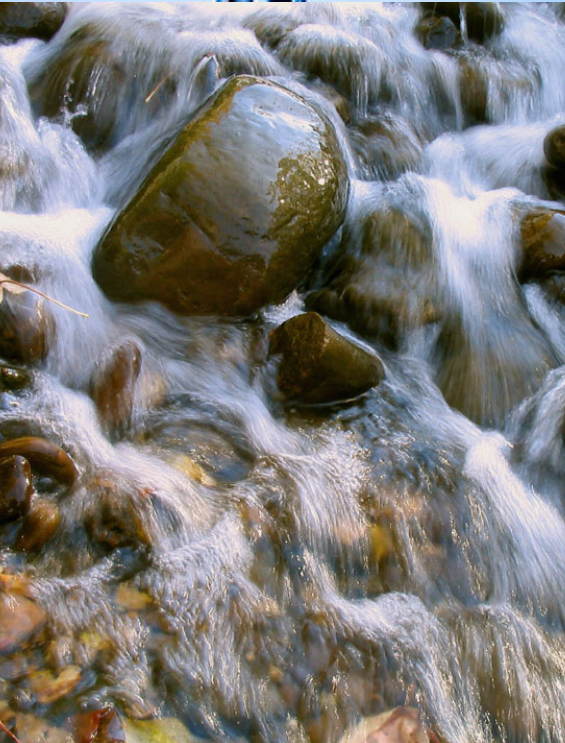


A vertical stream of clear water falling from a tap against a light blue background. A faint, grey, spiral watermark is visible behind the water.

Zdeněk Máčka

z8308 Fluviální geomorfologie (9)

Proudění v otevřených korytech



Vodní toky → proudící voda

interakce:

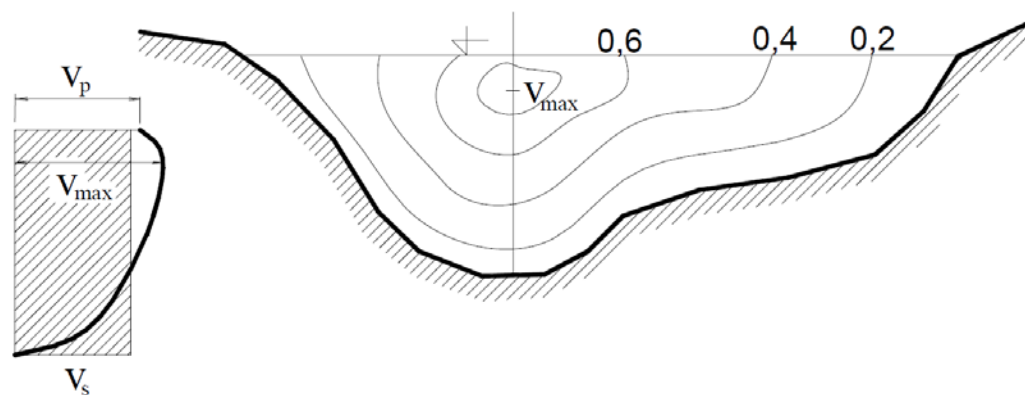
- mezi částicemi (molekulami) vody
- vodou a pevným podkladem (korytem)
- vodou a plaveninami a rozpuštěnými látkami
- vodou a biotou

Rychlost proudění ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$):

- bodová
- svislicová
- střední profilová $v = \frac{Q}{A}$

Průtok:

- objemový ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
- hmotnostní ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$)

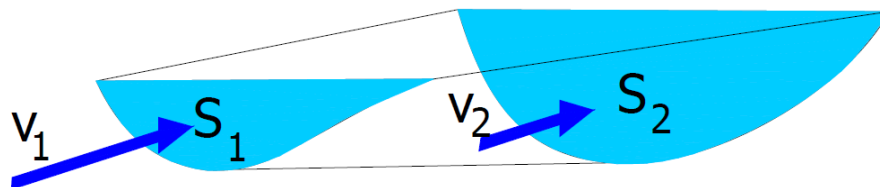


rovnice spojitosti (kontinuity)

$$Q = \text{konst.} \quad v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$$

A ... plocha průtočného profilu (m^2)

V ... rychlost proudění (m/s)



Ustálené a neustálené proudění

Ustálené /steady/: $Q = konst.$

Neustálené /unsteady/: $Q = f(t)$

Rovnoměrné /uniform/: $v = konst.$ (tvar, drsnost a sklon koryta konst.)

