

Revitalizace vodního toku

2. cvičení

Projektování revitalizace toku

- Přípravné práce – podklady, průzkumy
- Vlastní projekt

Přípravné práce

- historie záplav, škody
- projektová dokumentace provedených a plánovaných úprav toku a jeho přítoků
- údaje a dokumentace vodních děl a zařízení v dotčeném úseku: výkresy, vodohospodářská povolení, manipulační řády
- dotčené stavby, inženýrské sítě, komunikace, ..
- údaje o biologické skladbě krajiny včetně samotného toku (chráněné, významné, druhy, zvláště chráněná území, ..)

Terénní průzkum

- prohlídka zájmového území (stav koryta, výskyt lavic, výmolů odolnost dna a břehů, skladba a stav doprovodné vegetace, stav objektů = zhruba rozsah a způsob potřebné úpravy
- biologický a hydrobiologický průzkum toku a přilehlého území, rozbory vody

Geodetické podklady = Polohové a výškové poměry na toku

- zaměření toku (podélný a příčné profily), inundačního území, nadzemních a podzemních objektů
- DMT, katastrální mapy, základní topografické mapy, ZVM, různá měřítká

Hydrologické podklady (základní hydrologická data)

- plocha povodí k profilu
- dlouhodobí průměrný roční úhrn srážek
- dlouhodobí průměrný roční průtok Q_a
- čára překročení průměrných denních průtoků Q_{md}
- čára opakování kulminačních průtoků Q_N
- ČHMU dle ČSN 75 1400 (garance, placeno, platnost 5 let)
- spolehlivost dat?!: homogenita, stacionarita a integrita měřených dat, délky řady, statistika pro malé periodicity $p= 0,02; 0,01$

Tab. Orientační hodnoty pravděpodobné chyby základních hydrologických údajů dle ČSN 75 1400
(Hydrologické údaje povrchových vod)

Třída	Orientační charakteristika	Orientační hodnoty střední kvadratické chyby v %				
		Q_a	$Q_{30d} \div Q_{300d}$	$Q_{300d} \div Q_{364d}$	$Q_1 \div Q_{10}$	$Q_{20} \div Q_{100}$
I	Hydrologické údaje zpracované z hodnot dlouhodobě kvalitně pozorovaných přímo v daném profilu nebo v jiném velmi blízkém profilu na témže toku	8	10	20	10	15
II	Hydrologické údaje zpracované na základě dlouhodobých pozorování, která svojí délkou nebo kvalitou nevyhovují třídě I. Hydrologické údaje odvozené pro jiný profil na témže toku, pokud to připouští charakter odvozované veličiny, vodního toku, délka a kvalita pozorování, aj.	12	15	30	20	30
III	Hydrologické údaje odvozené na základě krátkodobých pozorování přímo na daném profilu nebo v těsné blízkosti na témže toku. Hydrologické údaje odvozené z pozorovaných profilů pro profil na témže toku, pokud nejsou splněny požadavky třídy II, nebo odvozené pro profil na jiném blízkém toku s obdobnými fyzickogeografickými poměry a obdobným hydrogeologickým režimem.	20	25	45	30	40
IV	Hydrologické údaje odvozené z pozorovaných hodnot do profilu mimo požadovaný vodní tok nebo mimo jeho povodí pokud je nelze zařadit do třídy III. Charakteristiky maximálních průtoků odvozené ze srážek.	30	40	60	40	60

Geologický průzkum

- druh a fyzikální vlastnosti hornin, raději geolog
- zařídění hornin pro kalkulaci objemu a ceny zemních prací
- nalézt vhodné zdroje hornin, zemin a materiálů pro stavbu (hráze: hutnitelnost, propustnost)

Hydrogeologický průzkum: obraz výskytu a pohybu podzemních vod

Pedologický průzkum: fyzikální a mechanické vlastnosti půd, zrnitost

Splaveninový režim: na větších a šterkonosných tocích, křivka zrnitosti krycí vrstvy v toku = efektivní zrno, výmoly, šterkové lavice

Návrh revitalizace toku

1. směrové vedení osy (břehů) koryta
 2. niveleta dna (sklon, zahloubení, úseky s jednotným sklonem)
 3. příčný profil (tvar, velikost – kapacita)
 4. druh opevnění
 5. návrh ozelenění
- nelze řešit odděleně: změna délky trasy = změna sklonu = změna rozdělení rychlostí a tečného napětí = volby druhu opevnění = změna drsnosti = změna kapacity = změna velikosti profilu
 - dobré znalosti (hydraulické, hydrologické) pro: tvar a kapacitu koryta, druh opevnění
 - horší znalosti pro směrové vedení: sice známe obecné vztahy; vzorce odvozeny pro některé toky (zde je lze použít jen na nich), matematické vyjádření za cenu velkého zjednodušení. dobrá trasa závisí na zkušenostech projektanta

