

3. SPLAVENINY VE VODNÍCH TOCÍCH

VZNIK SPLAVENIN (z povodí, z koryt v. t.)
Proces vodní eroze

DRUHY A VLASTNOSTI SPLAVENIN

Rozdělení splavenin:

- Plaveniny: do 7mm (překryv v 0,1 – 7,0 mm – dle unášecí síly = τ_0)
- Dnové splaveniny: písek: 0,1 – 7,0 mm
štěrk: 7,0 – 70,0 mm
kameny: 70,0 – 500,0 mm
balvany: nad 500 mm

OBRUS SPLAVENIN

Sternberg: $dV = -c \cdot V \cdot dl$

V....objem zrna, cpoměrný obrus, l ...dráha zrna

po integraci:

$$\int_{V_0}^V \frac{dV}{V} = -c \int_0^l dl$$

$$\ln \frac{V}{V_0} = -c \cdot l$$

$$V = V_0 \cdot \exp(-c \cdot l)$$

$$(V = ad^3): d = d_0 \cdot \exp\left(-\frac{c \cdot l}{3}\right)$$

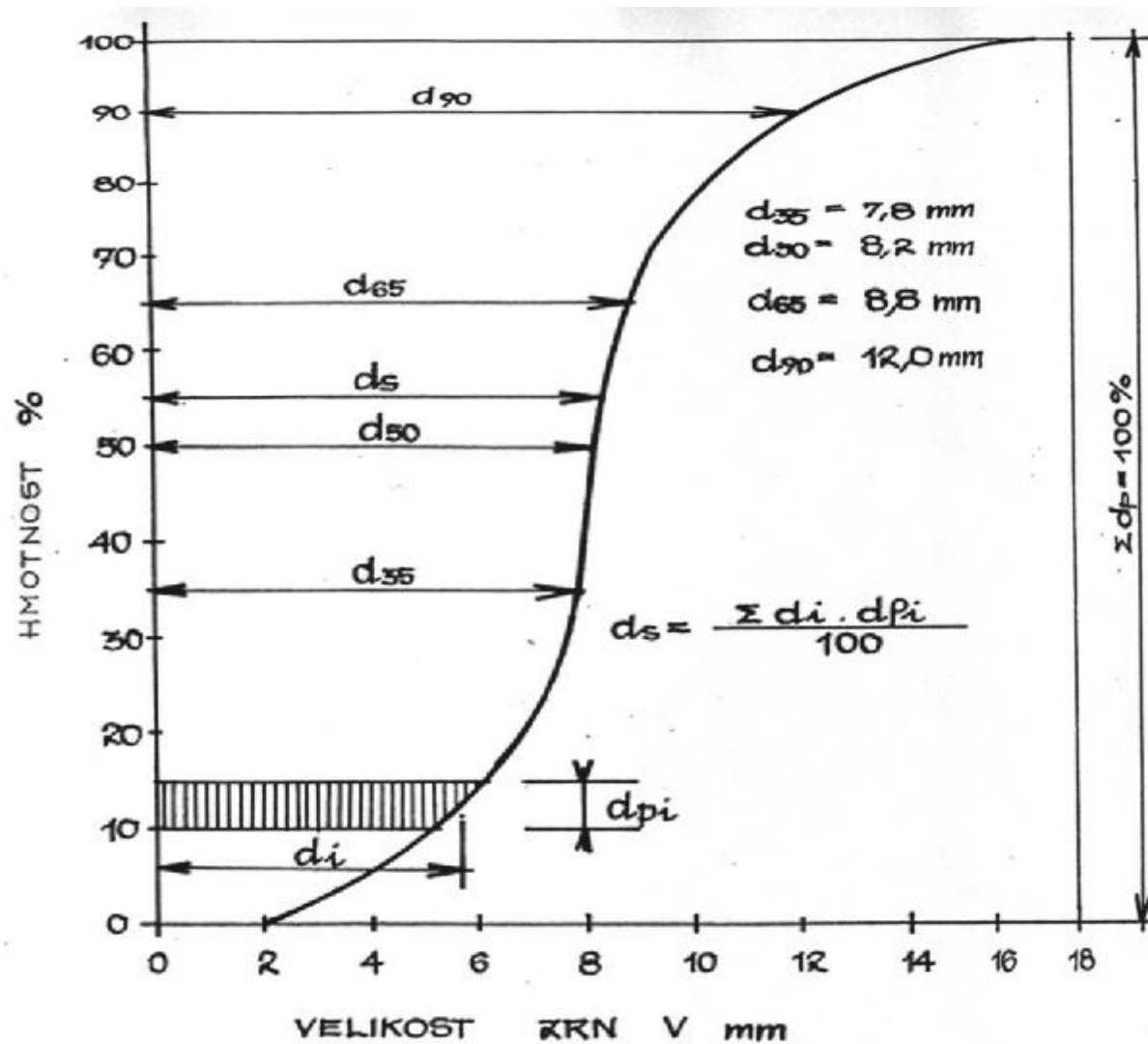
$$c < 0, 003 \text{ km}^{-1}, 0,03 \text{ km}^{-1} >$$

