5.2.3. Mişcarea uniformă a curenţilor cu suprafaţă liberă 1
5.2.3.1. Legea fundamentală a curgerii uniforme cu suprafaţă liberă 2
5.2.3.2. Dimensionarea canalelor 3
5.2.3.2.1. Evaluarea secţiunii optime de curgere 3

5.2.3. Mişcarea uniformă a curenţilor cu suprafaţă liberă

Mişcarea uniformă a curenţilor cu nivel liber se realizează doar în canale cu secţiune transversală ***dreptunghiulară*** în care curge ***laminar*** un ***debit constant***.

Regimul laminar are ca parametru reper ***numărul Reynolds*** (http://www.ahgr.ro/media/153361/1.4.2_reynolds.pdf) definit pentru ***conducte*** cu relaţia:

$$\mathrm{Re}_{conducta} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

V - viteza de curgere a fluidului;
D -diametrul conductei
ν - vâscozitatea cinematică

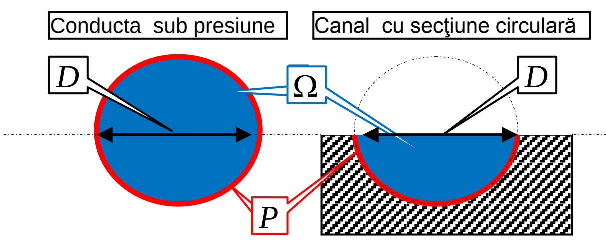

Fig.5.19a. *Numărul Reynolds critic la canal este de patru ori mai mare decat la conductă*

La canale, diametrul D este înlocuit cu raza hidraulică a conductei, astfel că numărul Reynolds critic, de trecere de la regim laminar la cel turbulent, este de patru ori mai mic decât la conducte (***Fig.5.19a***):

$$\mathrm{Re}_{canal} = \frac{V \cdot R_{canal}}{\nu} = \frac{V \cdot D}{4 \cdot \nu} = 4 \cdot \mathrm{Re}_{conducta}$$

în care
R_{canal} -raza hidraulică pentru canal:

$$\boxed{R_{canal} = \frac{\Omega_{canal}}{P_{canal}} = \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{8}}{\frac{\pi \cdot D}{2}} = \frac{D}{4}}$$

Valorile critice pentru delimitarea domeniilor de curgere sunt:

- regim laminar: $\mathrm{Re}_{cr} = 500 - 600$
- zona de tranziţie: $\mathrm{Re}_{cr} = 600 - 2000$ si in conditii instabile chiar pana la $\mathrm{Re}_{cr} = 12500$
- regim turbulent: $\mathrm{Re}_{cr} > 12500$

Curgerea apei în canale şi râuri nu este permanentă şi uniformă deoarece:

- traseul canalelor şi râurilor nu este rectiliniu
- secţiunea nu are o formă constantă de-a lungul curgerii
- rugozitatea variază de-a lungul curgerii
- curenţii de aer perturbă suprafaţa apei

În aceste condiţii, cu toată instabilitatea regimului de curgere, vitezele, presiunile şi nivelurile se menţin „paractic” constante pe intervale de timp suficient de „mari”:

- viteza medie este evaluată cu relaţia: $V = \frac{Q}{\Omega}$
- legea fundamentală a cugerii fiind legea lui Chezy: $V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot J}$

5.2.3.1. *Legea fundamentală a curgerii uniforme cu suprafaţă liberă*

Legea lui Chezy pentru curgerea uniformă cu suprafaţă liberă (***Fig.5.19b***) are forma:

