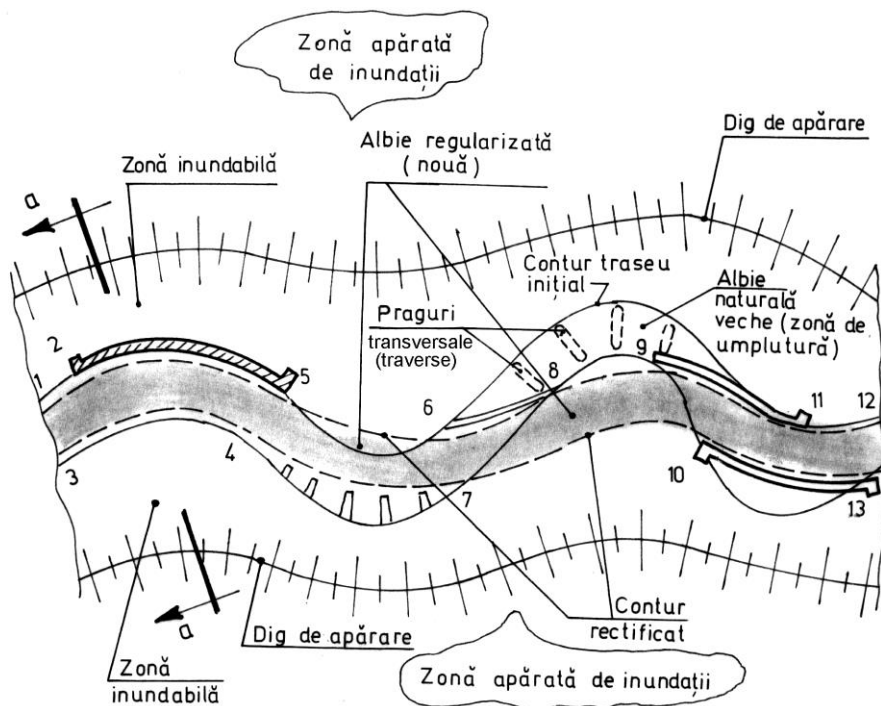


Fig.3.6.

- mărirea pantei longitudinale a talvegului până la valori care să permită sporirea vitezei de curgere corespunzător scopului urmărit (reducerea duratei de evacuare a debitelor maxime), dar fără accelerarea eroziunilor sau favorizarea colmatărilor; din acest motiv este necesar ca această modificare să nu rupă brusc echilibrul natural deja existent, adică valoarea pantei de regularizare să fie cât mi apropiată de cea naturală ($i_{reg} \cong i_{nat}$, vezi fig.3.7);