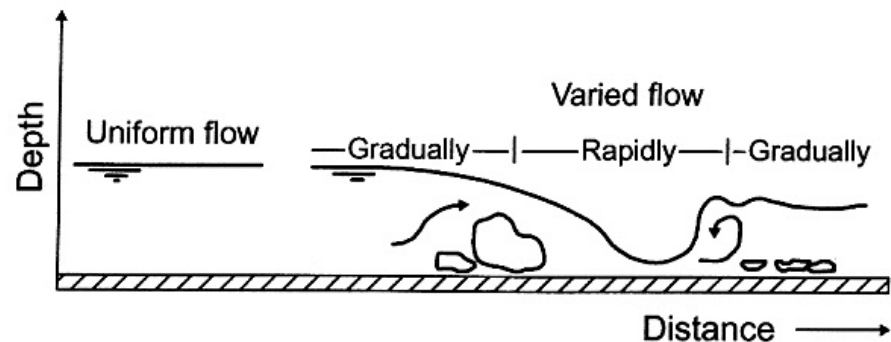
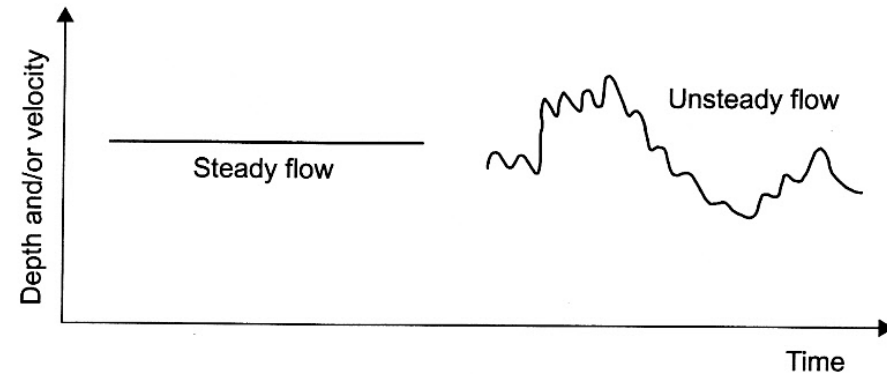
Nerovnoměrné /non-uniform, varied/: $v = f(y)$

V potocích a řekách:

neustálené

když ustálené, tak nerovnoměrné

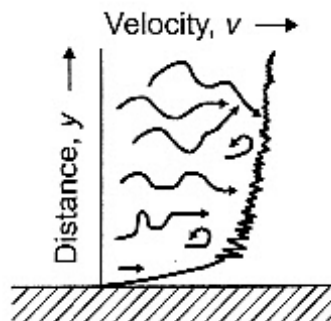
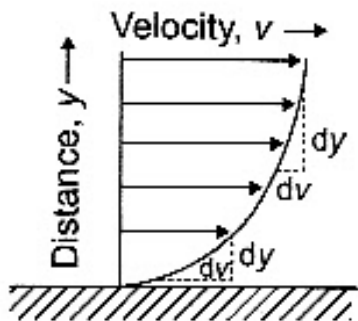
rovnoměrné se v přírodě prakticky nevyskytuje, abstrakce užitečná pro výpočty