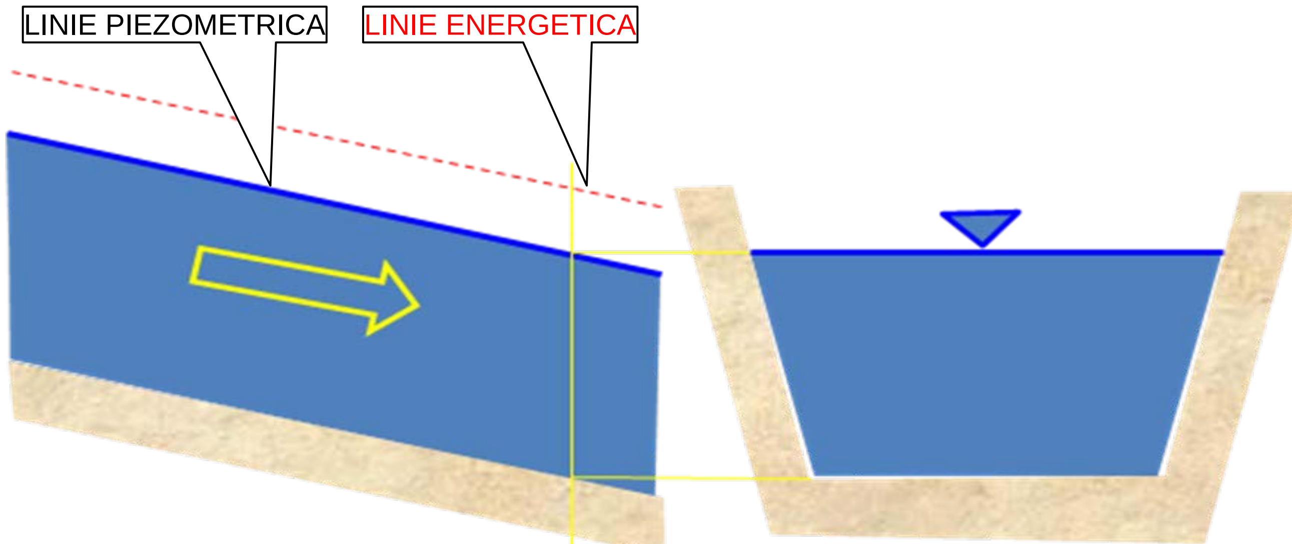

Fig.5.19b.*Curgerea uniformă a apei în canale şi râuri*

$$V = C \cdot \sqrt{R_h \cdot J}$$

în care

R_h – Raza hidraulică:

- la curgerea laminară nu are semnificaţie
- la curgerea turbulentă:
    - corect aplicabilă la secţiuni dreptunghiulare şi triunghiulare
    - eronat la secţiuni semicirculare (supraestimare cu 10%)
    - se recomandă descompunerea secţiunilor complexe în secţiuni componente pentru introducerea neomogenităţilor de rugozitate

C – coeficientul Chezy se calculează cu formulele:

- Manning: $\boxed{C = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{1}{6}}}$
- Pavlovski: $\boxed{C = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\ y} = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda}}}$ cu $\boxed{y = 2{,}5 \cdot \sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75 \cdot \sqrt{R_h} \cdot \left(\sqrt{n} - 0{,}1\right)}$

n – coeficient de rugozitate;

λ – coeficient de rezistenţă adimensional

- Ganguillet-Kutter:

$$\boxed{C = \frac{\left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{R_h}}}}$$ iar pentru $i > 0{,}0005$ $$\boxed{C = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{23 \cdot n}{\sqrt{R_h}}}}$$

5.2.3.2. Dimensionarea canalelor

Formula generală pentru dimensionarea canalelor este:

$$Q = \Omega \cdot V = \Omega \cdot C \cdot \sqrt{R_h \cdot J} = K \cdot \sqrt{J}$$

în care

$K = \Omega \cdot C \cdot \sqrt{R_h}$ - modulul de debit care depinde de geometria albiei şi rugozitatea talvegului.

Obiectivele dimensionării sunt:

- Evaluarea ***sectiunii de curgere*** şi a pantei pentru a asigura transferul unui ***debit maxim*** cu un consum de energie minim;
- Stabilirea ***vitezei*** şi ***pantei*** care să asigure ***amortizarea*** rapidă a investiţiei;
- Stabilirea ***vitezei limită*** la care începe ***degradarea*** pereţilor canalului;
- Stabilirea ***formei*** secţiunii de curgere a canalului în funcţie de scopul întrebuinţării acestuia:
  - canale de desecare (profil dublu, pentru ape mari si mici)
  - canale industriale (forma trapezoidală)
  - canale de navigaţie (forma poligonală sau trapezoidală)
  - canale oraşeneşti pentru ape uzate (profil circular sau ovoidal)

5.2.3.2.1. Evaluarea secţiunii optime de curgere

Criteriul de optimizare a secţiunii de curgere conduce la găsirea razei hidraulice maxime care se realizează atunci cand perimetrul udat este minim ($R_h = \frac{\Omega}{P}$).