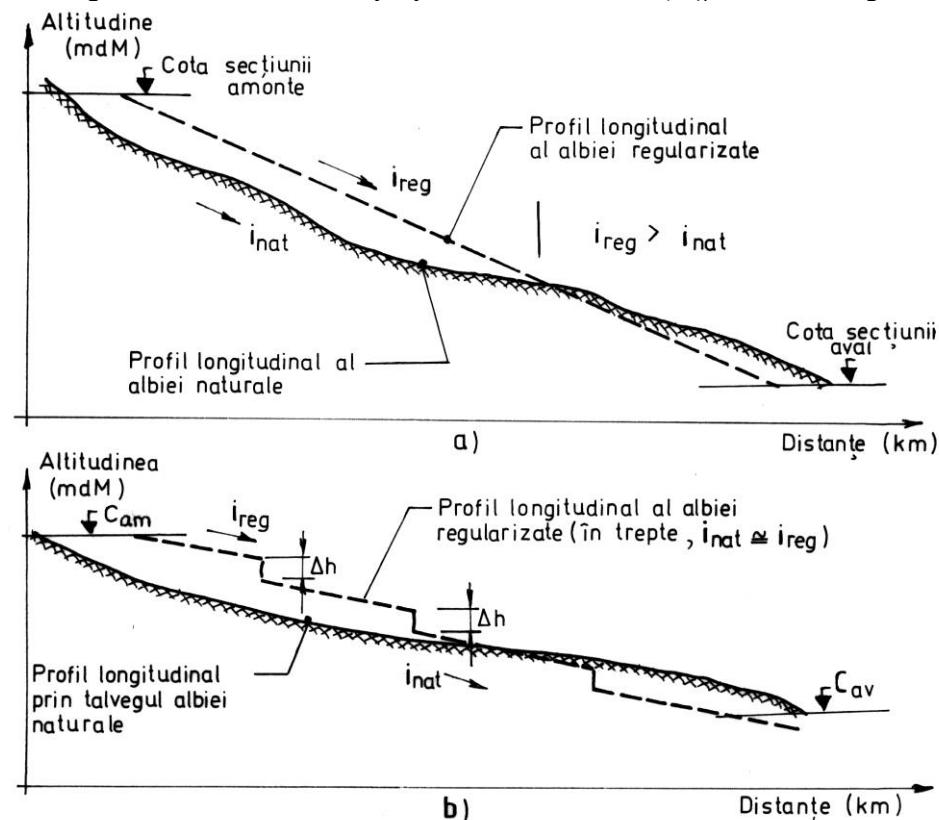


Fig.3.7.

- lărgirea și adâncirea albiei naturale, obținându-se astfel secțiuni transversale cu capacitate de transport sporită, deci capabilă de preluarea și evacuarea mai rapidă a apelor de viitură (vezi fig.3.8).

Lucrările de apărare contra inundațiilor, se referă în principal la digurile de apărare. Digurile de apărare sunt construcții (de pământ compactat) în rambleu executate în albia majoră a unui râu, pe unul sau ambele maluri (vezi fig.3.8), ale căror cote la coronament, pe întreg traseul, sunt superioare cotelor nivelurilor apelor mari (viiturilor). Aceste lucrări apără de efectele dezastruoase ale inundațiilor, întinse suprafețe agricole, construcții rutiere, industriale și civile, dar mai ales viețile oamenilor.

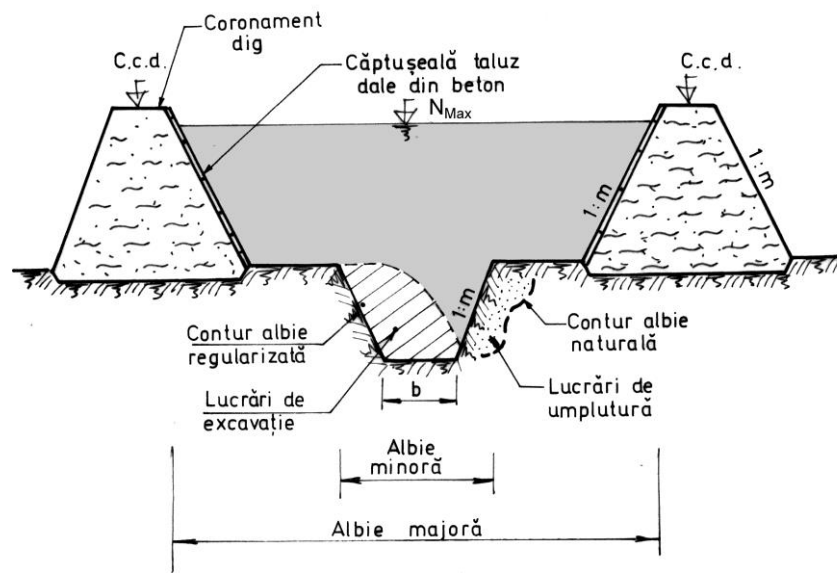


Fig.3.8.

Toate aceste scopuri anterior prezentate (a, b, c) reprezintă de fapt *obiectivele* generale ale lucrărilor de regularizare ale cursurilor de apă.

Lucrările care răspund eficient acestor obiective se regăsesc în *schema generală de amenajare*, prezentată în fig.3.6. Albia regularizată, în figura menționată, are în bună măsură un traseu modificat față de cel inițial, în alcătuirea căruia se găsesc:

- porțiuni din malurile inițiale, modificate, sau numai cu rectificări locale de trasee (1-2, 3-4, 11-12);
- porțiuni din malurile inițiale consolidate cu lucrări de apărare (2-5);
- lucrări de dirijare, amplasate în vechea albie, longitudinale (praguri, diguri submersibile, ziduri de sprijin, 2-5, 6-8, 9-11, 10-13) sau transversale (epiuri, 4-7);
- tranșee dragată / tăiere de meandru (7-8-9-10);
- diguri de apărare.

