



Přednáška pro posluchače předmětu Projekt z vodních toků

# UPRAVENÉ VODNÍ TOKY - JEJICH NÁVRH A PROVOZ

Petr Sklenář



ČVUT České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební, katedra hydrauliky a hydrologie



# **OBSAH PŘEDNÁŠKY**

- **Základní terminologie v oblasti vodních toků (VT)**
- **Účel úprav VT- klady a zápory**
- **Návrhové prvky při úpravách VT**
- **Hydraulické namáhání koryt**
- **Opevnění koryt**
- **Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy**
- **Odezva VT na technické zásahy při úpravách**
- **Revitalizace VT - význam**

# Názvosloví v oblasti VT

Vodní tok (VT) – vody trvale tekoucí po zemském povrchu mezi břehy buď v korytě přirozeném (příp. upraveném), nebo ve slepých ramenech VT, včetně jejich koryt

Koryto VT – geomorfologický útvar, jímž trvale nebo po část roku trvale proudí voda; může být upraveno; inundační území není součástí koryta

Kyneta – zahloubená část složeného koryta; umisťuje se buď jako středová, nebo stěhovavá

Inundační území – území zaplavované vodou při povodních

Inundace – jev zaplavení území přilehlého k toku za povodně

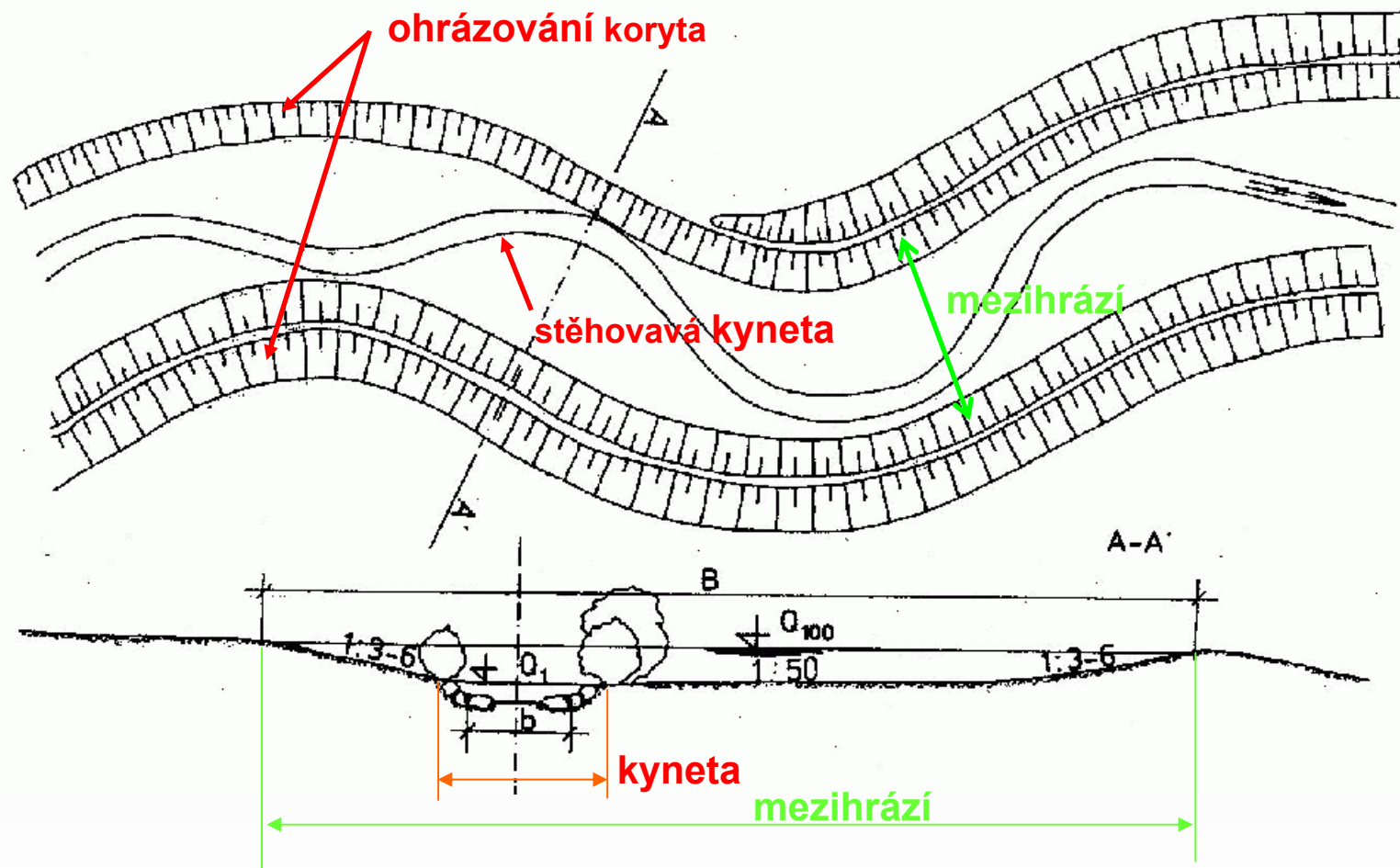
Trasa – směrové vedení geometrické střednice dna

Niveleta – výškový průběh geometrické střednice dna

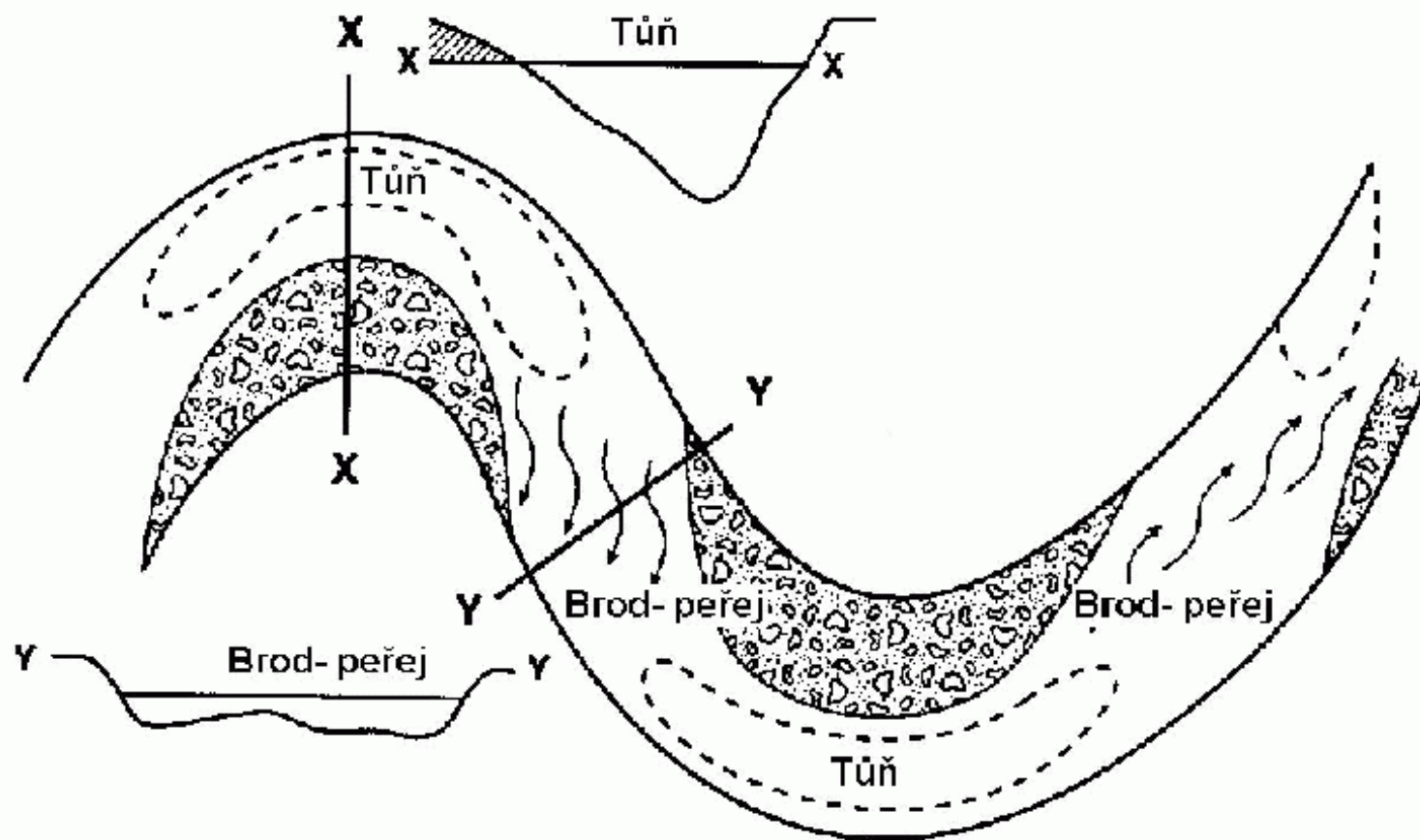
Brod – relativně mělký úsek na VT, vyznačující vyrovnanými hloubkami v napříč korytem a větším podélným sklonem, v němž proudnice přechází od jednoho břehu k druhému

Tůň – úsek VT, vyznačující se nevyrovnanými hloubkami napříč korytem (konkáva = výmol; konvexa = nános)

# Názvosloví v oblasti VT



# Názvosloví v oblasti VT



# Účel úprav toků

- Odstranění záplav
- Směrová stabilizace toku a odstranění břehových nátrží
- Stabilizace dna toku
- Úprava poměrů podzemní vody
- Umožnění odběrů vody
- Odstranění hygienických závad
- Umožnění zaústění přítoků a odvodňovacích kanálů
- Umožnění plavby
- Zajištění speciálních požadavků v souvislosti s rozvojem sídelních celků (*komunikační, rozšíření zástavby, přemostění, apod.*)