Laminární proudění

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

τ ... tečné napětí (N/m²)
 μ ... dynamická viskozita, ϵ ... vírová viskozita
 dv/dy ... rychlostní gradient
 v ... rychlost proudění
 y ... délka



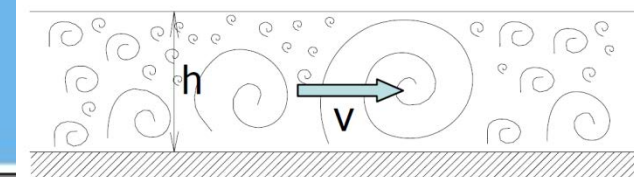
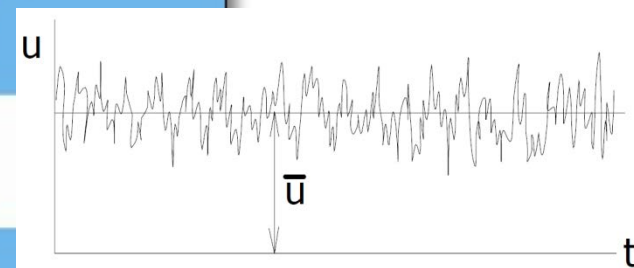
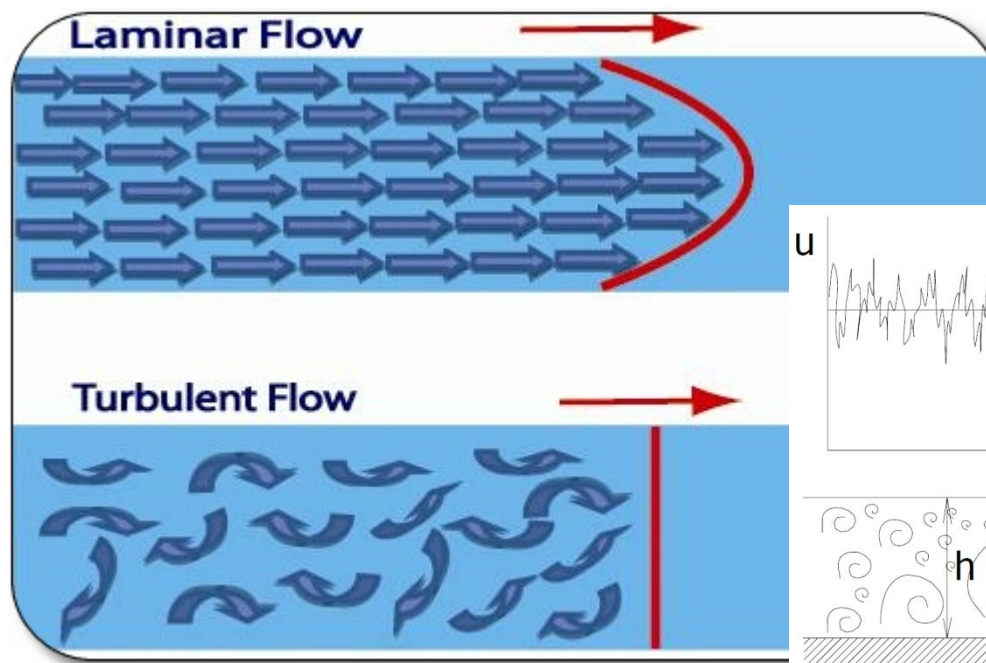
Turbulentní proudění

$$\tau = (\mu + \epsilon) \frac{dv}{dy}$$

$$\tau = \epsilon \frac{dv}{dy}$$

turbulence – vznik vírů, jejich růst a rozpad; v daném bodě se mění směr a rychlost proudění

$$\text{intenzita turbulence} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (v - \bar{v})^2}{N}}$$



Reynoldsovo číslo

setrvačnost podporuje turbulenci, viskozita podporuje laminární proudění

$$Re = \frac{vL\rho}{\mu} \text{ nebo } Re = \frac{vL}{\nu}$$

bezrozměrná veličina

v ... rychlost (m/s)