Forma în plan și secțiunile transversale ale traseului regularizat sunt astfel proiectate și realizate încât să conducă spre un echilibru hidrodinamic între curent și albia nou creată, cu ajutorul acestor lucrări.

Acestor lucrări clasice, concepțiile moderne din domeniu mai adaugă un alt set de lucrări, care utilizează în cât mai mare măsură energia cursului de apă pentru a crea o albie nouă, cu caracteristicile dorite (praguri deversante în perioadele de ape mari, bioprotecții etc.).

Lucrările de regularizare proiectate trebuie să țină seama de cele anterior executate (prize de apă, baraje) sau prevăzute pentru amenajarea cursului de apă și, să aibă în vedere principiile care asigură conservarea, protecția mediului ambiant și înfrumusețarea peisajului.

3.2. Traseul, secțiunea și profilul longitudinal de regularizare

Traseul de regularizare este determinat de traseul noului talveg. În funcție de acesta, de celelalte elemente ale curgerii și de configurația locală a terenului se determină și traseul malurilor. Traseul de regularizare este strâns legat de panta disponibilă și de natura terenului. Alegerea lor se face ținând seama de posibilitatea realizării tuturor obiectivelor regularizării și în special a secțiunii proiectate [13].

Un traseu sinuos, cu curburi continue, care nu se depărtează prea mult de traseul inițial, reușește aproape întotdeauna să realizeze o *albie stabilă*.

Traseul regularizat trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- să realizeze pantele și secțiunile de regularizare alese;
- să fie alcătuit dintr-o serie de curbe și contracurbe despărțite prin puncte de inflexiune sau scurte aliniamente (nu mai lungi de trei lățimi de albie); trebuie respectată în special variația continuă a curbelor de la zero la punctele de tangentă de la capete, la curbura maximă din vârful curbei; o astfel de variație continuă asigură trecerea progresivă a secțiunii de la forma simetrică și lățimea mai mică din aliniament, la forma disimetrică și lățimea mai mare din curbă; raza minimă din vârful curbei trebuie să fie $R = (3,5 \div 8,0) B$, unde B este lățimea albiei la oglinda apei pentru debitul de calcul;
- să se rezeme la ambele capete pe malurile unor sectoare stabilizate; în caz contrar, meandrele care limitează sectorul se pot deplasa în așa măsură încât lucrările executate să constituie o piedică pentru curgerea apei și pentru navigație sau chiar să rămână complet pe uscat;
- să fie așezat în cuprinsul albiei minore, în limitele zonelor cu depuneri minime de aluviuni și să se sprijine pe malurile concave înalte existente; este recomandabil ca în secțiunile întinse ale vechii albiei, așezarea traseului regularizat să se facă ținându-se seama de malurile, bancurile și insulele deja consolidate și așezate favorabil; de asemenea trebuie luate în considerare și utilizate cât mai complet lucrările de regularizare existente; traseul trebuie îndepărtat de malurile nestabile (terenuri curgătoare, grohotișuri etc.);
- să se înscrie în sinuozitățile largi ale albiei majore, fără însă a fi prea diferit de traseul acesteia; unghiurile formate de axele hidrodinamice ale celor două albie în punctele lor de intersecție să fie cât mai mici posibil.

Pentru traseul regularizat forma indicată este dată de arcele de sinusoidă, arce care satisfac cel mai bine condițiile dezvoltării progresive a curburilor și cele hidraulice optime curgerii regularizate. Acest traseu (vezi fig.3.9) este descris de relațiile:

$$2x_0 = \pi \cdot tg \frac{\varphi}{2} \cdot R_0; \quad y_0 = \pi \cdot tg^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right) \cdot R_0 \quad (3.1)$$

și ecuația:

$$y = y_0 \cdot \cos \frac{\pi \cdot x}{2 \cdot x_0} \quad (3.2)$$

unde: R_0 (m) - este raza minimă la vârful curbei;
 $2 \cdot x_0$ (m) - lungimea coardei;
 y_0 (m) - săgeata maximă.