## Klady a zápory úprav toků

- + Zvýšení míry ochrany protipovodňové ochrany okolních území
- + Úprava vodního režimu v údolní nivě tak, aby vyhovoval způsobu zemědělského využívání půdy
- + Směrová stabilizace toku, zamezení projevům erozního účinku toku na okolní pozemky a ohrožování stability staveb a objektů v blízkosti břehů
- + Řešení hygienických a estetických závad na toku i v údolní nivě
- + Vyrovnání průtočných podmínek na toku po značnou část roku *(v kombinaci s dalšími agrotechnickými opatřeními v povodí a způsoby řízení odtoku)*

## **Klady a zápory úprav toků**

- Přesunutí kapacitního problému do úseku pod úpravou
- Propagace nepříznivé změny režimu průtoků směrem po proudu (= zvýšení kulminačních průtoků, četnosti jejich výskytu, zkrácení postupové doby)
- Vliv snížení úrovně hladiny podzemní vody na pokles kapacity podzemních vodních zdrojů
- Esteticky negativní dojem z uniformního charakteru toku
- Snížení rozmanitosti stanovištních podmínek pro živočišné a rostlinné organizmy (přeje, tůně) → snížení počtu vyskytujících se druhů
- Snížení průměrných hloubek proudění po větší část roku → negativní dopad na kvalitu vody



# **Charakteristika ÚT v intravilánu**

- **Hydrologie malých vodních toků v zastavěné oblasti je výrazně ovlivněna vysokým procentem zastoupení nepropustných ploch**
- **Značně snížená dotace průtoku z podzemních vod se projevuje snižováním nízkých průtoků v tocích**
- **Při přívalových deštích je významně zvýšen a zrychlen povrchový odtok**
- **Značná část povrchového odtoku je převedena na odtok dešťovou kanalizací - tento odtok je běžně sváděn do vodoteče.**
- **Hlavním účelem úpravy vodotečí je zajištění bezporuchového odtoku srážkových vod z nově zastavěných území - odtok je řešen v kombinaci s retenčními nádržemi**

# **Návrhové prvky úprav toků**

- x Návrhový průtok úpravy**
- x Směrové vedení trasy**
- x Podélný profil upraveného toku (UT)**
- x Příčný profil UT**
- x Opevnění**

# Návrhový průtok

- Jeho stanovení vychází z účelu ÚT (protipovodňová ochrana, směrová stabilizace, stabilizace podélného profilu, odběr vody aj.)
- Velikost by měla vycházet z technickoekonomického rozboru
- Pro určitou variantu návrhového průtoku jsou stanovovány

pořizovací náklady na ÚT.....	I
průběžné roční náklady na provoz a údržbu ÚT.....	P
průběžné roční ztráty při zhoršení podmínek na toku pod ÚT.....	Z
roční důchody společnosti plynoucí z realizace ÚT.....	D
doba splácení investice vložené do ÚT.....	T

- Výsledný návrhový průtok se stanoví ze vztahu

$$Z+P-D+I/T=\text{minimum}$$

# Návrhový průtok

- Technickoekonomická analýza je pracná a její vypracování představuje určité veřejné politikum
- Hodnotové vyčíslení mimoekonomických užitků (vyloučení ztrát na lidských životech, ozdravění krajiny, umožnění rekreace) představuje vždy problém a lze ho provést pouze při znalosti koncepce budoucího rozvoje oblasti s dostatečným časovým výhledem
- TE analýza se proto zpracovává pouze pro investice do ÚT velkého rozsahu a významu
- Pro ostatní případy se buď využívá zkušeností z konkrétní, v minulosti realizované ÚT obdobného významu nebo se lze řídit obecně doporučovanými orientačními hodnotami dle *TABULKY*.

# Návrhový průtok

TAB 1: Návrhové průtoky pro kapacitu koryta dle ČSN 73 6820

Souvislá zástavba, průmyslový areál, významné liniové stavby	$> Q_{50}^*$
Velmi cenná půda, vinice, chmelnice apod.	$> Q_{20}$
Orná půda	$Q_5$ až $Q_{20}$
Louky a lesy	$Q_2$ až $Q_5$

\*/ V ČR není míra protipovodňové ochrany volena prakticky nikdy na hodnotu výrazně převyšující  $Q_{100}$ .

\*\*/ Pro případ zaústění kanalizačních dešťových vod do UT je třeba vždy posoudit návrhový průtok s hodnotou vzniklou superpozicí hydrogramů odtoku z přirozeného povodí (se zmenšenou plochou) a z kanalizace.

# Návrhový průtok

*TAB 2: Návrhové průtoky pro kapacitu koryta dle nizozemského standardu CUR-TAW, 1990*

Města a urbanistická centra	$> Q_{1000}^*$
Hustě osídlené oblasti a průmyslová centra	$Q_{200}$ až $Q_{1000}$
Málo nebo středně osídlené oblasti	$Q_{100}$ až $Q_{200}$
Intensivně využívané zemědělské oblasti	$Q_{15}$ až $Q_{20}$
Extensivně využívané zemědělské oblasti	$Q_6$ až $Q_{10}$

*\*/ Pro mimořádně významné sídelní celky a průmyslové oblasti je doporučována hodnota až  $Q_{10\ 000}$  !!!*

*Pozn. Území Nizozemska je ohrožováno kombinovaným účinkem rozvodnění vlivem povodňové vlny vznikající odtokem z povodí a přílivové vlny ze Severního moře.*

# Návrhový průtok

Hodnota návrhového průtoku pro účely protipovodňové ochrany území musí být vždy posuzována i z hledisek

- **Společensky akceptovatelné míry rizika**
- **Strategického významu ochrany určitých území a objektů pro zajištění nezbytných celospolečenských potřeb**
- **Ekonomického potenciálu společnosti pro realizaci ÚT s ochrannou funkcí**
- **Jaká doba zatopení a rychlost proudění je přijatelná pro obyvatelstvo a majetek nacházející se v inundačním území**
- **Institucionální a občanské připravenosti na možný výskyt povodňové situace (informovanost o způsobu chování)**
- **Zohlednění povod. situace při územním plánování**

# Návrhový průtok

Hodnota návrhového průtoku pro účely protipovodňové ochrany území musí být vždy posuzována i z hledisek

- **Společensky akceptovatelné míry rizika**
- **Strategického významu ochrany určitých území a objektů pro zajištění nezbytných celospolečenských potřeb**
- **Ekonomického potenciálu společnosti pro realizaci ÚT s ochrannou funkcí**
- **Jaká doba zatopení a rychlost proudění je přijatelná pro obyvatelstvo a majetek nacházející se v inundačním území**
- **Institucionální a občanské připravenosti na možný výskyt povodňové situace (informovanost o způsobu chování)**
- **Zohlednění povod. situace při územním plánování**

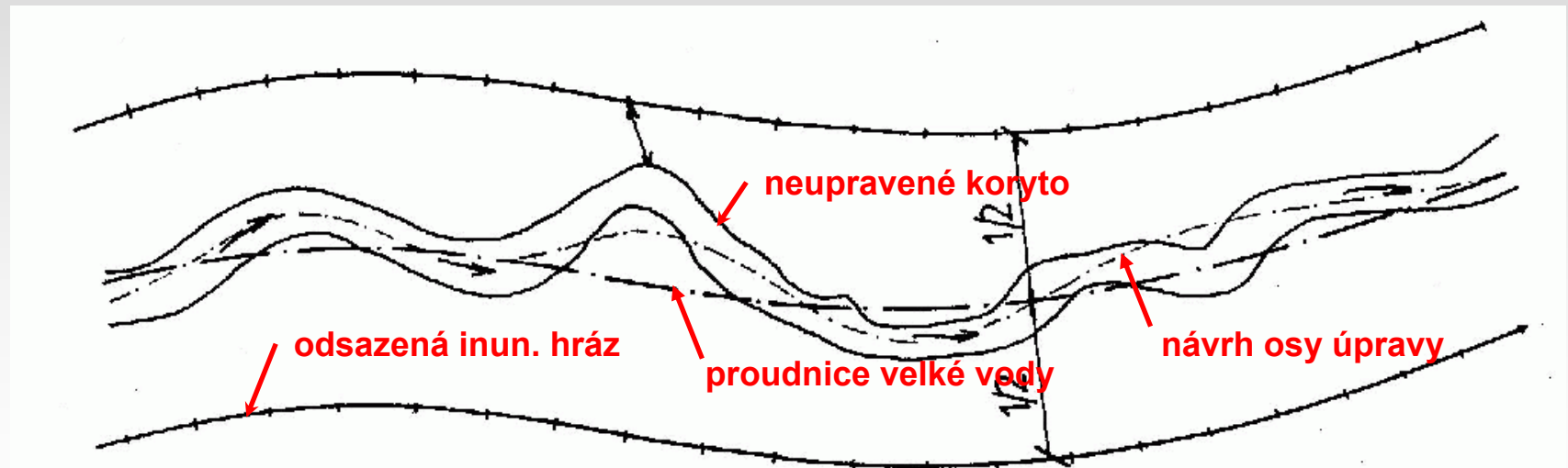


# Směrové vedení trasy ÚT

**Vedení trasy** - představuje směrový průběh geometrické střednice dna navrhovaného koryta.

Možné dvě varianty:

1. Maximální délka koryta toku se ponechává v původní trase; opatření ke směrové stabilizaci současného koryta; odstranění směrově problematických částí; k radikálnímu zvýšení kapacity odsazené hráze.