L ... charakteristický rozměr (délka) (m)

ρ ... hustota tekutiny

μ ... dynamická viskozita (N.s/m²)

ν ... kinematická viskozita (m²/s)

vodní toky – charakteristický rozměr je hydraulický rádius (R)

R pro potrubí:

$$R = \frac{\text{průřez}}{\text{otočený obvod}} = \frac{\pi d^2/4}{\pi d} = \frac{d}{4}$$

čili

$$d = 4R$$

v potrubích je kritické $Re = 2000$

v širokých korytech $R \approx D$

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

D = průměrná hloubka

Při takto definovaném Re má kritické Re pro vodní toky hodnotu 500 (2000/4)

kritické Reynoldsovo číslo – rozděluje turbulentní a laminární proudění; vysoká hodnota ukazuje na turbulenci, nízká na laminární proudění

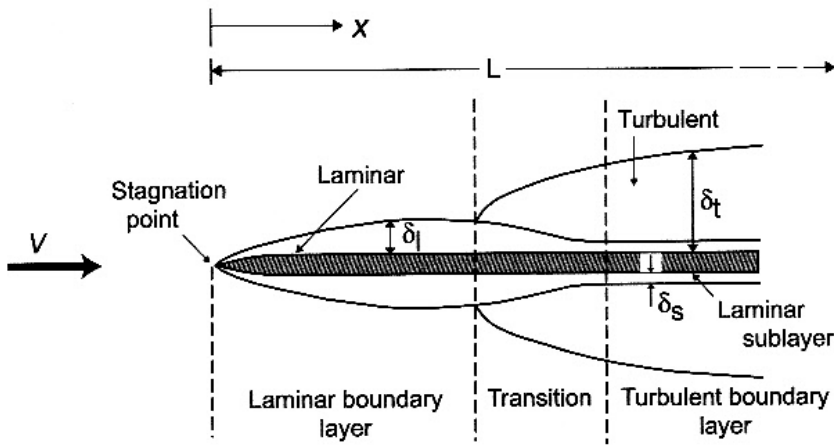
Ve vodních tocích je přechod v rozsahu Re 500 až 2000 (580)

Hydraulicky hladké a drsné povrchy

Mezní vrstva /boundary layer/

dno | \rightarrow | proudění neovlivněno dnem

Ve vodních tocích sahá mezní vrstva až k hladině



Vznik mezní vrstvy kolem ostré, hladké desky

$$Re_L \approx 10^7$$

L = charakteristická délka (délka desky)

V = rychlost neovlivněná překážkou

x = vzdálenost od okraje desky

δ = tloušťka mezní vrstvy

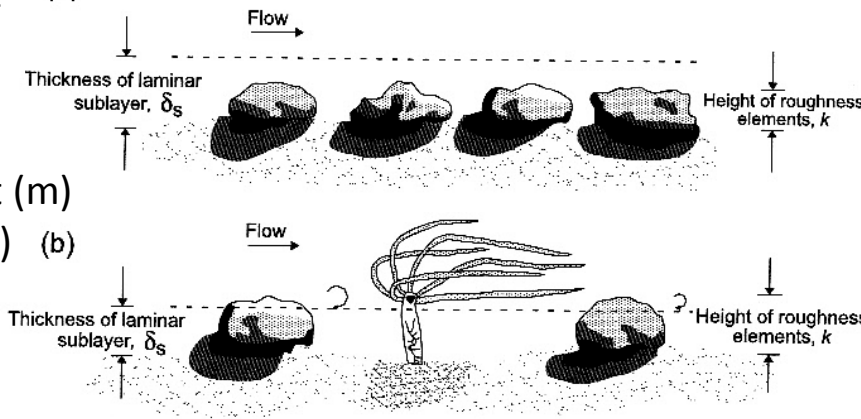
$$Re_x = \frac{vx}{\nu} \quad \text{přechod typů proudění: } Re_x \approx 500\,000$$

relativní drsnost (a) laminární (vazká) podvrstva

$$R_{rel} = \frac{k}{D}$$

k = absolutní drsnost (m)