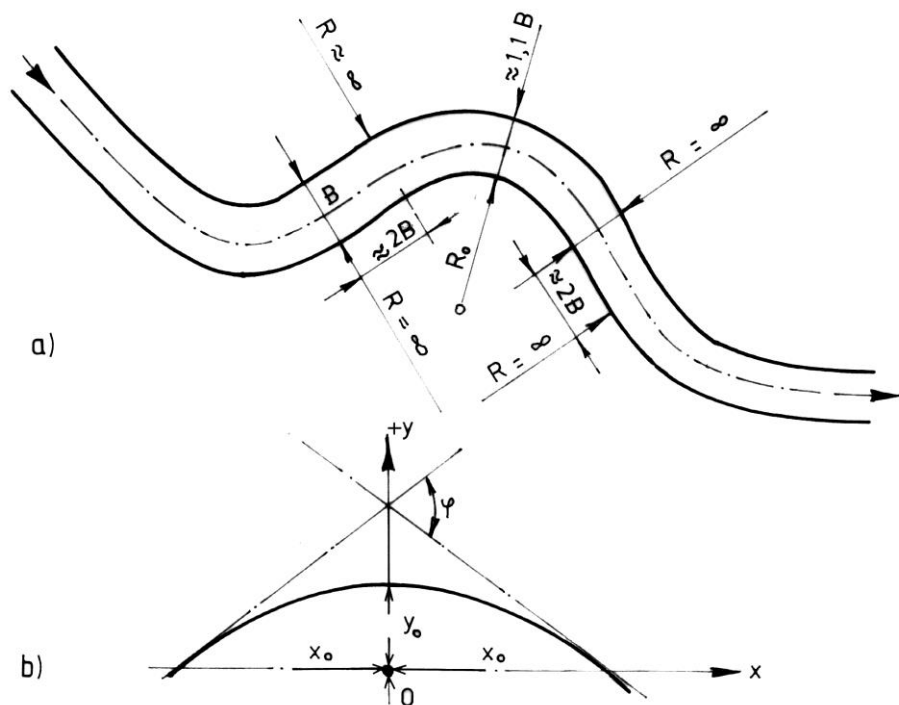


Fig.3.9.

În practică, traseul cel mai comod, care satisface în același timp condițiile unei creșteri progresive a curburii, este cel *în mâner de coș*. Acesta este alcătuit, de obicei, din trei arce de cerc, cel din mijloc având raza cea mai mică. Curbele traseului se mai pot realiza din arce de cerc cu racordări parabolice, din arce de elipsă, parabolă, lemniscată etc.

Realizarea traseului regularizat se asigură prin lucrări de regularizare (epiuri, diguri longitudinale de dirijare, praguri de fund) care se pot executa pe ambele maluri sau numai pe unul singur. Digurile longitudinale de dirijare se utilizează mai ales în părțile concave, epiurile fiind preferate în restul traseului.

Secțiunea de regularizare trebuie să asigure curgerea debitului lichid și solid (aluviunile) la orice nivel fără ca apele corespunzătoare debitului de regularizare ales să se reverse peste maluri și fără ca patul albiei să sufere înnisipări sau adânciri importante. În plus, pe râurile navigabile, secțiunea regularizată trebuie să asigure gabaritul (adâncimea) de navigație. Secțiunea regularizată, în special prin amenajarea corespunzătoare a taluzurilor, banchetelor și teraselor trebuie să contribuie la înfrumusețarea peisajului.

Secțiunea unică, (vezi fig.3.10) trebuie să asigure curgerea la orice nivel. Lățimea albiei este determinată de debitele maxime, calculate cu asigurarea corespunzătoare importanței, rolului și regiunii străbătute. Formele utilizate la canalele artificiale nu au întrebuințare în regularizările de râuri decât în cazuri foarte rare, când variațiile debitelor sunt cu totul neînsemnate. Restrângerea lățimii albiei după cerințele secțiunii optime, conduce la adâncimi mari și diferențe de nivel importante chiar pentru variații moderate ale debitelor [13]. Acest lucru este contrar cerințelor unei bune regularizări, care presupune variații de nivel în limite cât mai restrânse. În plus, sporirea adâncimilor în albie are ca urmare sporirea vitezelor de curgere ($v = C \cdot \sqrt{R \cdot I}$ - Chézy) la ape mari și deci afuieri și dificultăți de întreținere.