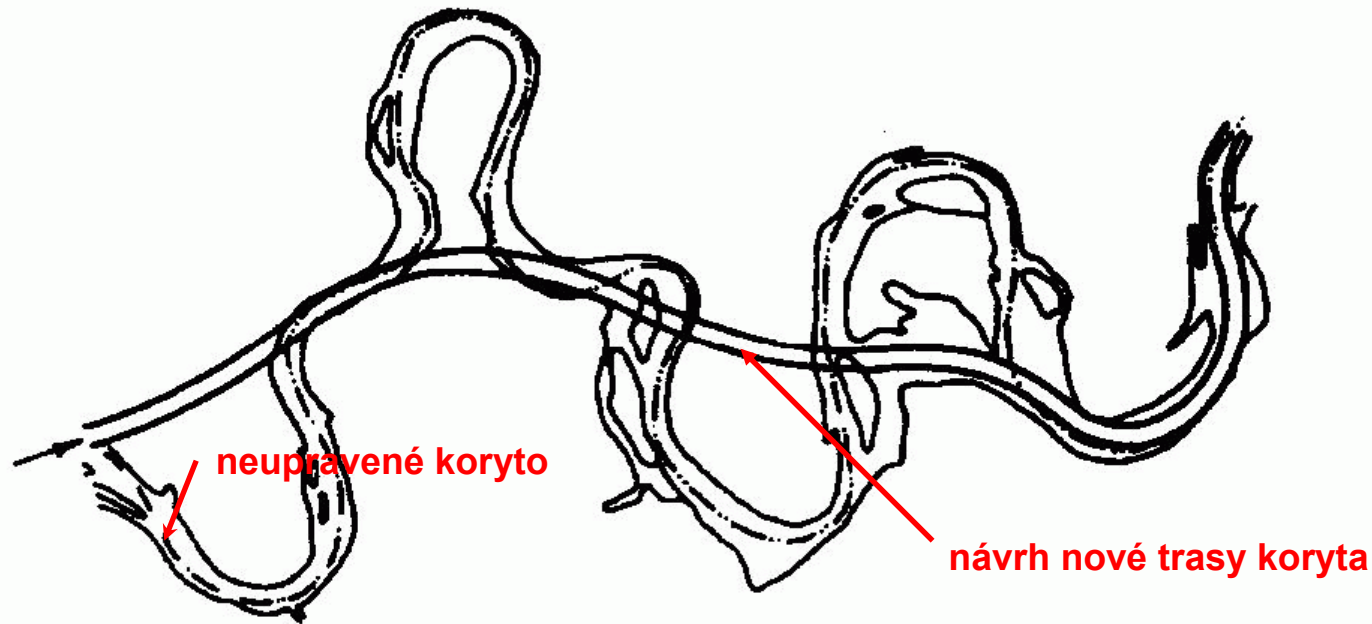


# Směrové vedení trasy ÚT

**Vedení trasy** - představuje směrový průběh geometrické střednice dna navrhovaného koryta.

Možné dvě varianty:

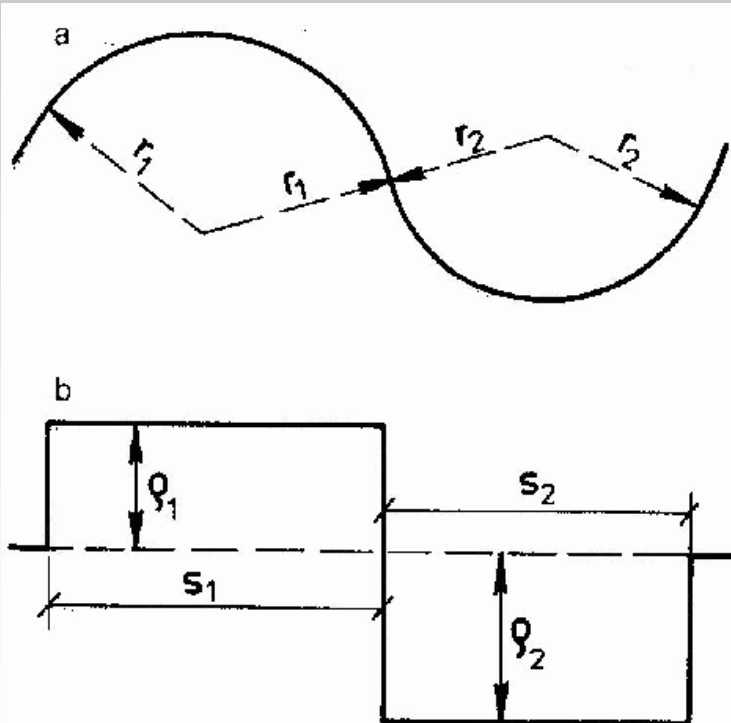
2. Trasa je navržena výlučně z geometrických prvků; koryto má i při vysokém stupni ochrany okolního území jednotný příčný profil.



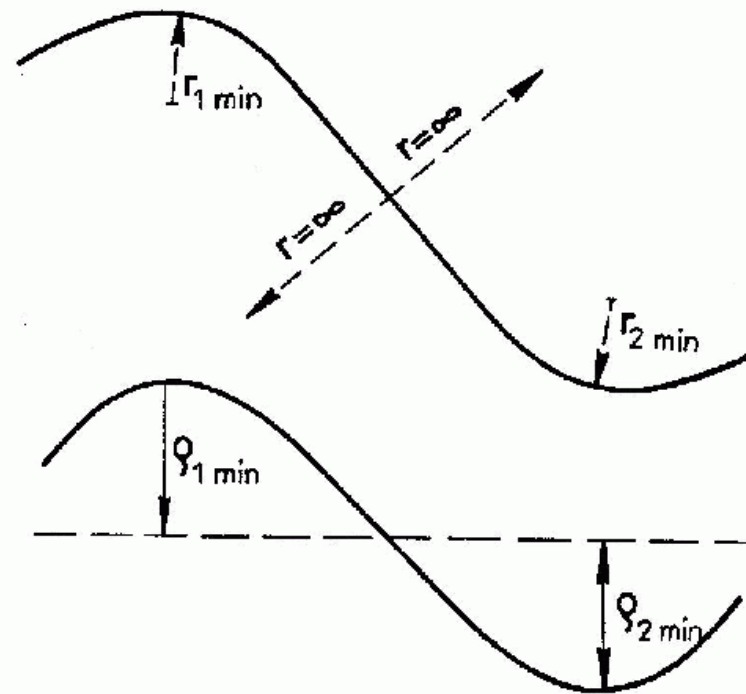
# Směrové vedení trasy ÚT

## Obecné zásady pro vedení trasy toku

- Trasa má tvar vlnovky a navrhuje se z křivek s nenáhlou změnou křivosti nebo ze složených a jednoduchých kružnicových oblouků



Kružnicový oblouk a průběh křivosti



Oblouk s proměnlivou křivostí

# Směrové vedení trasy ÚT

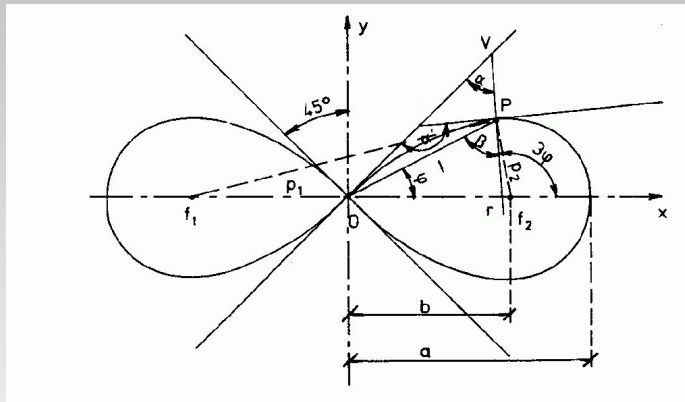
## Obecné zásady pro vedení trasy toku

- Pro zmírnění přechodu křivostí mezi dvěma jednoduchými kružnicovými oblouky se vkládají *přímé úseky* . Jejich délka je závislá na šířce koryta v hladině návrhového průtoku.
- Přímé úseky plní funkci přechodnic.
- Při náhlé změně křivosti v trase vzniká intenzivní příčné proudění vedoucí k rozsáhlé výmolné činnosti v korytě
- Při větších rychlostech proudění se doporučuje použití křivek *s proměnlivou křivostí nebo složeného kružnicového oblouku*
- Trasa musí respektovat požadavky na křížení s tělesy komunikací a inženýrskými stavbami
- V tocích s velkou rychlostí v oblasti bystřinného proudění se doporučuje nenavrhopvat oblouky větších křivosti neboť způsobují vznik *příčných vln (křížné vlny)* , které přelévají břehy