Délka dráhy l potřebné ke zmenšení d na polovinu:

amfibolit250 km vápenec.....50km

žula, rula.....150km slín.....30km

KŘIVKA ZRNITOSTI



OBR. 3-1

Efektivní velikost zrna: d_{35} , d_{50} , d_{65} , d_{90}

Střední efektivní velikost zrna:

$$d_s = \frac{\sum d_i \cdot dp_i}{\sum dp_i} = \frac{\sum d_i \cdot dp_i}{100}$$

Součinitel tvaru zrna: $k_{tv} = c / \sqrt{ab}$

a....nejdelší osa zrna, bkratší, cnejkratší
(kulovitý tvar: $k_{tv} = 1,0$, elipsoid: $k_{tv} = 0,7 - 0,8$)

Měrná hmotnost (= hustota): ρ_s ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

živec2500 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

křemičitany (písky).....2650 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (nejčastější)

vápenec.....2750 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

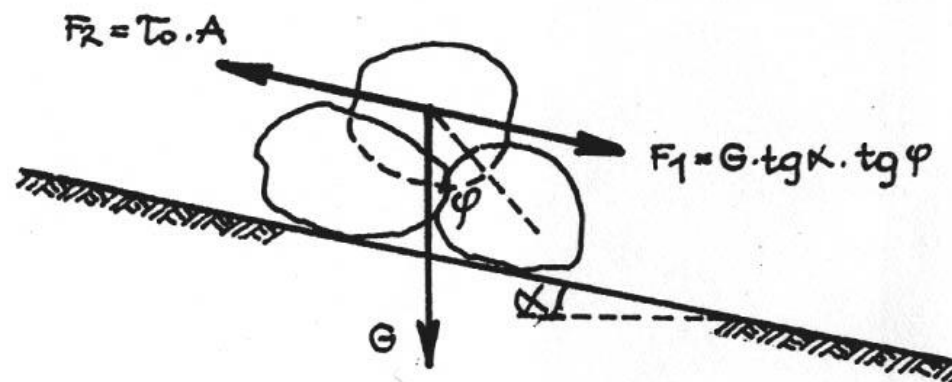
dolomit.....2850 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

biolit.....3000 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

limonit.....3800 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

POHYB DNOVÝCH SPLAVENIN

ZAČÁTEK:



OBK. 3-2

$$F_1 = G \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} j = \frac{p}{6} (r_s - r) \cdot g d^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} j$$

$$F_2 = t_o \cdot A = t_o \cdot d^2 / n \quad (n = d^2 \cdot i, i \dots \text{počet zrn} \cdot \text{m}^{-2})$$

$$\underline{F_1 = F_2}: \frac{t_o \cdot d^2}{n} = \frac{p}{6} (r_s - r) \cdot g d^3 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} j$$

$$\text{White: } \frac{t_o}{(r_s - r) g d} = n \frac{p}{6} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} j$$

$$\text{Shields: } \frac{1}{y} = \frac{t_o}{(r_s - r) \cdot g d} = f \left(\frac{v_* \cdot d}{u} \right)$$