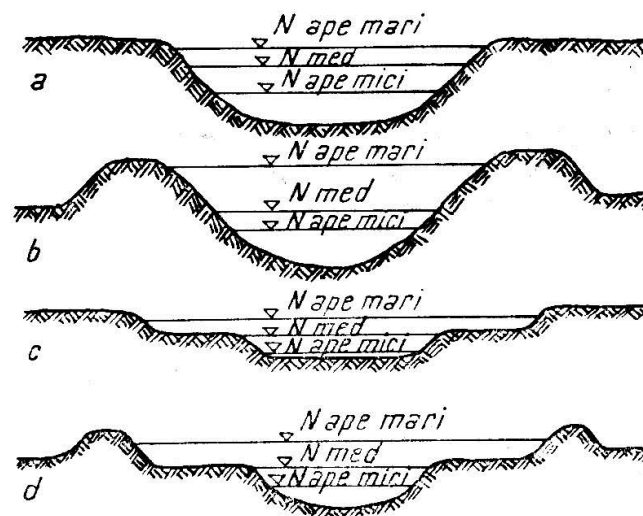


Fig.3.10.
a, b) secțiune unică în săpătură; c, d) secțiune etajată în săpătură și mixtă

Dimensiunile generale ale secțiunii transversale nu trebuie considerate absolute și definitive, mai ales atunci când datele hidrologice pe care s-au bazat calculele sunt relativ incerte. Din acest motiv, alcătuirea secțiunii transversale și lucrările pentru fixarea acesteia trebuie astfel concepute încât să admită corecții ulterioare, fără dificultăți și cheltuieli prea mari.

Forma transversală uzuală a albiilor în aliniament este cea eliptică sau parabolică. Executarea și întreținerea acestor forme este destul de grea și costisitoare. De aceea se preferă contururile poligonale apropiate acestora.

În curbe, conturul secțiunii este determinat de două ramuri de parabolă asimetrice, având ca axă comună verticala corespunzătoare adâncimii maxime (talvegului). Se poate utiliza și curba dată de relația (vezi fig.3.11):

$$y = h_0 \left(1 - \frac{4 \cdot x^2}{B^2} \right) \cdot \left(1 - a \frac{x}{R} \right) \quad (3.3)$$

- unde: R (m) - este raza malului concav;
 B , h (m) - sunt lățimea la oglinda apei, respectiv adâncimea medie de regularizare în sectoarele rectilinii;
 a - coeficient empiric, cu valorile:
 $a = 5,34$, dacă debitul maxim de calcul este transportat în albia minoră (albie unică);
 $a = 8,00$, dacă debitul maxim este transportat și în albia majoră;
 $h_0 = \frac{2}{3} \cdot h$

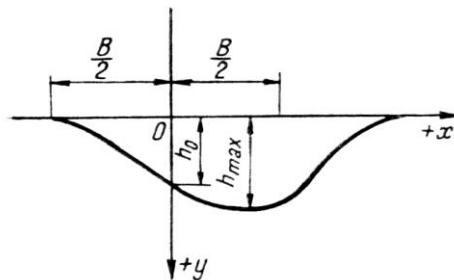


Fig.3.11.

Adâncimile medii și maxime într-un sector curb, funcție de raportul B/R pot fi calculate (după Boussinesq) cu ajutorul relațiilor:

$$h_{\text{med,c}} = \alpha \cdot h; \quad h_{\text{max,c}} = \beta \cdot h \quad (3.4)$$

în care, h (m) este adâncimea medie de regularizare în sectoarele rectilinii, iar α și β , coeficienți ale căror valori sunt date în tabelul nr.3.1.

Tabelul 3.1.