Návrh průtočného profilu

- Stanovení velikosti návrhového průtoku:
 - ČHMÚ
 - jednotkový hydrogram (M. Kemel: Klimatologie, meteorologie, hydrologie)
 - Empirické vzorce (vzorec Sokolovského, Čerkašina – tvar a velikost povodí, zalesněnost, sklon povodí)
- Volba návrhového průtoku: (TNV 752102 Úprava potoků, TNV 75 2103 Úprava řek)

Louky, lesy, pastviny	$Q_{30d} - Q_1$	$(Q_{30d} - Q_1)$
Orná půda (dle bonity)	Q_5	$(Q_5 - Q_{20})$
Sady, zahrady, chmelnice	Q_{10}	(Q_{20})
Menší sídliště	$Q_{20} - Q_{50}$	$(\geq Q_{20})$
Větší sídliště, výrobní objekty	$Q_{50} - Q_{100}$	$(\geq Q_{50})$
Historická zástavba	Q_{100}	$(\geq Q_{100})$
Komunikace (dle významnosti)	$\geq Q_{10}$	

Minimální zůstatkový průtok – 15 (10 cm vody)

Průtok Q_{355d} [$m^3 \cdot s^{-1}$]	Minimální zůstatkový průtok
$< 0,05$	Q_{330d}
$0,05 - 0,5$	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
$0,51 - 5,0$	Q_{355d}
$> 5,0$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Reálná kapacita přirozeného koryta ?!