$\frac{1}{y}$ Shieldsův faktor

$\frac{v_* \cdot d}{u} = \text{Re}_*$ splaveninové Reynoldsovo číslo

$\left(\text{Re} = \frac{v \cdot l}{u} \right)$ hydraulické Reynoldsovo číslo

$v_* = \sqrt{\frac{t_o}{r}} = \sqrt{g \cdot R \cdot J}$ třecí rychlost

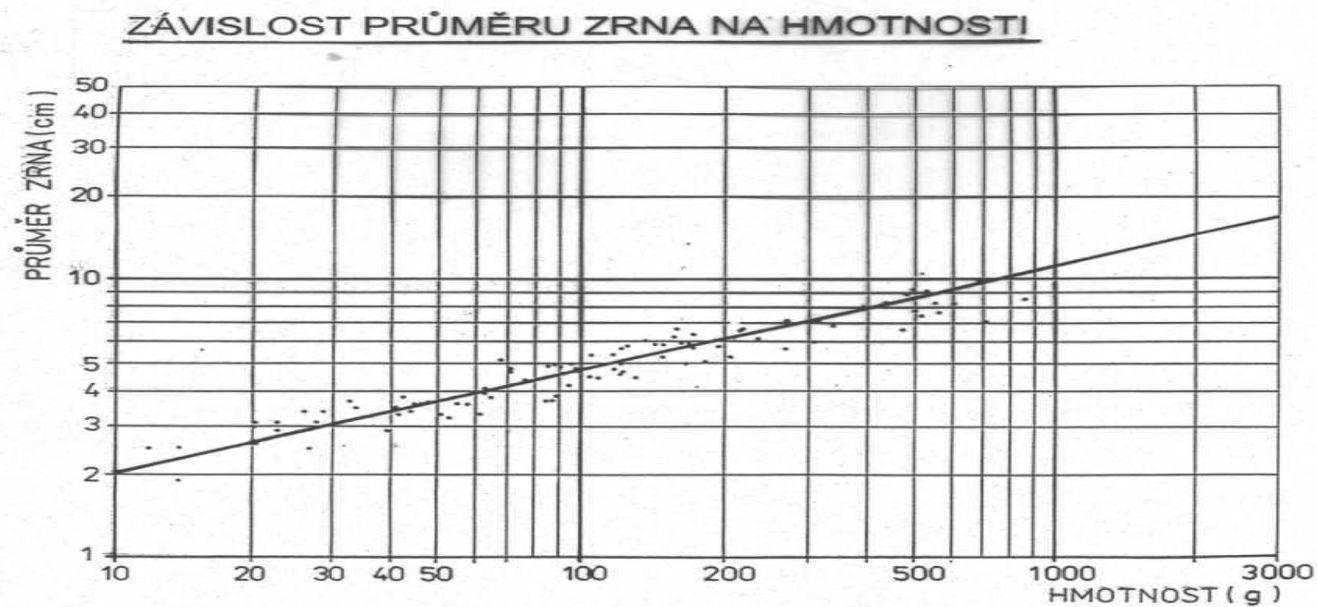
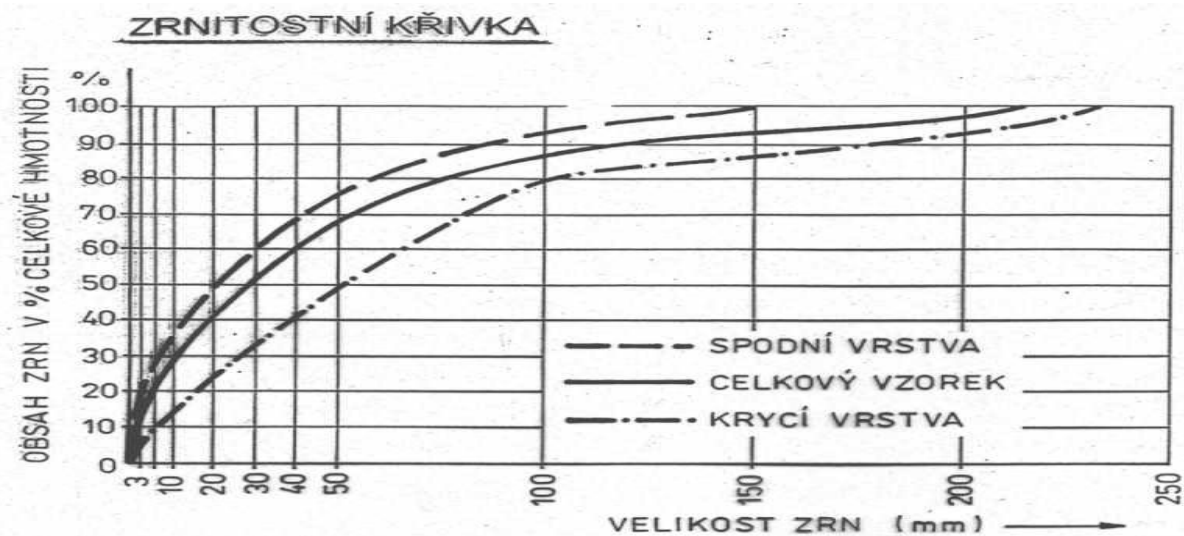
ZRNITOSTNÍ KŘIVKA – Příklad konstrukce (viz data – konkrétní příklad)