D = hloubka vody (m)



Reynoldsovo číslo třecí

$$Re_* = \frac{v_* k}{\nu}$$

v_* = třecí rychlost

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

$Re_* < 5$ hladké dno

$Re_* 5-70$ přechod

$Re_* > 70$ drsné dno

Spád a sklon

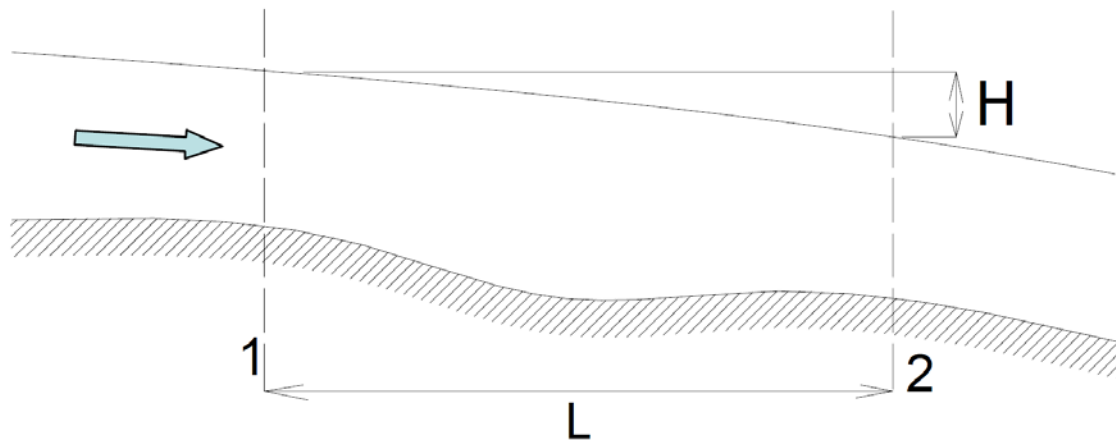
Spád: rozdíl výšek (H) mezi dvěma průtočnými profily

$$\text{Sklon: } i = \frac{H}{L}$$

Sklon lze vyjádřit jako:

- sklon dna (i_0)
- sklon hladiny (i)
- sklon energetické čáry (i_e) (1-D energetická rovnice)

V anglicky psané literatuře se sklon označuje symbolem: s



Energie ve vodních tocích a Bernoulliho rovnice

Voda vstupující do povodí má potenciál konat (geomorfologickou) práci

Potenciální energie

$$PE = Mgh$$

$PE, KE \dots$ potenciální, kinetická energie (J)

$M \dots$ hmotnost (kg)

Kinetická energie

$$KE = \frac{1}{2} Mv^2$$

$h \dots$ výška nad referenční hladinou (hladina oceánu, soutok dvou řek, ...)

$g \dots$ gravitační zrychlení (m/s^2)

$v \dots$ rychlost (m/s)

Bernoulliho rovnice

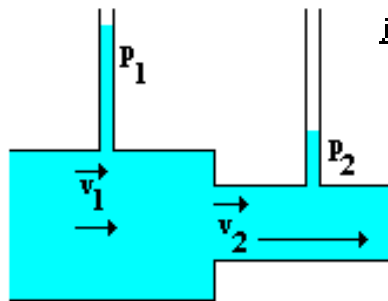
Vyjadřuje zákon zachování energie v proudící ideální kapalině

$$KE + PE = konst.$$

Podél vodního toku:

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = konst.$$

tlaková hladina + rychlostní hladina + polohová hladina = konst.