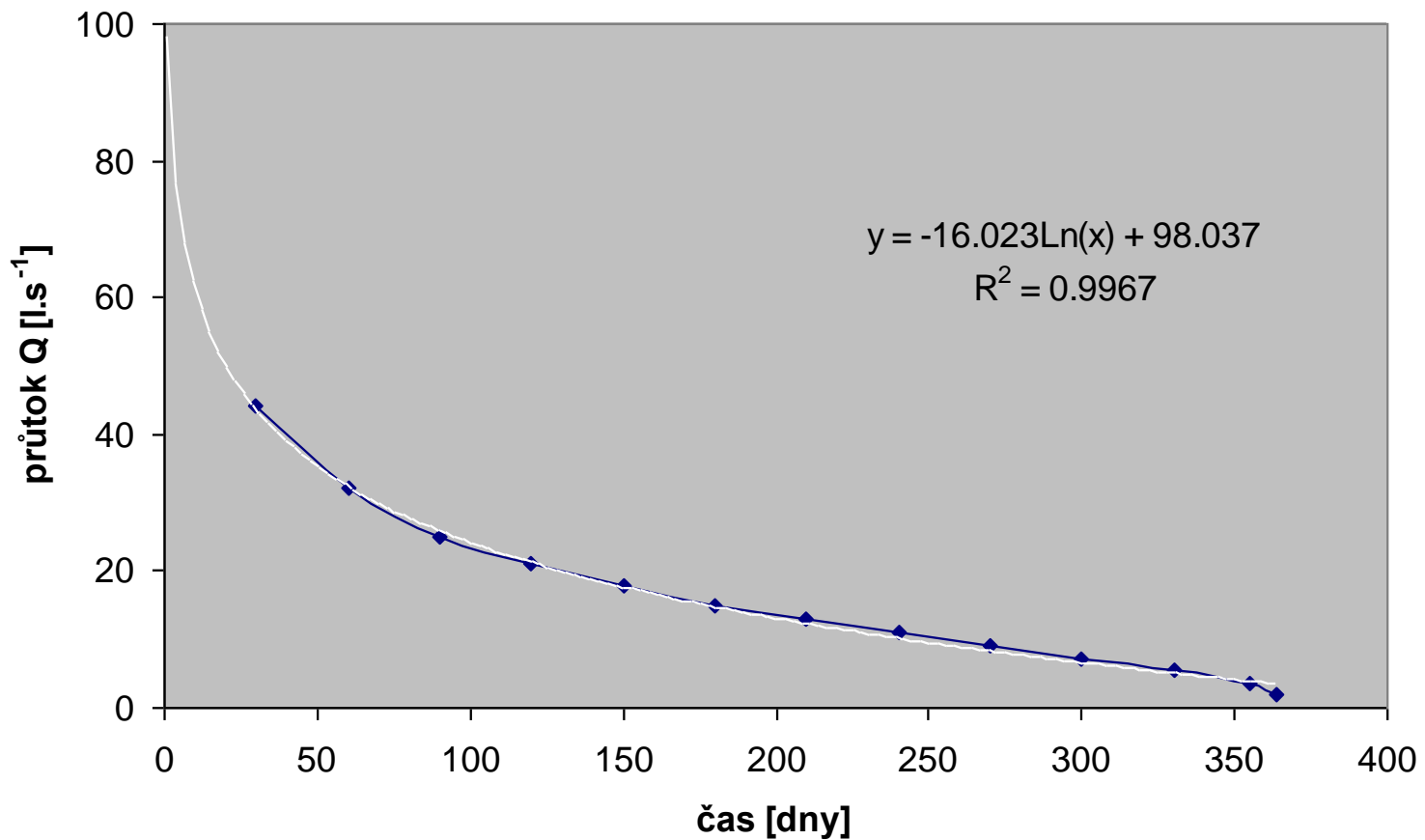
Doc. Zuna, $\sim Q_{1d} - Q_1$

Změna návrhového průtoku po délce toku

- m-denní průtoky: lineární závislost dílčí plochy povodí a Q_m
- N-leté průtoky: závislost na odmocnině z dílčí plochy povodí

Stanovení návrhového průtoku Q_{1d}

Čára překročení m-denních průtoků



Kapacita profilu

- Ustálené x neustálené; rovnoměrné x nerovnoměrné

- Ustálené rovnoměrné:

- 1. Chézyho rce:

C ... Chézyho rychlostní koef

i_E ... sklon čáry energie ($i_E = i_{dna}$)

R ... hydraulický poloměr

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$$
$$Q = v \cdot S$$

- 2. Manningova rce:

n .. Manningův součinitel drsnosti

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

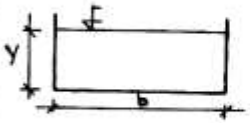
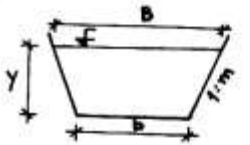
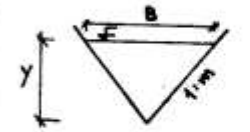
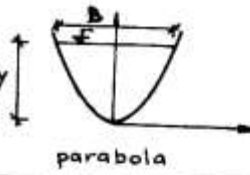
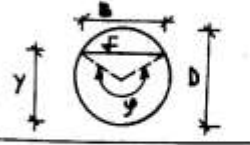
$$v = \frac{R^{1/6}}{n} \sqrt{R \cdot i}$$

- 3. Darcy-Weisbachova rce

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot R \cdot i}$$

Vztahy pro určení součinitele C a n

Manning 1889	$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$	$n > 0.011$ $0,3 < R < 5 \text{ m}$
Pavlovskij 1925	$C = \frac{1}{n} R^P$ $P = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1)$	$R < 1 \text{ m}, P = 1,5 n^{0,5}$ $R < 1 \text{ m}, P = 1,3 n^{0,5}$ $0,11 < n < 0,04$ $0,1 \text{ m} < R < 3,0 \text{ m}$
Martinec 1958	$C = 17,72 \left(0,77 + \log \frac{R}{d_{50}} \right)$	Ověřen pro: $0,15 \text{ m} < R < 2,25 \text{ m}$ $0,004 \text{ m} < d_{50} < 0,25 \text{ m}$
Strickler 1923	$\frac{1}{n} = \frac{21,1}{d_e^{1/6}}$	d_e vážený průměr z čáry zrnitosti Platí pro $4,3 < R/d_e < 276$
Meyer-Petr 1948	$\frac{1}{n} = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$	zrno, kdy 90% zrn menších d_{90}
Hey 1979	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2,03 \cdot \log \frac{a \cdot R}{m \cdot k_s}$ $a = 11,1 \cdot \left(\frac{R}{h_{\max}} \right)^{-0,314}$	Pro $k_s = d_{84}$ je $m = 3,5$ Pro $k_s = d_{50}$ je $m = 6,8$ Platí pro šterková koryta $d_{50} > 2 \text{ mm}$ $R/d_{50} > 8, R/d_{84} > 4$