Exprimând secţiunea de curgere şi perimetrul udat cu elementele geometrice ale secţiunii (***Fig.5.20***) se obţine succesiv:

$Q = \Omega \cdot V = \Omega \cdot C \cdot \sqrt{R_h \cdot J} = K \cdot \sqrt{J}$ şi dacă $C = \frac{1}{n} \cdot R_h^J$ rezultă că $Q = \Omega \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{y+0,5} \cdot J^{0,5}$

$$\Omega = \frac{(b + b + 2 \cdot h \cdot ctg\alpha) \cdot h}{2} = h \cdot (b + h \cdot ctg\alpha) \text{ şi}$$

$$P = b + 2 \cdot \sqrt{h^2 + h^2 \cdot ctg^{\alpha}\alpha} = b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + ctg^2\alpha}$$

Condiţiile de optimizare sunt:

$$\begin{cases} \frac{d\Omega}{dh} = 0 \\ \frac{dP}{dh} = 0 \end{cases} \begin{cases} \frac{d\Omega}{dh} = \frac{d[h \cdot (b + h \cdot ctg\alpha)]}{dh} = 0 \\ \frac{dP}{dh} = \frac{d\left(b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + ctg^2\alpha}\right)}{dh} 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} b + 2 \cdot h \cdot ctg\alpha + h \cdot \frac{db}{dh} = 0 \\ \frac{db}{dh} + 2 \cdot \sqrt{1 + ctg^2\alpha} = 0 \end{cases} \Rightarrow$$

din care rezultă

$$\frac{b}{h} = 2 \cdot \left(\sqrt{1 + ctg^2\alpha} - ctg\alpha\right)$$

Prin inlocuirea lui b în ecuaţiile secţiunii şi perimetrului se obţine:

$$\begin{cases} \Omega = h^2 \cdot \left(\sqrt{1+ctg^2\alpha} - ctg\alpha\right) \\ P = 2 \cdot h \cdot \left(\sqrt{1+ctg^2\alpha} - ctg\alpha\right) \end{cases} \Rightarrow \ \Omega = P \cdot \frac{h}{2}$$

CONCLUZIE: Într-o ***secţiune optimă de curgere*** (cu un consum minim de energie necesar transportului unui debit dat), perimetrul udat este circumscris cercului cu raza h.

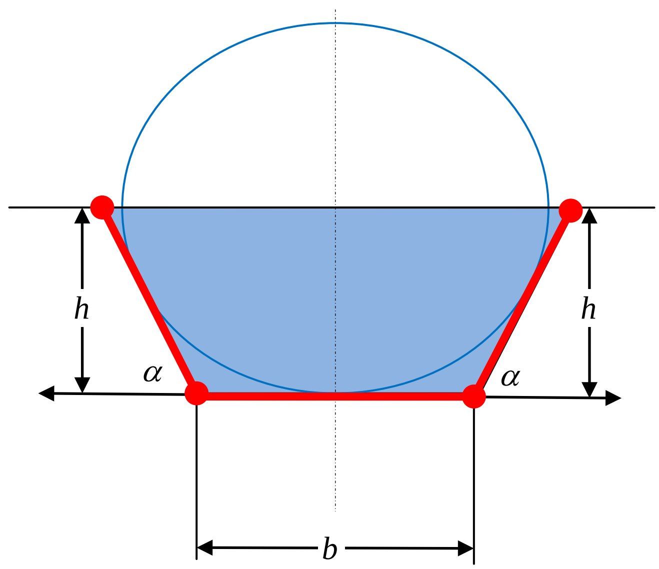

Fig.5.20. *Secţiunea optimă de curgere*