# Směrové vedení trasy ÚT

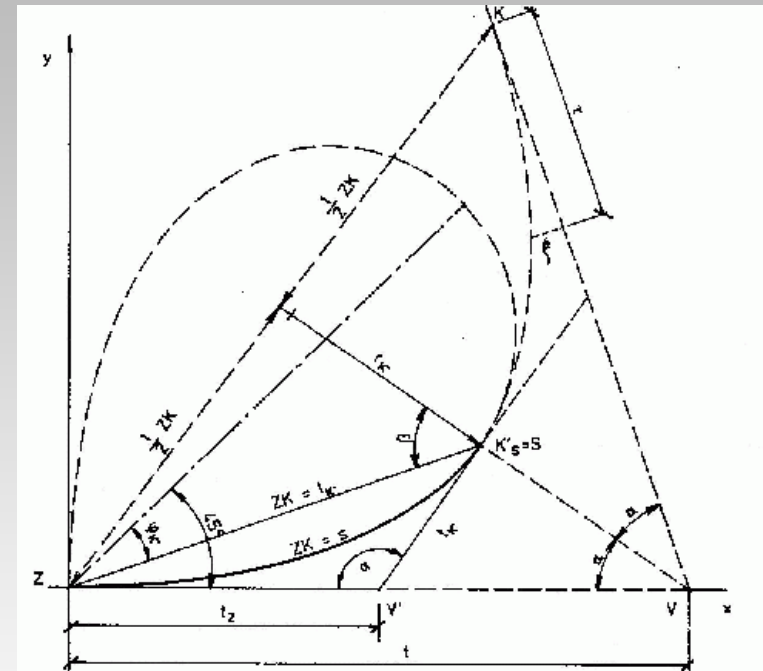
## Obecné zásady pro vedení trasy toku

### Lemniskátový oblouk

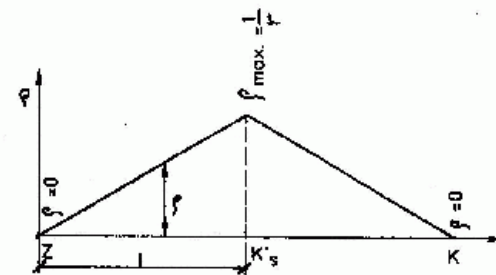


$$(x^2 + y^2)^2 = a^2(x^2 - y^2)$$

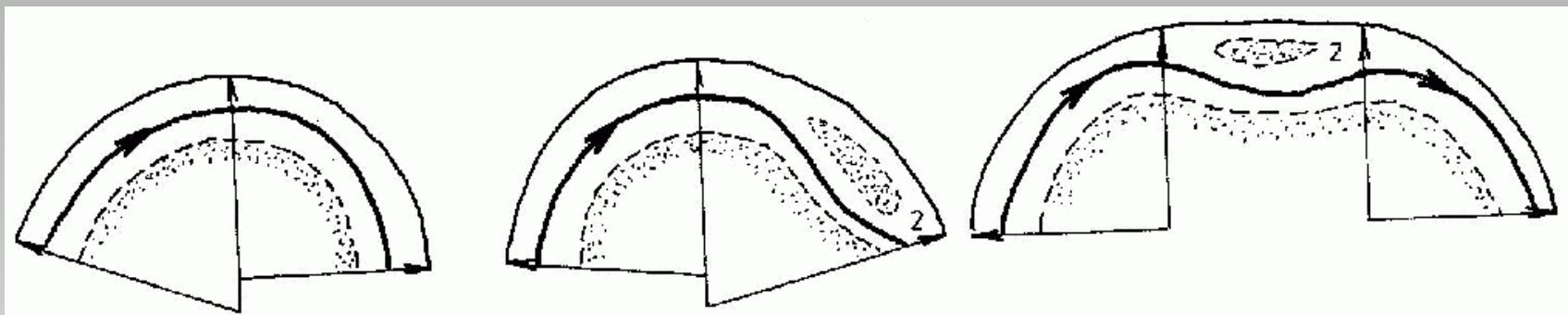
**Průběh křivosti lemniskátového oblouku**



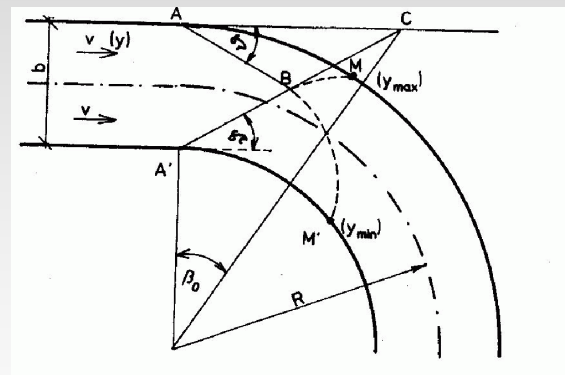
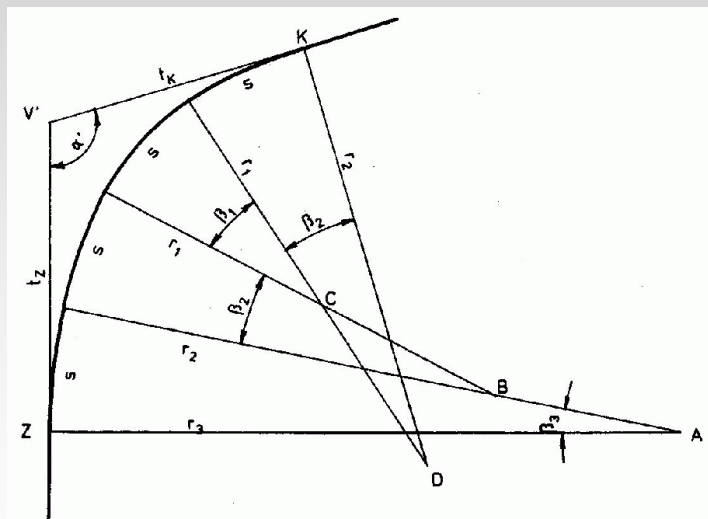
Souměrný lemniskátový oblouk



# Směrové vedení trasy ÚT



Reakce vodního toku na poměry ve složeném kružnicovém oblouku



Vznik příčných vln v zakřivené trati při  $Fr > 1$

Nesymetrický složený kružnicový oblouk

# Podélný profil ÚT

## Součástí řešení podélného profilu je

- Volba podélného sklonu
- Volba úrovně dna (nivelety) UT
- Návrh spádových a stabilizačních objektů (stupně, skluzové rampy, vzdouvací jízky, stabilizační prahy apod.)

## Obecné zásady pro návrh podélného profilu

### Návrh sklonu v podélném profilu UT by měl přihlídnout k

- Stabilitě dna vůči zatížení návrhovým průtokem ( $Q_1 - Q_5$ )
- Náchylnosti úseku k zanášení
- Podélnému sklonu celého toku
- Podélnému sklonu údolní nivy
- Požadavku, aby při minimálních pořiz. nákladech na ÚT převedlo koryto bezporuchově návrhový průtok

### Návrh výškové úrovně dna vychází z

- Požadavku optimální výše hladiny podz. vody při  $Q_{180d}$
- Úrovně založení objektů, umístění dna suterénních místností v zastavěném území
- Hloubce studní
- Na kapacitě stávajících mostních objektů

# **Příčný profil ÚT**

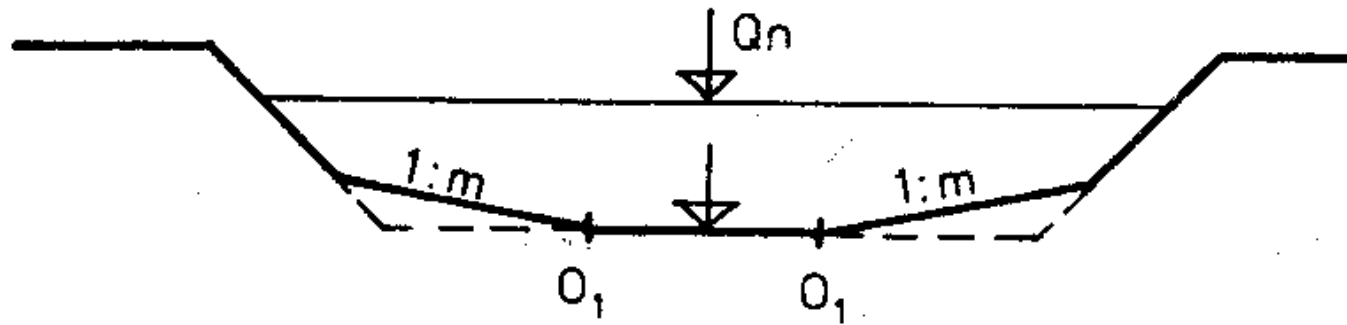
Charakter a tvar příčného profilu vychází z

- **Míry protipovodňové ochrany**
- **Charakteru údolní nivy a druhu zástavby**
- **Možnosti pro mechanizovaný způsob výstavby a údržby**
- **Ekonomické náročnosti nejen na realizaci, ale i na zábor okolních pozemku**
- **Druhu opevnění**
- **Urbanisticko-estetických požadavků**