	Průtočná plocha S	Omočený obvod O	Hydraulický poloměr R	Šířka v hladině B	Střední hloubka průřezu $y = S/B$
	$b \cdot y$	$b + 2y$	$\frac{b \cdot y}{b + 2y}$	b	y
	$y(b + m \cdot y)$	$b + 2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{(b + m \cdot y)y}{b + 2y\sqrt{1 + m^2}}$	$b + 2m \cdot y$	$\frac{(b + m \cdot y)y}{b + 2m \cdot y}$
	$m \cdot y^2$	$2y\sqrt{1 + m^2}$	$\frac{m \cdot y}{b + 2\sqrt{1 + m^2}}$	$2m \cdot y$	$\frac{y}{2}$
	$\frac{2}{3} B \cdot y$	$B + \frac{8}{3} \frac{y^2}{B}$ přibližně pro $0 < \frac{4y}{B} < 1$ (*)	$\frac{2B^2 \cdot y}{3B^2 + 8y^2}$	$\frac{3}{2} \cdot \frac{S}{y}$	$\frac{2}{3} y$
	$\frac{1}{8} \left(\frac{\pi \varphi^\circ}{180} - \sin \varphi^\circ \right) D^2$	$\frac{D}{2} \cdot \frac{\pi \varphi^\circ}{180}$	$\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \varphi^\circ}{\frac{\pi \varphi^\circ}{180}} \right)$	$2\sqrt{y(D - y)}$	$\frac{1}{8} \left(\frac{\frac{\pi \varphi^\circ}{180} - \sin \varphi^\circ}{\sin \frac{1}{2} \varphi^\circ} \right) D$
*) Pro $4y/B > 1$ je: $O = \frac{B}{2} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{4y}{B}\right)^2} + \frac{B}{4y} \ln \left[\frac{4y}{B} + \sqrt{1 + \left(\frac{4y}{B}\right)^2} \right] \right\}$					

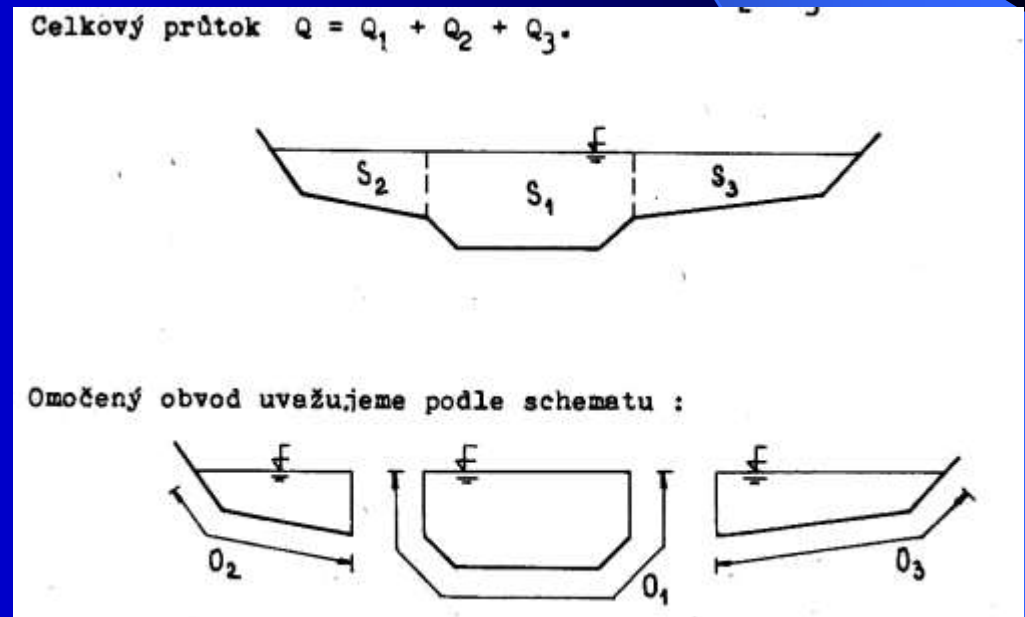
- V případě, že $n_d \neq n_s$ (části obvodu s různou drsností):
kde je $o_i \dots$ dílčí omočené obvody
 $n_i \dots$ drsnostní součinitel příslušného obvodu