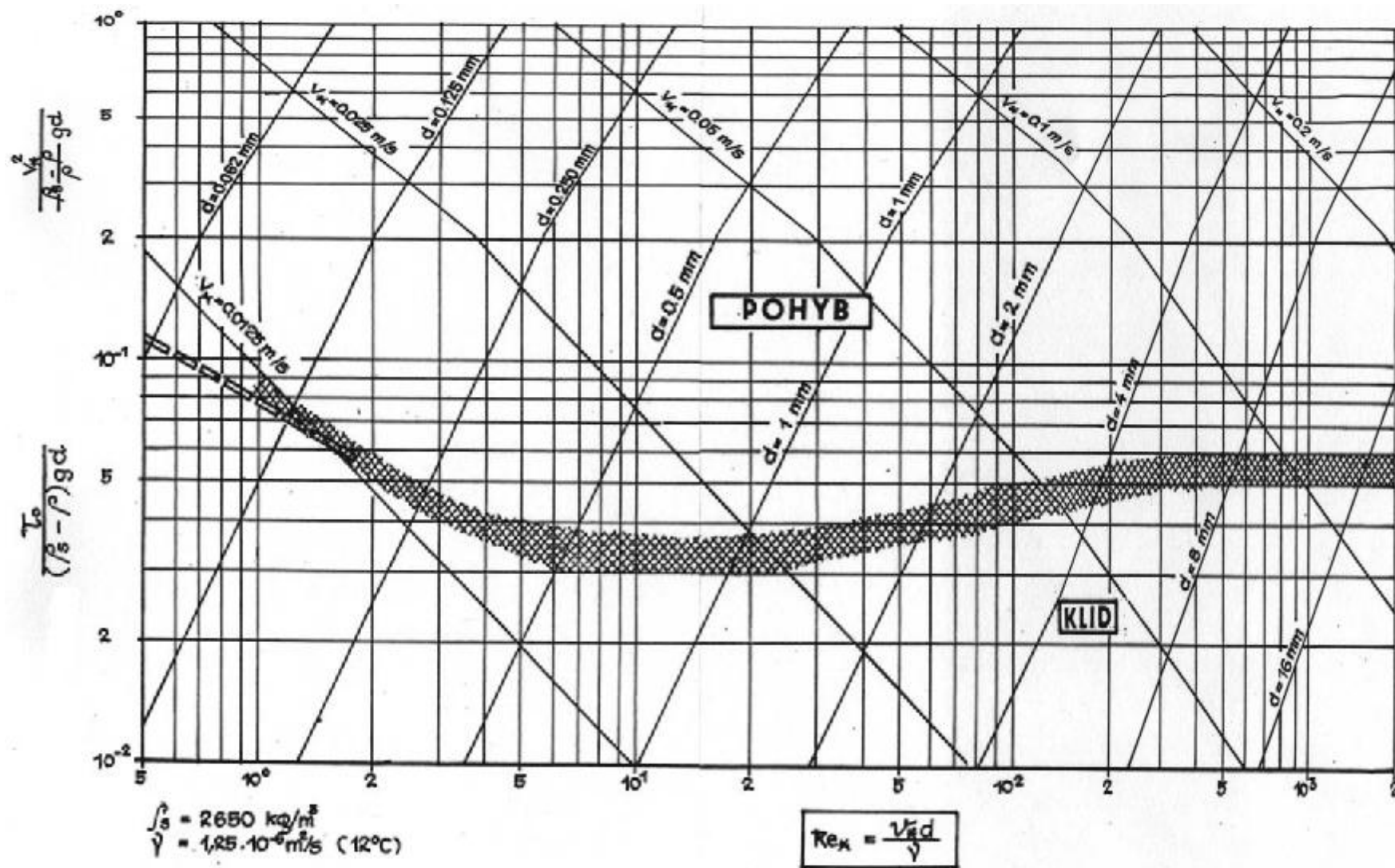
Příklad konstrukce zrnitostní křivky

d (mm)	G (kg)	dp (%)	dp . d
< 20	1,4	11,1	222,0
40	1,8	14,3	572,0
60	3,6	28,6	1716,0
80	2,8	22,2	1776,0
100	3,0	23,8	2380,0
Σ	12,6	100,0	6666,0