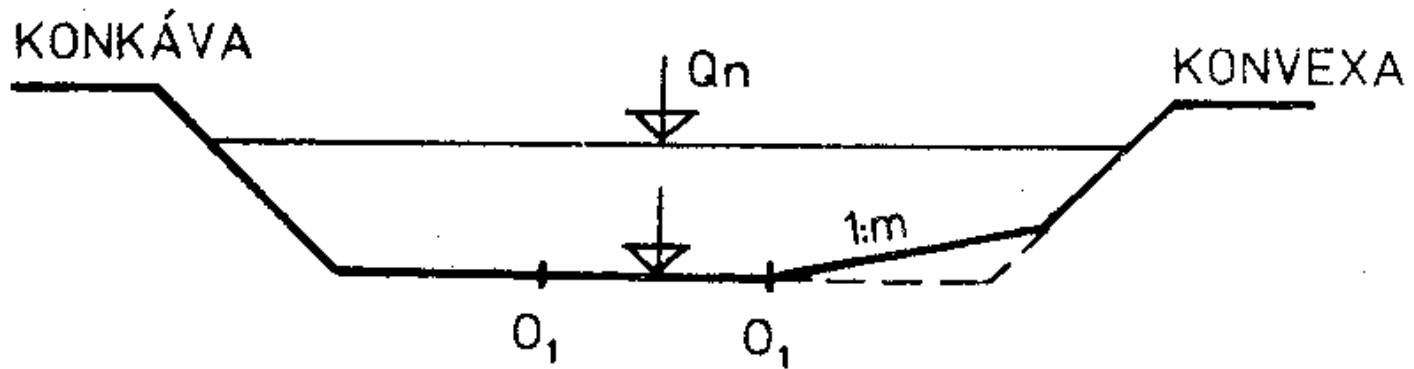


# Příčný profil ÚT

a

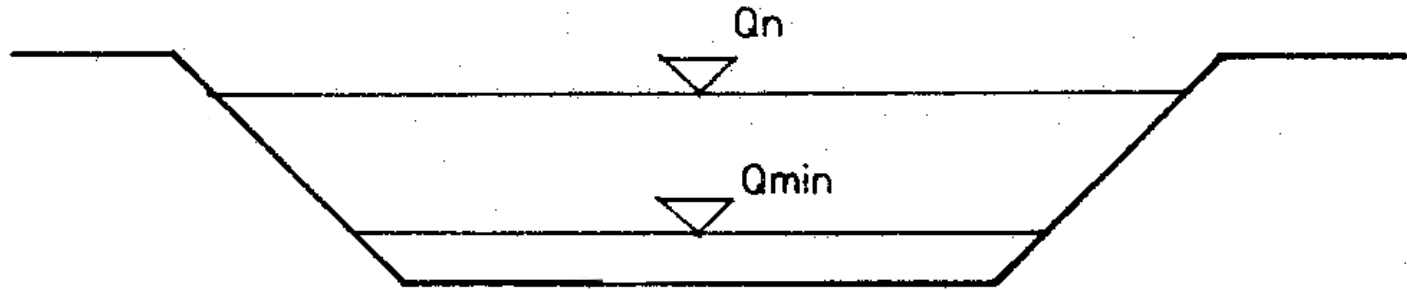


b

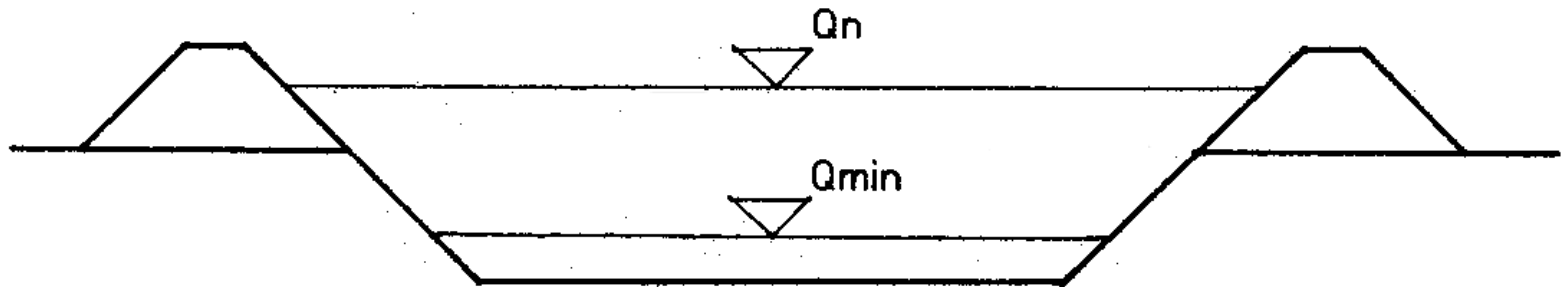


# Příčný profil ÚT

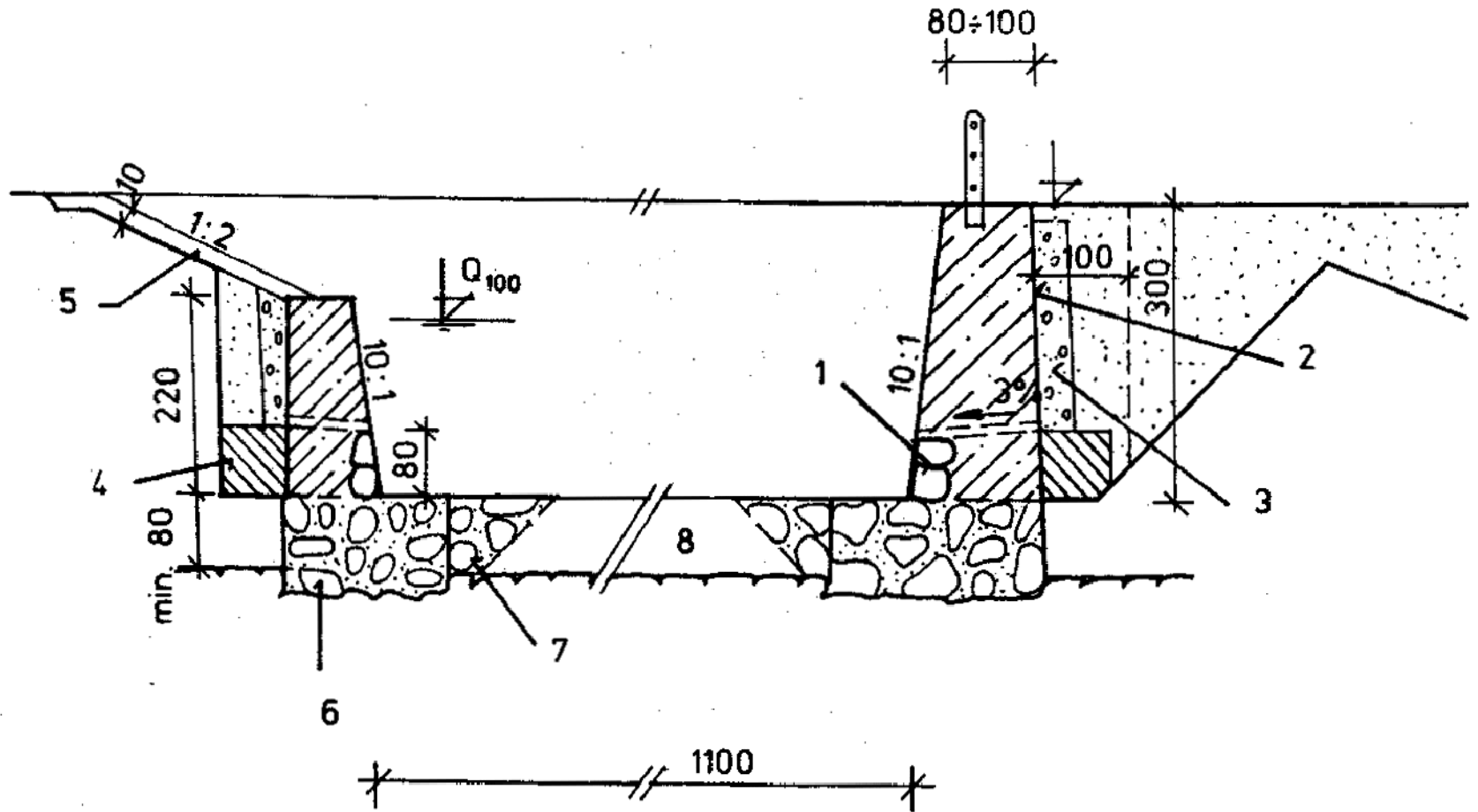
a



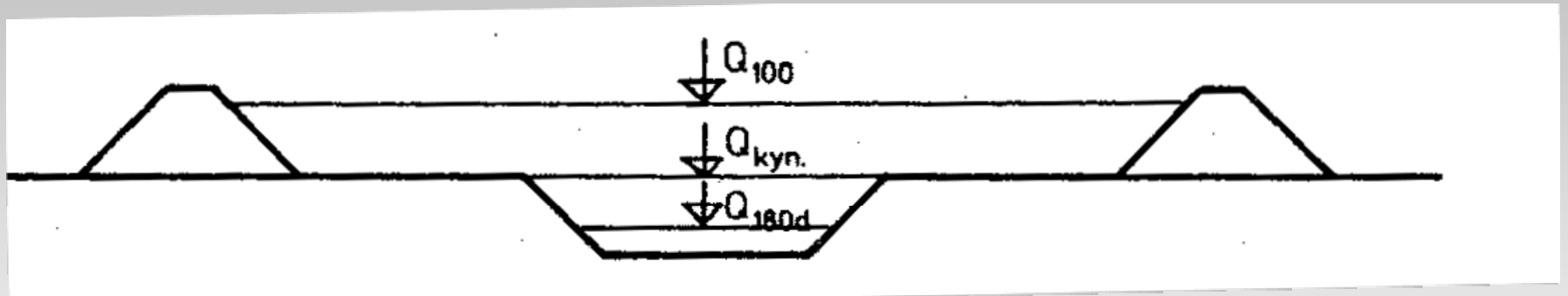
b



# Příčný profil ÚT

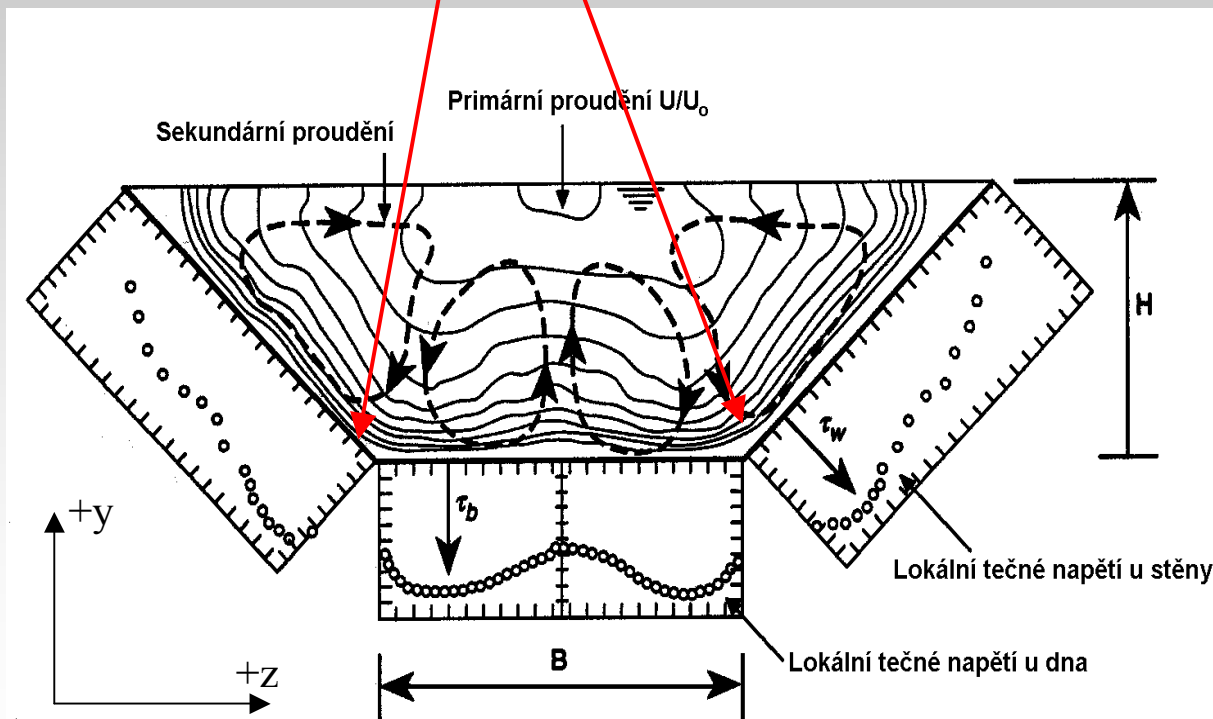


# Příčný profil ÚT



# Opevnění koryt

V některých částech obvodu koryta není splněna podmínka dostatečné odolnosti materiálu koryta vůči namáhání proudící vodou, proto je zde třeba koryto zabezpečit proti erozi.



# Opevnění koryt

Z ekologického, ale i ekonomického hlediska rovněž uvažujeme s větší mírou odolnosti břehů než je tomu v případě dna.

Proto při návrhu opatření volíme rozdílné stupně jejich spolehlivosti, v praxi to znamená různé hodnoty návrhových průtoků.

Návrhový průtok pro odolnost dna	$Q_1-Q_5$
Návrhový průtok pro odolnost svahů břehu a berem <ul style="list-style-type: none"><li>• pro neopevněný břeh a bermu</li><li>• pro opevněný břeh a bermu</li></ul>	$Q_5-Q_{20}$ $Q_{20}-Q_{100}$
Návrhový průtok pro odolnost ochranných hrází	$Q_{100}$ až $Q_{200}$