$$n = \frac{\sum o_i \cdot n_i}{o}$$

$$n = \left(\frac{\sum o_i \cdot n_i^2}{o} \right)^{1/2}$$

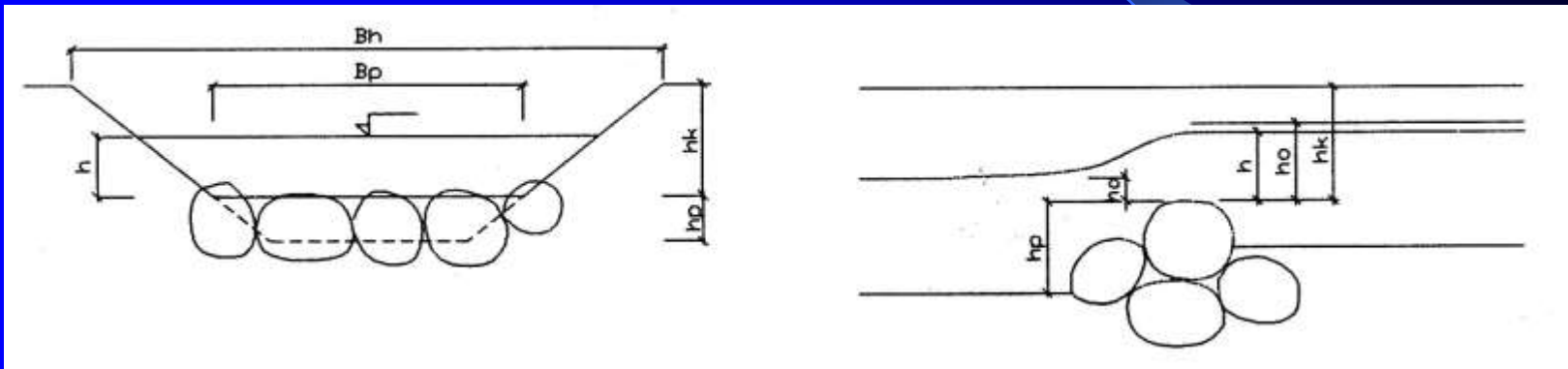
$$n = \left(\frac{\sum o_i \cdot n_i^{3/2}}{o} \right)^{2/3}$$

- Složené profily:
dělicí svislice $n = 0,02$ (vyšší vodní stav - snižuje se n)



Kapacita prahu

- Možno řešit jako přepad přes širokou korunu



$$Q = \sigma_z \cdot \varphi \cdot m \cdot S \cdot \sqrt{2gh_0}$$

$$h_0 = h + \frac{\alpha v^2}{2g}$$

σ_z – součinitel zatopení

φ – součinitel boční kontrakce

m – součinitel přepadu

h_0 – přepadová energetická výška

S – průtočná plocha

v – průřezová rychlost

α – koeficient

Dokonalý přepad $\sigma_z = 1$

Nedokonalý přepad $\sigma_z < 1$

$\varphi = 0,9$

$m = 0,38$

$\alpha = 1$

Stabilita průřezu

- Metoda tečných napětí
metoda vychází z Mayer-Peter rce

$$\tau_{od} = \tau_c + \tau_o''$$

$$\tau_c = A \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_e$$

$$\frac{\tau_{cs}}{\tau_c} = \cos \gamma \cdot \left(1 - \frac{\text{tg}^2 \gamma}{\text{tg}^2 \varphi} \right)^{0,5}$$

$$\tau_{od} = \rho \cdot g \cdot R_d \cdot i \cdot \left(\frac{k_d}{k_s} \right)^{2/3}$$

$$\tau_c \triangleright \tau_{od} \Leftrightarrow \text{stabilní}$$

$$\tau_c \triangleleft \tau_{od} \Leftrightarrow \text{nestabilní (změna parametrů toku)}$$

τ_{od} – průměrné tečné napětí na dně od tekoucí vody

τ_c – průměrné kritické tečné napětí

τ_o'' – tečné napětí pro udržení splavenin
nulový pohyb splavenin $\tau_o'' = 0$

τ_c

kritické tečné napětí na dně (Pa)

τ_{cs}

kritické tečné napětí svahu (Pa)

ρ_s

měrná hmotnost splavenin ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

ρ

měrná hmotnost vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

d_e

efektivní zrno materiálu koryta (m)

g

tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

γ

úhel sklonu svahu ($^\circ$)

φ

úhel vnitřního tření vlhkého materiálu koryta ($^\circ$).

k_d/k_s .. Celková drsnost koryta (makrodrsnost) / drsnost vyvolaná zrnem d_e (mikrodrsnost)
pro rovné dno =1 (bez dnových útvarů)
pro nerovné dno se šterkovými lavicemi =0,75
vysoce vyvinuté dnové útvary =0,5

i sklon dna [-]