$$d_s = \frac{\sum dp \cdot d_i}{100} = \frac{6666,0}{100} = 66,7 \text{ mm}$$

ZRNITOSTNÍ KŘIVKA – Z jednotlivých vrstev (krycí + spodní) pro HRAZENÍ BYSTŘIN

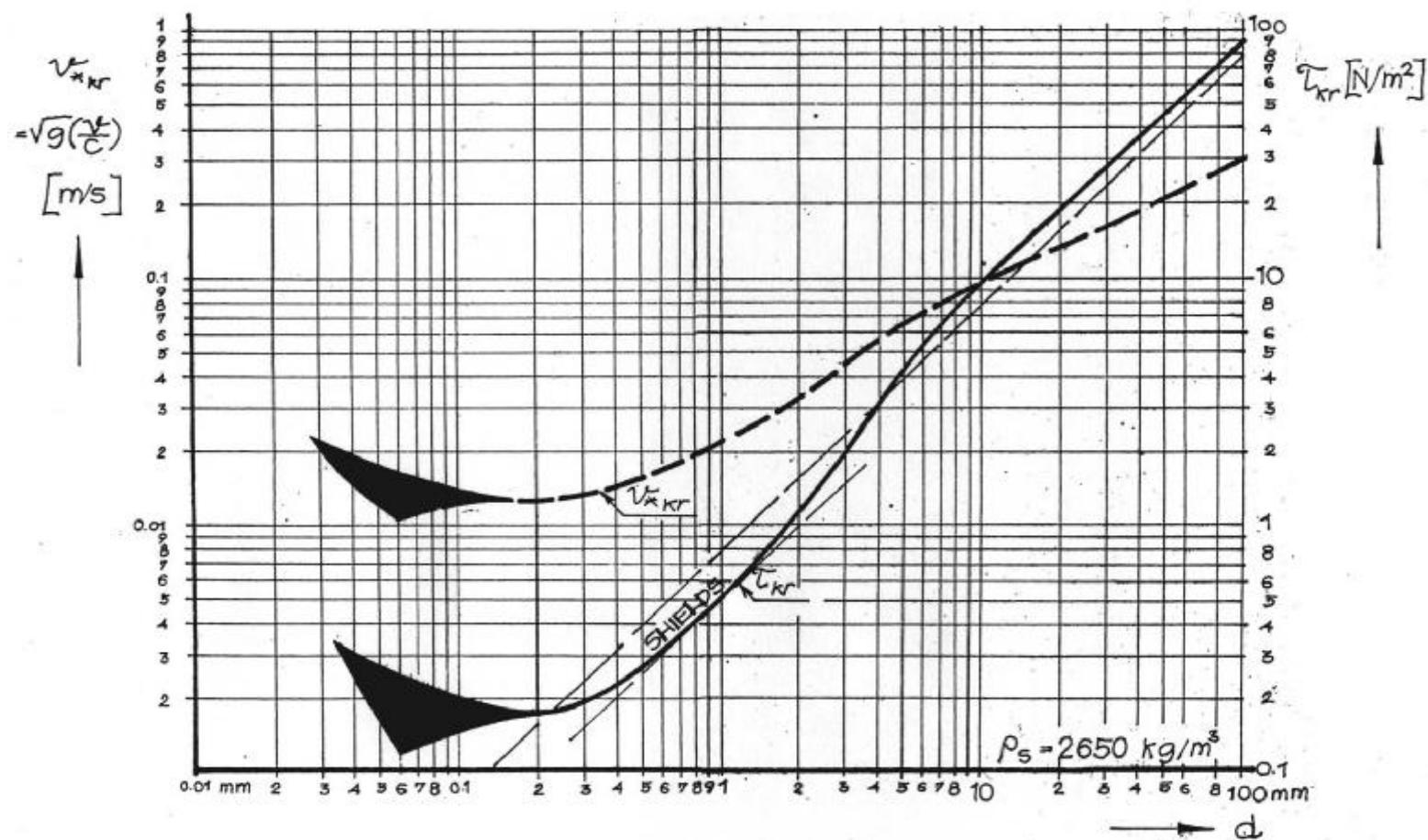




OBK. 3-3

Obr. 3-3

ZÁVISLOST TANGENCIÁLNÍHO NAPĚTÍ τ NA PRŮMĚRU ZRNA d



OBR. 3-4

Obr. 3-4

POSOUZENÍ ZAČÁTKU POHYBU SPLAVENIN

A. Podle tangenciálního napětí

$$t = r \cdot g \cdot R \cdot J_o \text{ (Pa)}$$

$$t_{KR} = f(d, r_s) \text{ (Pa)}$$

Jestliže

$$\tau_o > \tau_{KR} \dots\dots\dots \text{POHYB}$$

$$\tau_o < \tau_{KR} \dots\dots\dots \text{KLID}$$

B. Podle nevymílacích rychlostí v_v

Jestliže

$$\bar{v} > v_v \dots\dots\dots \text{POHYB}$$

$$\bar{v} < v_v \dots\dots\dots \text{KLID}$$

Stanovení nevymílacích rychlostí:

I. výpočetní vzorce pro v_v :

Gončarov: $1,5 < d_s < 20 \text{ mm}$

$$v_v = \log \frac{8,8y \cdot d_s}{d_{95}} \sqrt{2g \frac{r_s - r}{1,75r}}$$

Meyer - Peter: $d_s > 20\text{mm}$

$$v_v = 5,8 y^{1/6} \cdot d_s^{1/3}$$

II. Tabulkové stanovení v_v :

Průměrné profilové v_v při hloubce vody $v = 1,0\text{m}$ v nesoudržných zeminách:

Zemina	d zrn (mm)	$v_{v1} (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
písek	1,0	0,60
štěrk jemný	5,0	0,90
štěrk střední	10,0	1,05
štěrk hustý	50,0	2,0
kameny střední	100,0	2,80
kameny velké	200,0	3,80
balvany	300,0	4,35
balvany	400,0	4,75

Průměrné profilové v_{v1} při hloubce vody $v = 1,0\text{m}$ v soudržných zeminách:

Materiál	méně ulehlý	středně ulehlý	dosti ulehlý	velmi ulehlý
	$v_{v1} (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$			
písčitý	0,45	0,90	1,30	1,80
hlinitý	0,40	0,85	1,20	1,70
jílovitý	0,35	0,80	1,10	1,60

Redukční koeficienty pro hloubku y jinou než 1,0m:

$$v_v = v_{v1} \cdot a, a = y^{1/6}$$

0,30	0,60	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
0,80	0,90	1,00	1,08	1,15	1,20	1,25	1,29	1,32	1,35	1,38

Příklad 1: $d_s = 8\text{mm}$, $J = 1\text{‰}$, $R = 1,0\text{m}$,
Jsou splaveniny ($\rho_s = 2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
v pohybu?

Řešení:

$$\tau_o > \tau_{KR} \quad ? \quad (\bar{v} > v_v ?)$$

τ_{KR} (ze Shieldsova grafu): $7,5 \text{ Pa}$

$$\tau_o = \gamma \cdot R \cdot J = 9810 \cdot 1,0 \cdot 0,001 = 9,8 \text{ Pa}$$

Jiné řešení: v_* (z Whiteova grafu):

$$v_* = \sqrt{g \cdot R \cdot J} = \sqrt{9,81 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Průsečík $d = 8\text{mm}$ a $v_* = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Oba výsledky: **POHYB**

Příklad 2: $d_s = 40 \text{ mm}$, $J = 0,5\%$, $R = 1,0\text{m}$

Při jakém sklonu dna již nedochází k pohybu splavenin?