# Opevnění koryt

Menší odolnost dna plyne z požadavku umožnění přirozeného přetváření dna, které odpovídá režimu toku. Přirozeně se vytvářejí úseky brodů a tůní, dochází k přirozenému vytrídění velikosti částic a vzniku přirozené dlažby „armouring“.

Břehy koryt se opevňují (pokud se opevňují) s ohledem na možnost vzniku nátrží, podemílání břehů a jejich devastace, což vede k ohrožování okolních pozemků i stability stavebních objektů.

Opevnění břehů představuje z pohledu správce toku vloženou investici, kterou je třeba ochránit s vyšší mírou spolehlivosti.

# **Výpočet výmolu v oblouku**

**V obloucích dochází vlivem příčného proudění k morfologickým změnám příčného profilu;**

**konkávní břeh – výmol**

**konvexní břeh – nános**

**Stanovení hloubky výmolu v konkávní části břehu a nánosů v konvexní části břehu. Výpočet se provádí pro stejný průtok, pro nějž byla stanovena odolnost břehů.**

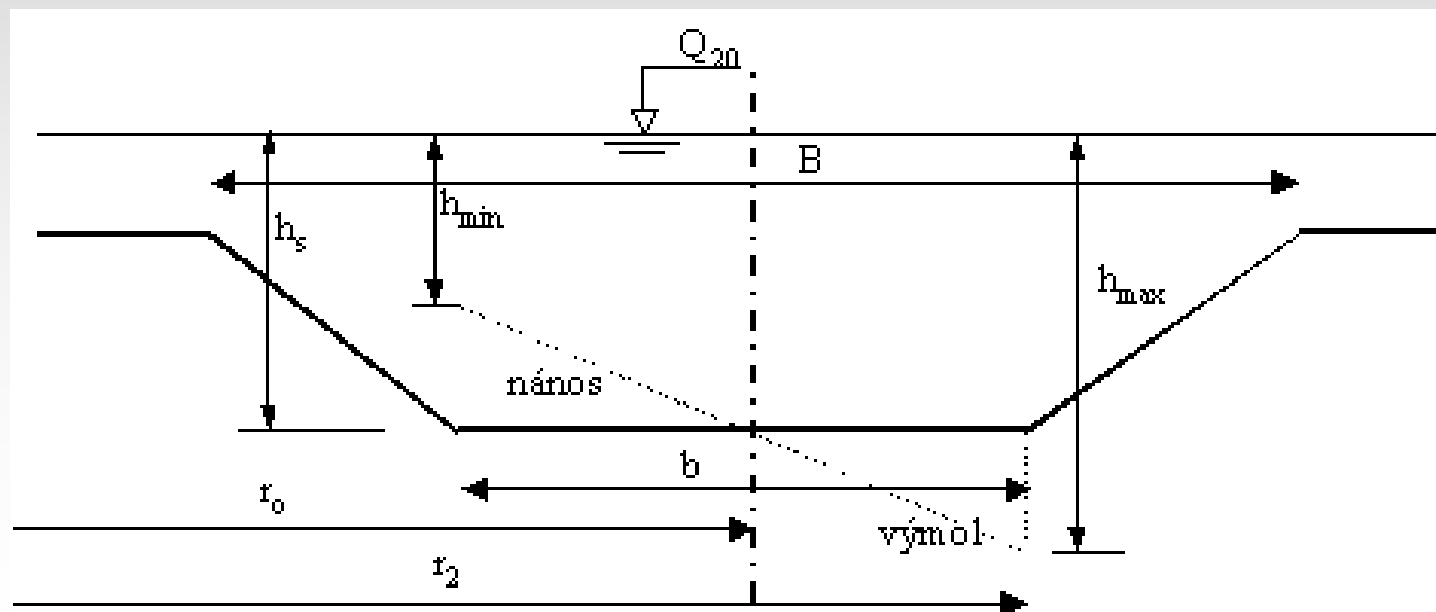
**Na základě prognózy výmolu v patě svahu je nutno navrhnout její odpovídající technické zajištění.**



# Výpočet výmolu v oblouku

Vztah dle *Apmanna*

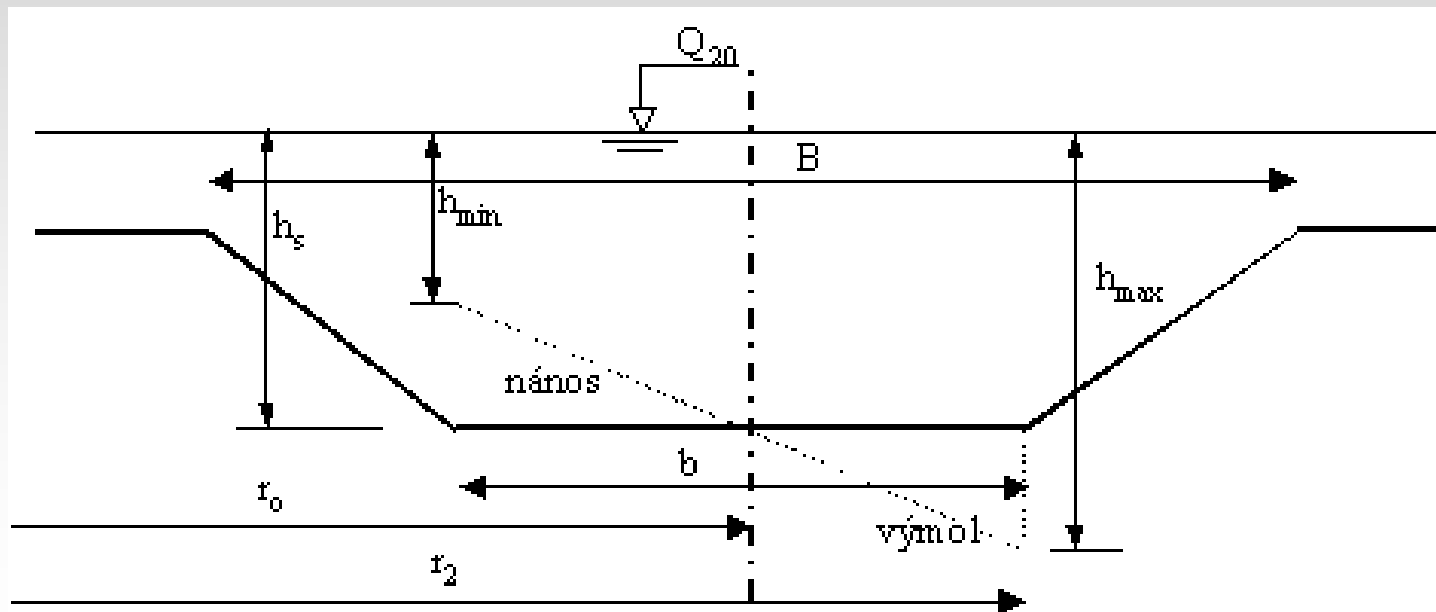
$$\frac{h_{\max}}{h_s} = \frac{3,5 \frac{B}{r_2}}{1 - \left(1 - \frac{B}{r_2}\right)^{3,5}}$$