R_d hydraulický poloměr příslušící dnu [m]

g gravitační konstanta $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

ρ měrná hmotnost vody $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

ρ_s měrná hmotnost splavenin $2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

A součinitel; 0,03; 0,047; 0,068

d_e průměr efektivního zrna [m]

Stabilita průřezu

- Metoda dle Zuny

$$\tau = \tau_c + \tau_o''$$

τ – tečné napětí v daném místě koryta (viz níže)
 τ_c – kritické tečné napětí (viz minulá obrazovka)
 τ_o – tečné napětí pro udržení splavenin
 nulový pohyb splavenin $\tau_o'' = 0$

$$\tau_s = \rho \cdot g \cdot R \cdot i$$

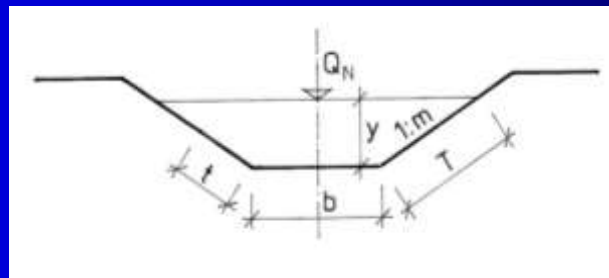
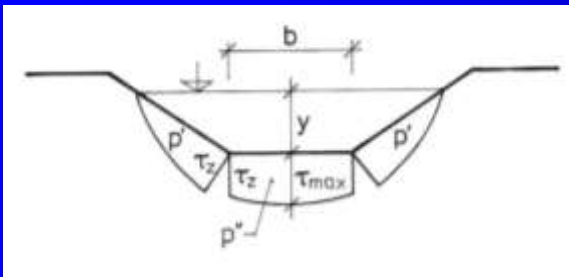
$$\tau_z = \tau_s \cdot \frac{O}{1,13 \cdot b + 1,33 \cdot T}$$

$$\tau_x = \tau_z \cdot \sqrt{\frac{T-t}{T}}$$

$$\tau_{\max} = 1,2 \cdot \tau_z$$

kde je

τ_s střední tečné napětí v korytě (Pa)
 τ_z tečné napětí v patě svahu (Pa)
 τ_x tečné napětí v bodě x ve svahu (Pa)
 τ_{\max} tečné napětí v ose dna (Pa)
 i podélný sklon dna (-)
 R hydraulický poloměr (m)
 b šířka dna koryta (m)
 T délka omočeného svahu (m)
 t vzdálenost bodu x od paty svahu (m)
 ρ měrná hmotnost vody ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 g tíhové zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).



Mezní hodnoty tečného napětí

MATERIÁL STĚN KORYTA	T_m Pa
Kosený travní porost	80 – 90
Zruderalizovaný travní porost	60 – 70
Hrubý písek	10 – 15
Štěrka d_m 0.05 m	40 – 50
Štěrka d_m 0.10 m	90 – 100
Štěrka d_m 0.13 m	100 – 120
Štěrka d_m 0.15 m	100 – 130
Štěrka d_m 0.18 m	110 – 150
Plůtek z tyčoviny	100 – 150
Oživený kamenný zához	100 – 140
Dlažba z lom. kamene na sucho tl. 250 mm	120 – 140
Dlažba z lom. kamene na sucho tl. 350 mm	140 – 160
Dlažba z lom. kamene na c.m. tl. 250 mm	170 – 200
Dlažba z lom. kamene na c.m. tl. 350 mm	180 – 220
Polovegetační tvárnice 0.6x0.8x0.2 m	160 – 180

Stabilita průřezu

- Metoda nevymílací rychlosti:

metoda vychází z Mayer-Peter rce (kvadratické pásmo odporů, zrno > 4mm, ověřena do d = 30 mm)

$$v_v = 5,88 \cdot \left(\frac{k_d}{k_s} \right)^{0,25} \cdot R_d^{1/6} \cdot d_e^{1/3}$$

$$\frac{v_{vs}}{v_v} = \left[\cos \gamma \cdot \left(1 - \frac{tg^2 \gamma}{tg^2 \varphi} \right)^{0,5} \right]^{0,5}$$

v_v

v_{vs}

R_d

d_e

γ

φ

k_d

k_s

k_d/k_s

nevymílací rychlost dna ($m \cdot s^{-1}$)

nevymílací rychlost svahů ($m \cdot s^{-1}$)

hydraulický poloměr příslušný dnu (m)

efektivní zrno materiálu koryta (m)

úhel sklonu svahu ($^\circ$)

úhel vnitřního tření vlhkého materiálu koryta ($^\circ$)

drsnost dna jako celku včetně makrodrsnosti ($m^{1/3} \cdot s^{-1}$)

drsnost vyvolaná zrnem d_e (m)

se pohybuje od 1,0 pro rovné dno až do 0,75 pro nerovné dno se šterkovými lavicemi.