Řešení: $\tau_o = \gamma \cdot R \cdot J = 10^4 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2} = 50 \text{ Pa}$
 $\tau_{KR} = 37 \text{ Pa}$ (ze Shieldsova grafu)

$$J_s = \frac{t_{KR}}{g \cdot R} = \frac{37}{10^4 \cdot 1,0} = 0,37\% \quad (0,0037)$$

Jiné řešení (dle nevymílací rychlosti) ($R = y$)

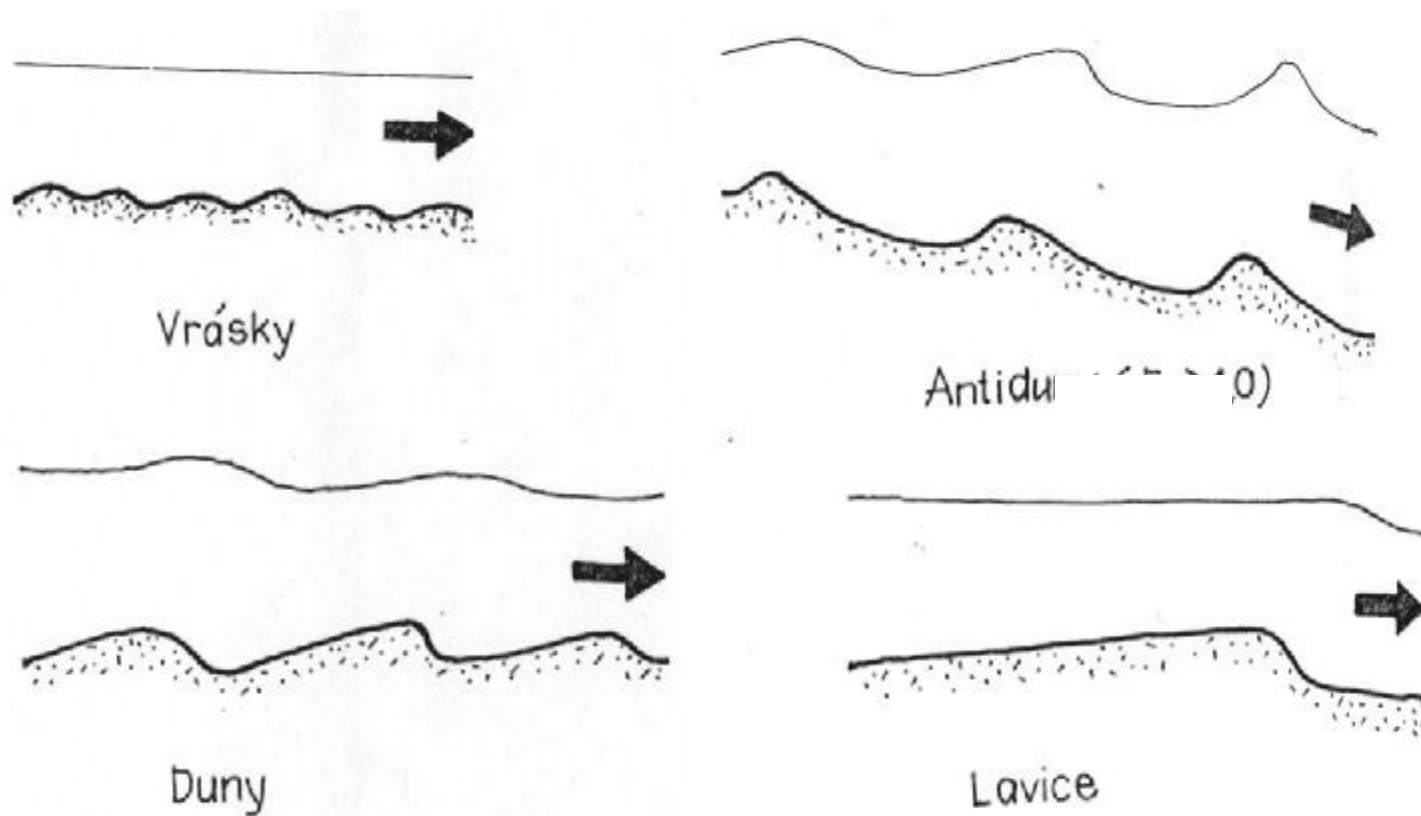
$$v_v = 5,8 \cdot y^{1/6} \cdot d_s^{1/3} = 5,8 \cdot 1 \cdot 0,342 = 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\bar{v} = C\sqrt{RJ}, \text{ Strickler: } C = 21,1 \left(\frac{R}{d_s} \right)^{\frac{1}{6}} = 21,1 \left(\frac{1}{0,04} \right)^{0,167} = 36,12 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\left(\bar{v} = 36,12 \sqrt{1,0 \cdot 0,005} = 2,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \right)$$

$$J_s = \frac{v_v^2}{C^2 \cdot R} = \frac{2,0^2}{36,12^2 \cdot 1,0} = 0,32\% \quad (0,0032)$$

DNOVÉ ÚTVARY



Obr. 3-5

VRÁSKY:

Profil Δ , vlnová délka $l < 0,6\text{m}$, výška do 6cm .

DUNY:

Profil Δ s mírným sklonem proti proudu,

Froudovo číslo: $Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y}} < 0,6$

Pohyb po proudu.

ANTIDUNY:

Tvar sinusovitý s mírným sklonem po proudu.

Froudovo číslo: $Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y}} > 0,8$

Pohyb proti proudu.

ROVNÉ DNO: (s pohybem splavenin)

Přechodný stav: $Fr = 0,7$

Přechod dun v antiduny a naopak.