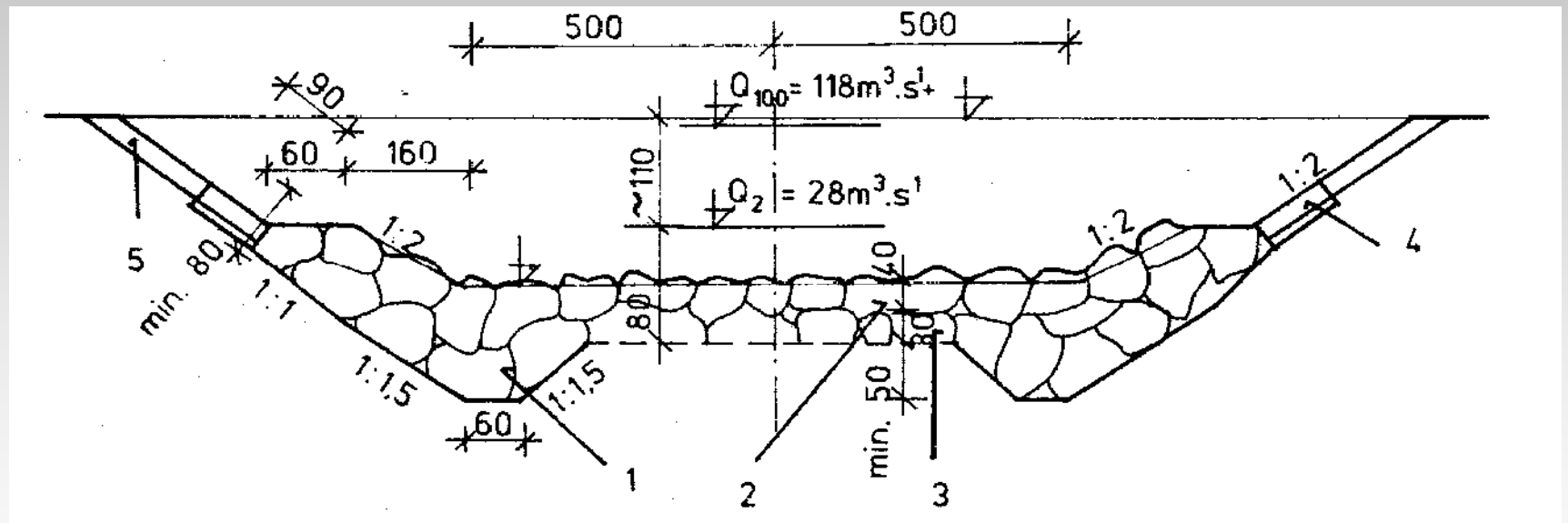
# Výpočet výmolu v oblouku

dle KHH (Lužnice, Blanice)

$$\frac{h_{\max.\min}}{h_s} = \left( 1 \pm \frac{b}{2r_{o\min}} \right)^{5,5\text{tg}\varphi}$$