$v_v \triangleright v \Leftrightarrow$ stabilní

$v_v \triangleleft v \Leftrightarrow$ nestabilní (změna parametrů toku)

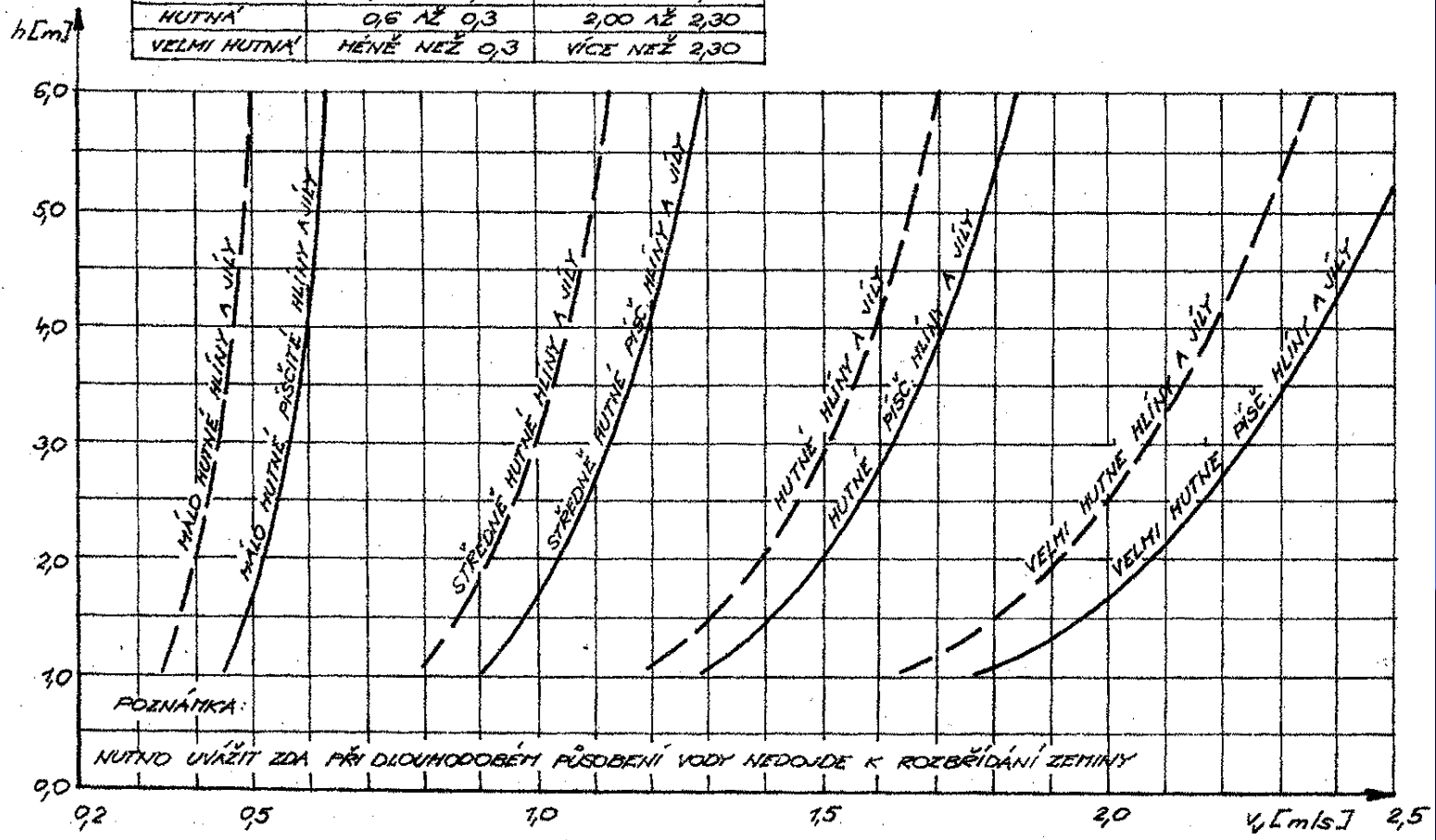
Nevymílací rychlosti pro přirozená koryta