$$E_k + E_p = \frac{1}{2} mv^2 + pV = \frac{1}{2} \rho Vv^2 + pV = konst$$



$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p = konst$$

1-D energetická rovnice

$$z_1 + D_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + D_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_l$$

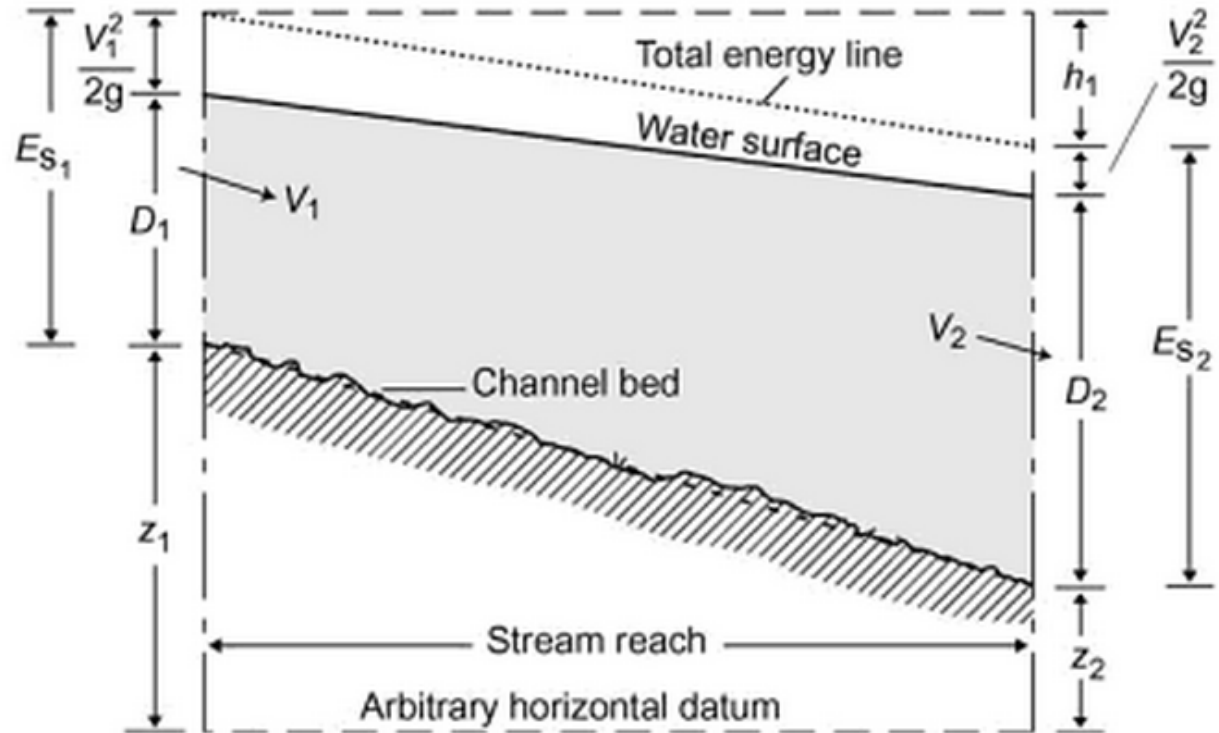
z = výška (m)

D = průměrná hloubka vody (m)

v = průměrná rychlost (m/s)

g = gravitační zrychlení (m/s²)

h_l = head loss



znázornění členů 1-D energetické rovnice pro nerovnoměrné proudění

Froudovo číslo: říční, kritické a bystrinné proudění

Měrná energie profilu

$$E_s = D + \frac{v^2}{2g}$$

Froudovo číslo

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

Vyjadřuje poměr síly setrvačnosti ke gravitační síle

$Fr < 1$ podkritické (pomalé, klidné) ŘÍČNÍ

$Fr = 0$ kritické

$Fr > 1$ nadkritické (rychlé, peřejnaté) BYSTRINNÉ