LAVICE:

Dunové i antidunové zejména na bystřinách
(Rozměry i přes 10 m délky, více než $0,5\text{m}$
výšky).

PRŮTOK DNOVÝCH SPLAVENIN

Jednotkový průtok dnových splavenin

- sekundová hmotnost T_H ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
- sekundová tíha T_T ($\text{N} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
- sekundový objem T_o ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

$$T_T = T_H \cdot g = T_o \cdot \gamma_s$$

NEPŘÍMÉ STANOVENÍ:

Meyer – Peter: [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$]

$$T_o = 8,0 (\text{ds})^{3/2} \sqrt{g \cdot \Delta} \cdot \left(\frac{\mu \cdot R \cdot J}{\Delta \cdot d_s} - 0,047 \right)^{3/2}$$

$$\Delta = \frac{r_s - r}{r}$$

$$m = \frac{C}{C'} \cdot \frac{\omega^{3/2}}{\omega} = \frac{C}{18 \log \frac{12R}{d_{90}}} \cdot \frac{\omega^{3/2}}{\omega}$$

μsoučinitel nerovnosti dna, $\mu(0,4;1,0)$

Crychlostní souč. (Chézy r.) koryta

C'rychlostní součinitel dna

M – P podmínky odvození rovnice:

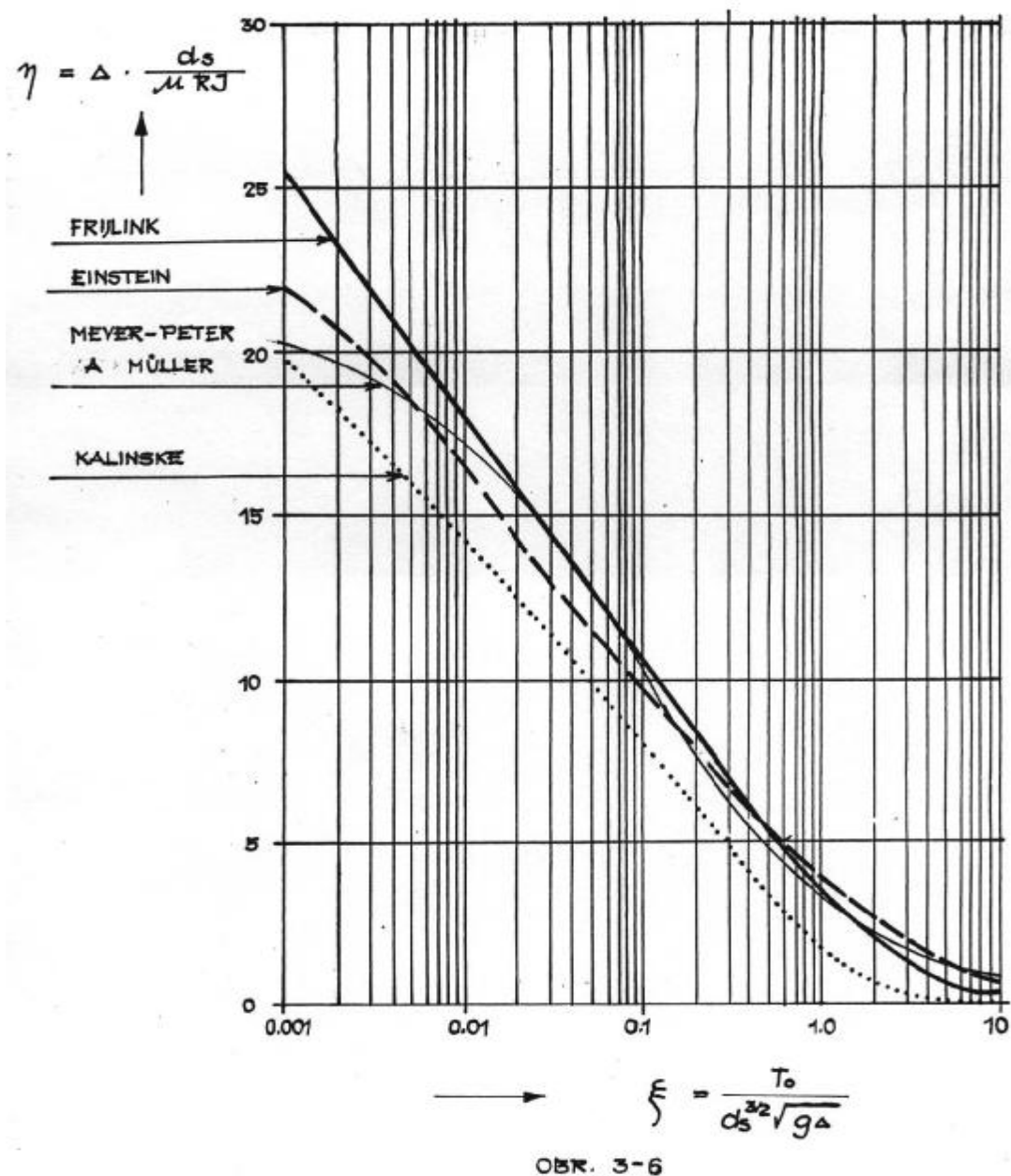
$J = 0,4 - 20\%$

$y = 0,01 - 1,2m$

$d = 0,4 - 30mm$

$Q = 0,002 - 10,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

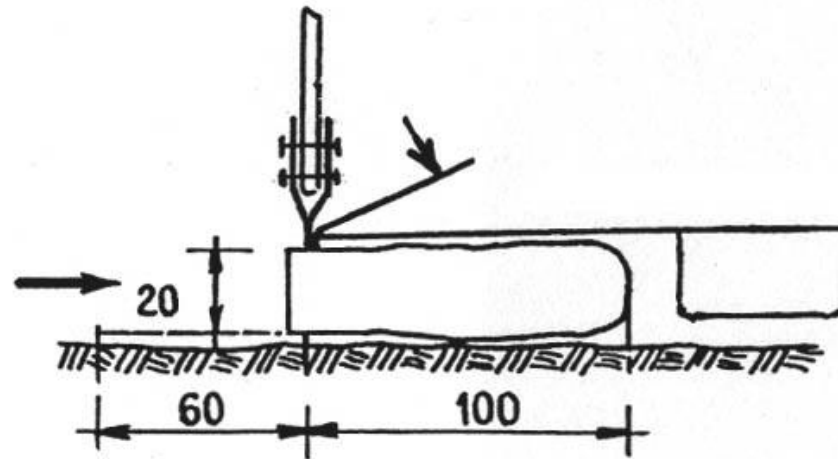
GRAFICKÉ STANOVENÍ PRŮTOKU DNOVÝCH SPLAVENIN