Splaveninový materiál dna koryta		Hloubka vody (m)		
Popis	d_m	0,4	1,0	2,0
	mm	Nevymílací rychlost (m.s ⁻¹)		
Střední až hrubý písek	1	0,50	0,60	0,70
Střední písek až drobný štěrk	2,5	0,65	0,75	0,80
Drobný štěrk	2,5 – 5	0,80	0,85	1,00
Drobný štěrk	5 – 10	0,90	1,05	1,15
Střední štěrk	10 – 15	1,10	1,20	1,35
Střední štěrk	15 – 25	1,25	1,45	1,65
Střední štěrk	25 – 40	1,50	1,85	2,10
Hrubý štěrk	40 – 75	2,00	2,40	2,75
Hrubý štěrk	75 – 100	2,45	2,80	3,20
Hrubý štěrk	100 – 150	3,00	3,55	3,75
Štěrk s valouny	150 – 200	3,50	3,8	4,30
Valouny	200 – 300	3,85	4,35	4,70
Velké valouny	300 – 400		4,75	4,95
Balvany	400 – 500		5,50	
Travní porost zapojený		1,0	1,5	2,0

Stabilita průřezu

DRUH ZEMINY	ČÍSLA PÓROVITOSTI E	OBJ. TÍHA ρ/m^3
MÁLO HUTNÁ	2,0 AŽ 1,2	1,55 AŽ 1,75
STŘEDNĚ HUTNÁ	1,2 AŽ 0,6	1,75 AŽ 2,00
HUTNÁ	0,6 AŽ 0,3	2,00 AŽ 2,30
VELMI HUTNÁ	MÉNĚ NEŽ 0,3	VÍCE NEŽ 2,30

VYHILACÍ STŘEDNÍ RYCHLOST PRO SOUDRŽNÉ ZEMINY



Niveleta dna

- Z návrhu profilu => i_{st} (úseky s různým sklonem), zahloubení = výška nivelety,
- Pokud prahy = raději více nižších prahů (< 30 cm) než jeden stupeň (> 30 cm)
- pozor na výškové napojení drenáží, možno řešit: tůně + balvanitý skluz

Opevnění koryta

- pokud je koryto v některých částech nestabilní $v > v_v$ ($\tau > \tau_c$),
- Jaká část profilu? Dno, svah, pata svahu
- Jaké materiály? tvrdé, pružné, vegetační opevnění
- Vegetační opevnění
 - travní porost: v_v až 4,0 m.s⁻¹ (průměr 2,0 m.s⁻¹), rozhoduje stáří a druh!, v počátku matrace, folie, geotextílie, humusování, pokládat travní drn, pro hladiny nad $Q_{180d} - Q_{90d}$; osetí, drnování, hydroosev
 - vrbový porost: ~ 2x odolnější než travní porostu, bohatý kořenový systém, ohebnost větví, snadné osázení (řízky), mnoho druhů, !velice ovlivňuje průtočný profil!
- Štěrkový pohoz
- - nejlépe polní sběr, kameny ze starých domů
- - netříděný lomový kámen, 0 – 125, 0-250 ...

Schéma výpočtu pro Chézyho rci

b	y	n	i	S	O	R	C	v	Q	Vv
[m]	[m]	[]	[]	[m ²]	[m]	[m]		[m.s ⁻¹]	[m ³ .s ⁻¹]	[m.s ⁻¹]
0.3	0.44	0.0375	0.0045	0.5219	2.2735	0.2295	20.8663	0.671	0.350	2.484
0.4	0.42	0.0375	0.0045	0.5222	2.2814	0.2289	20.8568	0.669	0.350	2.481
0.5	0.40	0.0375	0.0045	0.5240	2.2975	0.2281	20.8444	0.668	0.350	2.477
0.6	0.38	0.0375	0.0045	0.5260	2.3187	0.2268	20.8253	0.665	0.350	2.473
0.7	0.37	0.0375	0.0045	0.5279	2.3447	0.2252	20.7994	0.662	0.350	2.468
0.8	0.35	0.0375	0.0045	0.5312	2.3779	0.2234	20.7723	0.659	0.350	2.463
0.9	0.34	0.0375	0.0045	0.5355	2.4172	0.2215	20.7433	0.655	0.351	2.458
1	0.33	0.0375	0.0045	0.5383	2.4574	0.2191	20.7043	0.650	0.350	2.452

Děkuji Vám
za pozornost