B/R	0,16	0,20	0,25	0,50
α	1,24	1,27	1,33	1,60
β	1,48	1,84	2,20	3,00

Profilul longitudinal de regularizare, este în bună măsură determinat de profilul văii în care râul curge. Pantele de curgere nu pot diferi prea mult de cele ale văii și sunt limitate de natura terenului. Pentru un anumit traseu de regularizare ales, pantele de curgere sunt în strânsă legătură cu secțiunea transversală și debitul transportat prin relațiile cunoscute din hidraulică ($Q = S \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I}$, vezi subcapitolul 1.2). Pantele de curgere determină transportul aluviunilor și condiționează stabilitatea albiei (eroziunile). Se poate lesne observa că prin lucrările de regularizare în curbe lungimea traseului albiei se reduce, în timp ce cotele (nivelurile luciului) apei în secțiunile amonte și aval (intrare și respectiv ieșire) rămân aceleași (vezi fig.3.6). Ca atare tăierile de cot vor conduce inevitabil la mărirea pantei longitudinale a traseului regularizat ($i_{\text{reg}} > i_{\text{nat}}$ - fig.3.6 și 3.7). Această modificare poate conduce însă la schimbări importante ale regimului hidraulic și evident ai parametrilor

geometrici caracteristici albiei. Pentru a evita însă aceste modificări bruște ale echilibrului anterior existent este recomandabil ca $i_{\text{reg}} \cong i_{\text{nat}}$. În situații deosebite, pentru a respecta această recomandare, se poate recurge la soluția profilului longitudinal în trepte de cădere (Δh - vezi fig.3.7.b).

Indicații utile pentru proiectare aferente pantelor de curgere și profilului longitudinal (de regularizare) se pot obține din relațiile morfometrice ale albiei stabile și de sectoarele favorabile. Este însă necesar să se cerceteze dacă pantele constatate în sectorul model (favorabil) nu sunt cumva rezultatul unor cauze speciale locale (fixarea patului datorită unor bancuri de pietriș provenit dintr-un vechi torent sau unor construcții deja existente, de baraje, praguri de fund înnisipate etc.). O condiție esențială însă este și aceea ca debitele lichide și solide ale sectorului model să fie foarte apropiate sau comparabile cu cele ale sectorului care urmează a fi regularizat. Trebuie de asemenea examinat, în ce măsură pantele de curgere și toate celelalte caracteristici ale sectorului model sunt datorate râului însuși sau afluenților săi.

3.3. Materiale și elemente de construcție utilizate pentru regularizarea cursurilor de apă

Întrucât lucrările de regularizări necesită volume mari de materiale, este necesar pentru reducerea la maximum a costurilor lucrărilor, să fie folosite în proporție cât mai mare materiale locale, care nu necesită cheltuieli de transport foarte mari. În acest scop se folosesc prioritar materiale ca lemnul (mai ales crengile), pământul, piatra de râu sau piatra spartă, plante (de la iarbă până la arbuști sau copaci) și cu maximum de chibzuință materiale clasice ca betonul și betonul armat, materiale bituminoase, materiale plastice sau metalul.

Aceste **materiale** trebuie să fie rezistente la solicitările caracteristice lucrărilor hidrotehnice, cum sunt eroziunea, dizolvarea, presiunile statice și dinamice ale apei, tasări inegale, variații de temperatură, succesiunile îngheț - dezgheț, coroziunea etc.

Dintre acestea:

1. **pământul**, se folosește la umpluturi în vederea corectării malurilor și depresiunilor, ca teren vegetal așternut pe taluzuri în vederea înierbării acestora sau ca materiale de bază la execuția corpului diferitelor lucrări de regularizare (cel mai frecvent pentru diguri), sub formă de nisip, argilă nisipoasă, nisip argilos; argila poate fi folosită la căptușirea canalelor, ca ecran sau sâmbure central la digurile de apărare; trebuie evitate pământurile mârloase, pământurile turboase sau nisipurile fine;
2. **piatra**, foarte frecvent folosită pentru îmbrăcăminți și consolidări de maluri, ca straturi de egalizare sau filtre, ca element de lestarsă a construcțiilor realizate din lemn, la masive din anrocamente, zidării etc.; poate fi folosită piatra de râu (cu $\phi = 20 \dots 70$ mm până la bolovani cu $\phi > 70$ mm), piatra brută de carieră, spartă sau cioplită.