Obr. 3-6

PŘÍMÉ STANOVENÍ PRŮTOKU DNOVÝCH SPLAVENIN:

- LAPÁKY SPLAVENIN



Obr. 3-7

- ECHOLOGY (Princip sonologie a sonografie)
- ECHOGRIFY

Příklad: Vypočtete průtok dnových splavenin, jestliže:

$$\mu = 1,0, d_s = 10\text{mm}, R = 1,0\text{m}, J = 0,1\%, \rho_s = 2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Postup: Použijte grafu (obr. 3-6)

$$\eta = \Delta \cdot \frac{d_s}{\mu \cdot R \cdot J} = 1,65 \cdot \frac{10^{-2}}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3}} = \mathbf{16,5}$$

ξ (z grafu): **0,01**

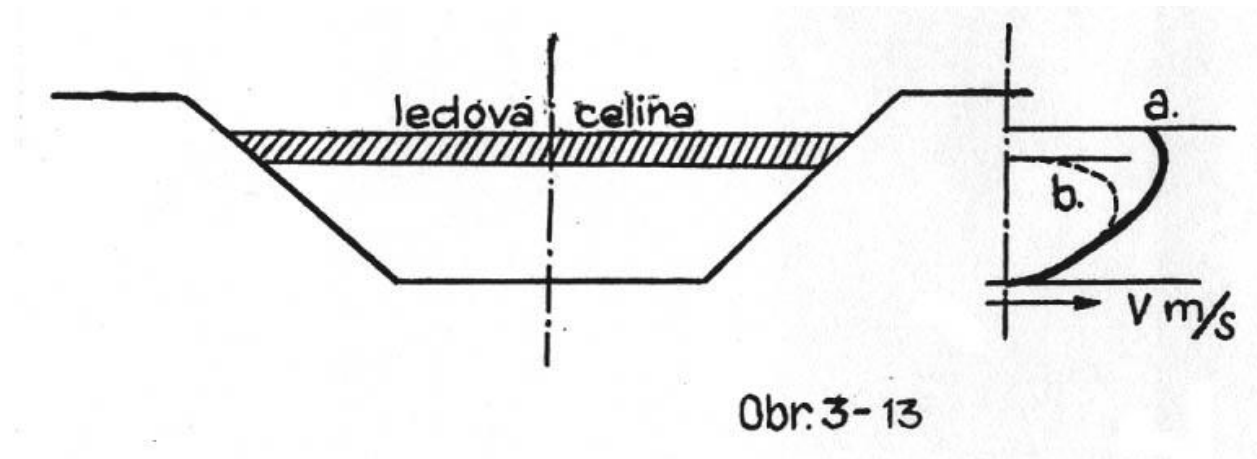
$$T_o = x \cdot (d_s)^{3/2} \cdot \sqrt{g \cdot \Delta} = 0,01 \cdot (0,01)^{3/2} \cdot \sqrt{10 \cdot 1,65}$$

$$\mathbf{T_o = 4,06 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}}$$

Při šířce toku 3m (obdéln. profil) za 24 hod:

$$T_o (B) = 3,0 \cdot 4,06 \cdot 10^{-5} \cdot 0,864 \cdot 10^5 = \mathbf{10,5 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}}$$

ZIMNÍ REŽIM VODNÍCH TOKŮ



Chod ledů – ledová bariéra – průtočnost koryta

Šroubovité proudění – mísení vrstev: ochlazená voda = konvexní břehy – obalování dnových splavenin – $\rho_1 > \rho$: vztlak = odnášení zrn povlečených ledem: Sekundární (zimní) eroze.