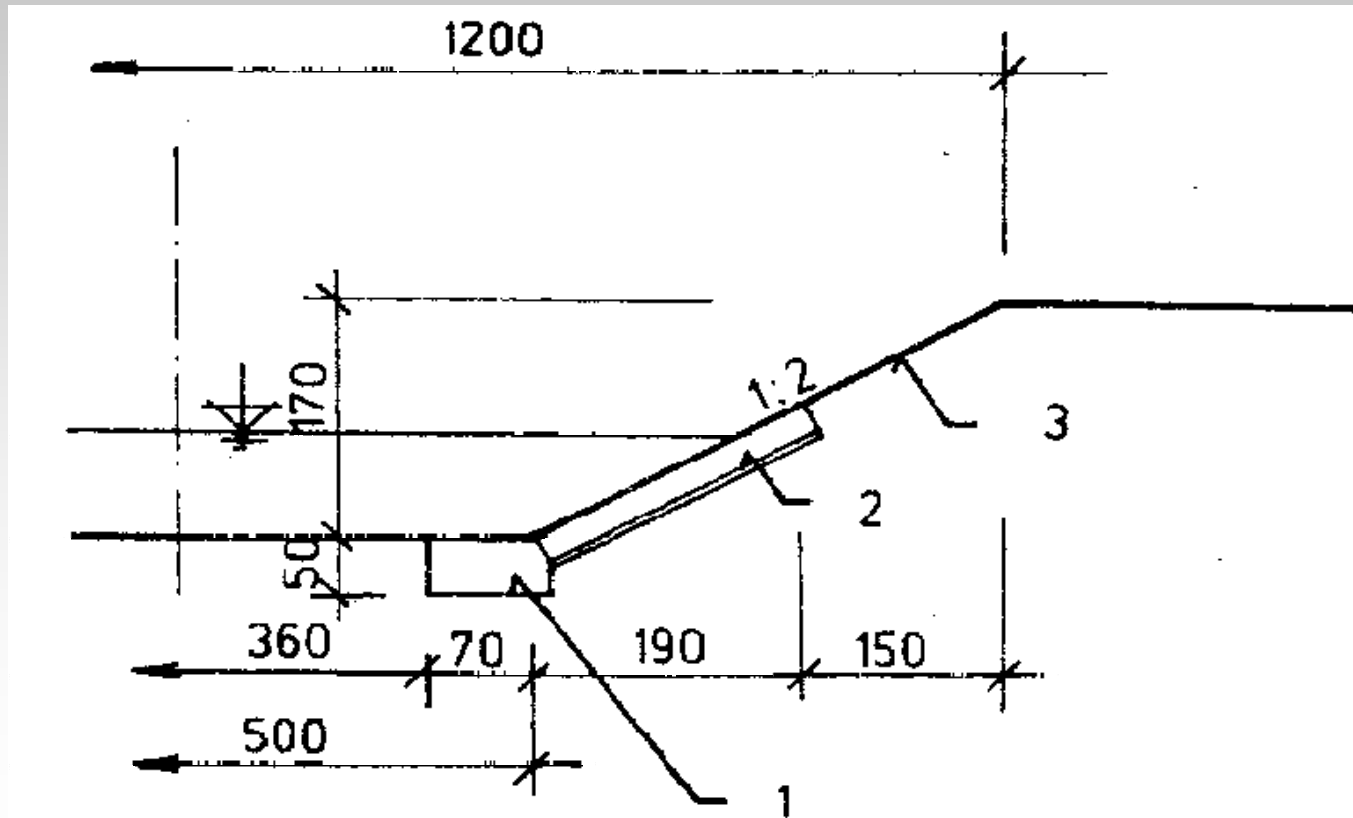
# Opevnění koryt



Příklad opevnění dna i svahů koryta

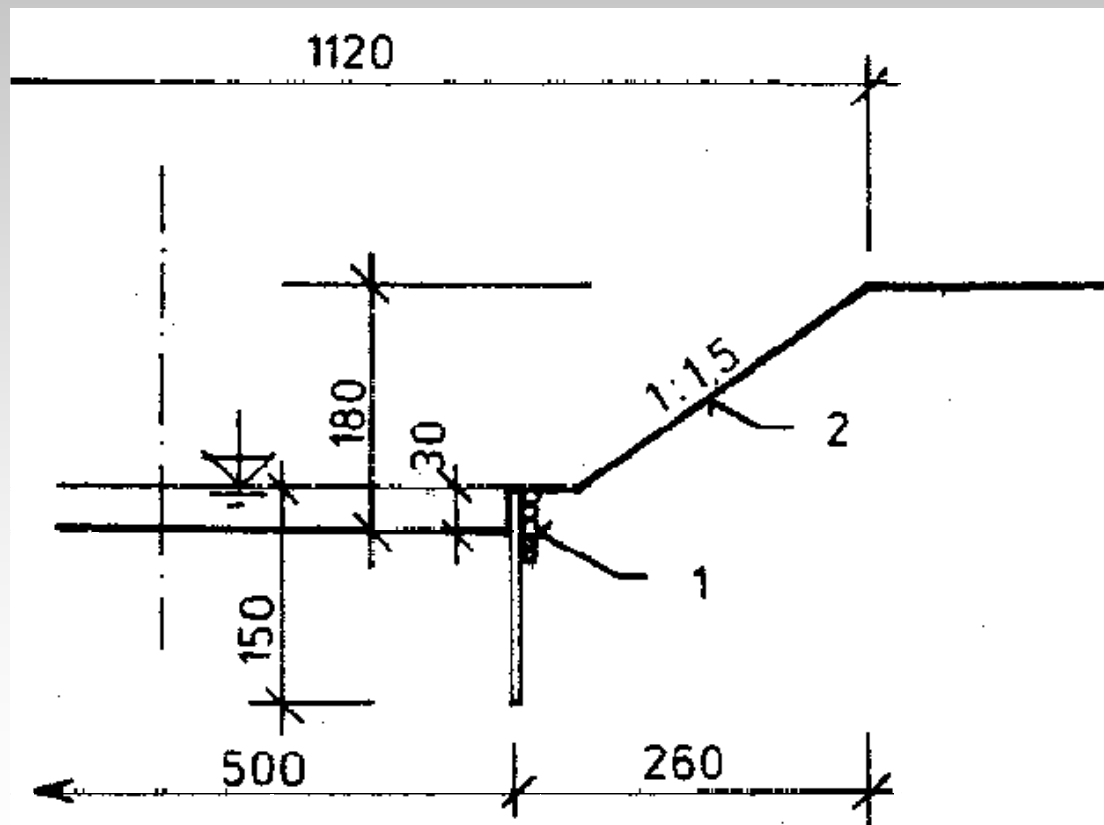
# Opevnění koryt

Patka + dlažba (trávobetonová) + osetí



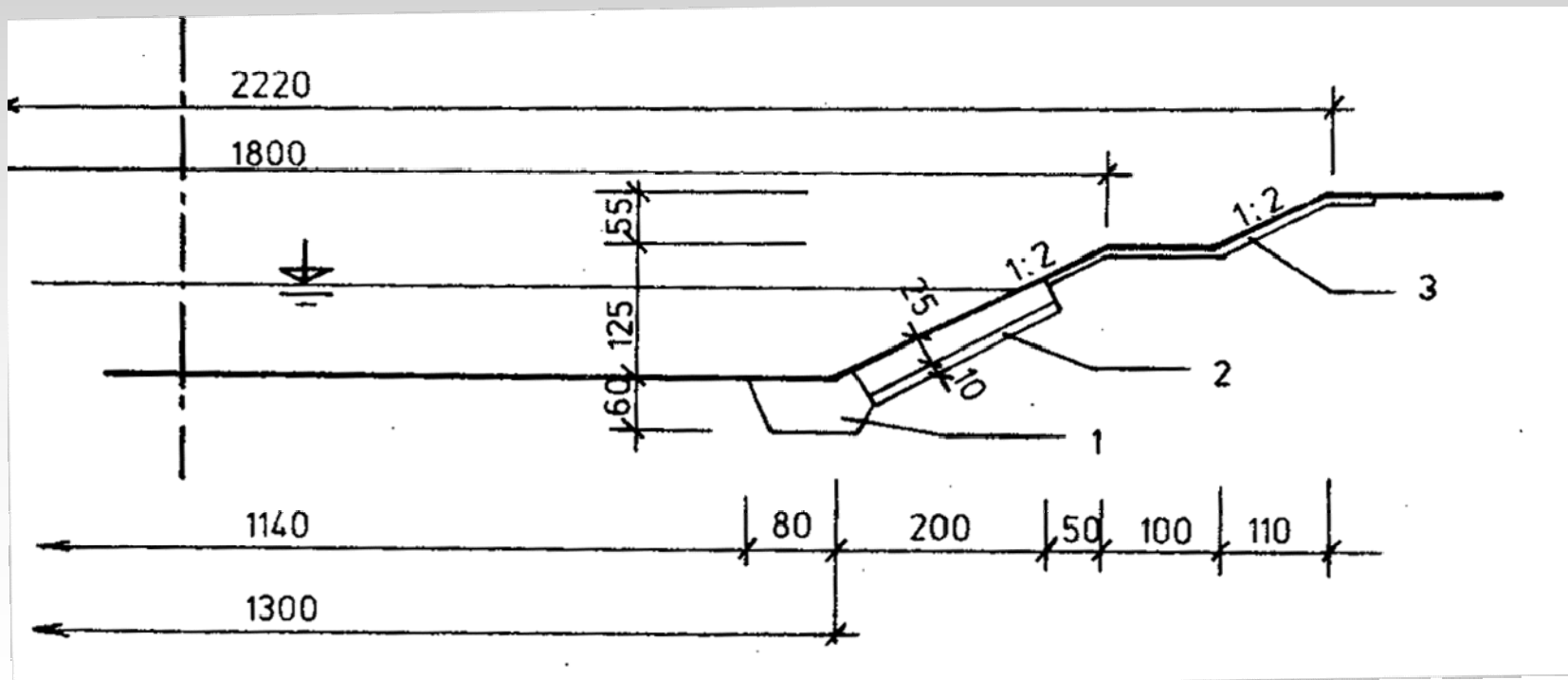
# Opevnění koryt

Lat'ový plůtek + osetí



# Opevnění koryt

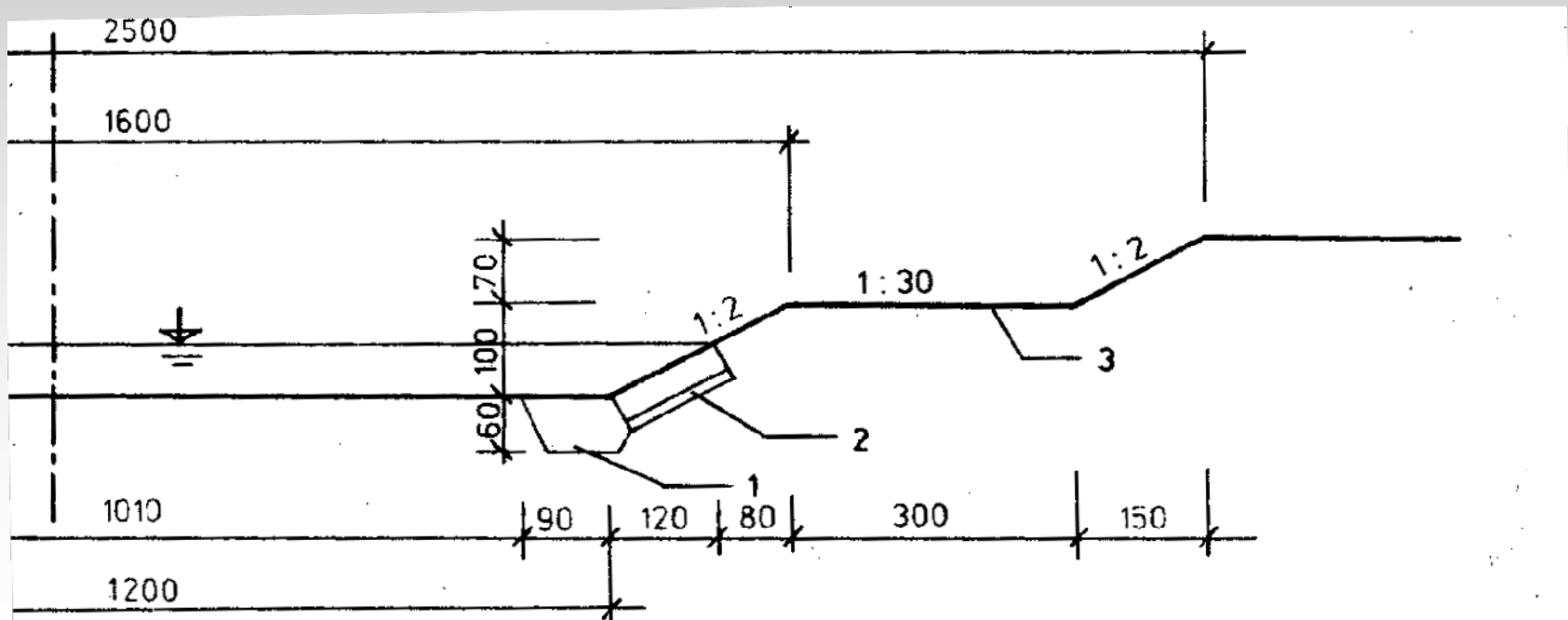
Příklad opevnění složeného koryta 1 –  
horní část opevněna drnováním  
dolní část zához. patka + dlažba



# Opevnění koryt

Příklad opevnění složeného koryta 2 –

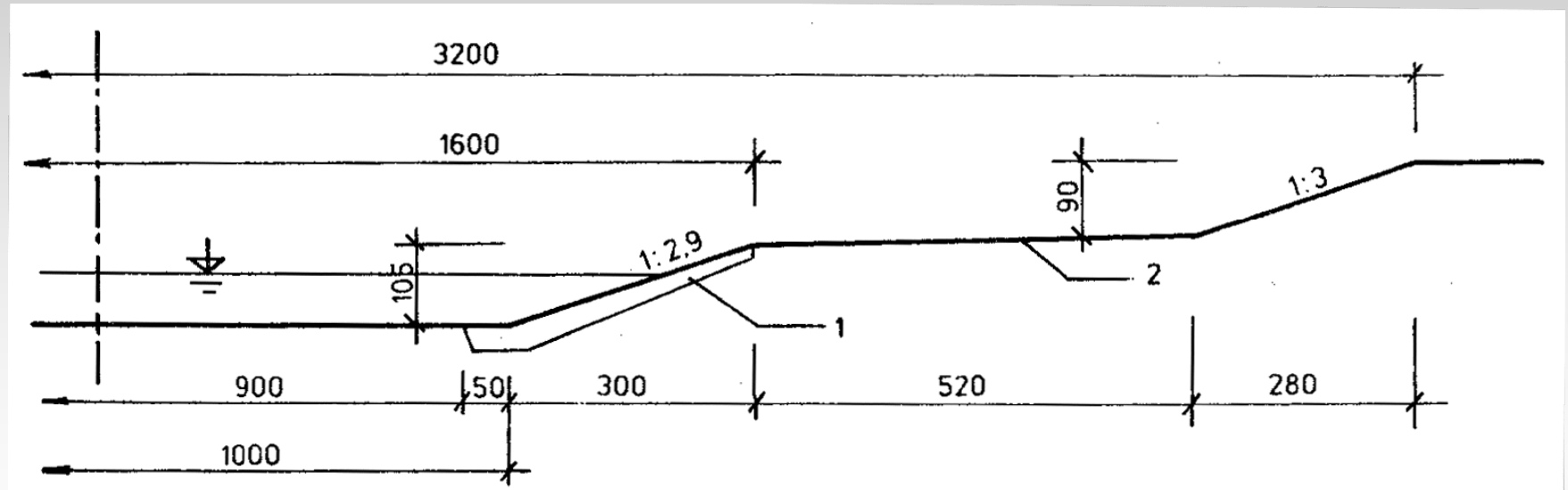
- horní část oseta
- dolní část zához. patka + dlažba



# Opevnění koryt

Příklad opevnění složeného koryta 3 –

- dolní část makadam. pohoz
- horní část oseta





# Opevnění koryt – vzorový příčný profil

M 1:50

Km	i <sub>o</sub>
0,095 ÷ 0,135 ...	1,5 ‰
0,175 ÷ 0,195 ...	1,5 ‰
0,275 ÷ 0,295 ...	2,2 ‰

n = 0,03

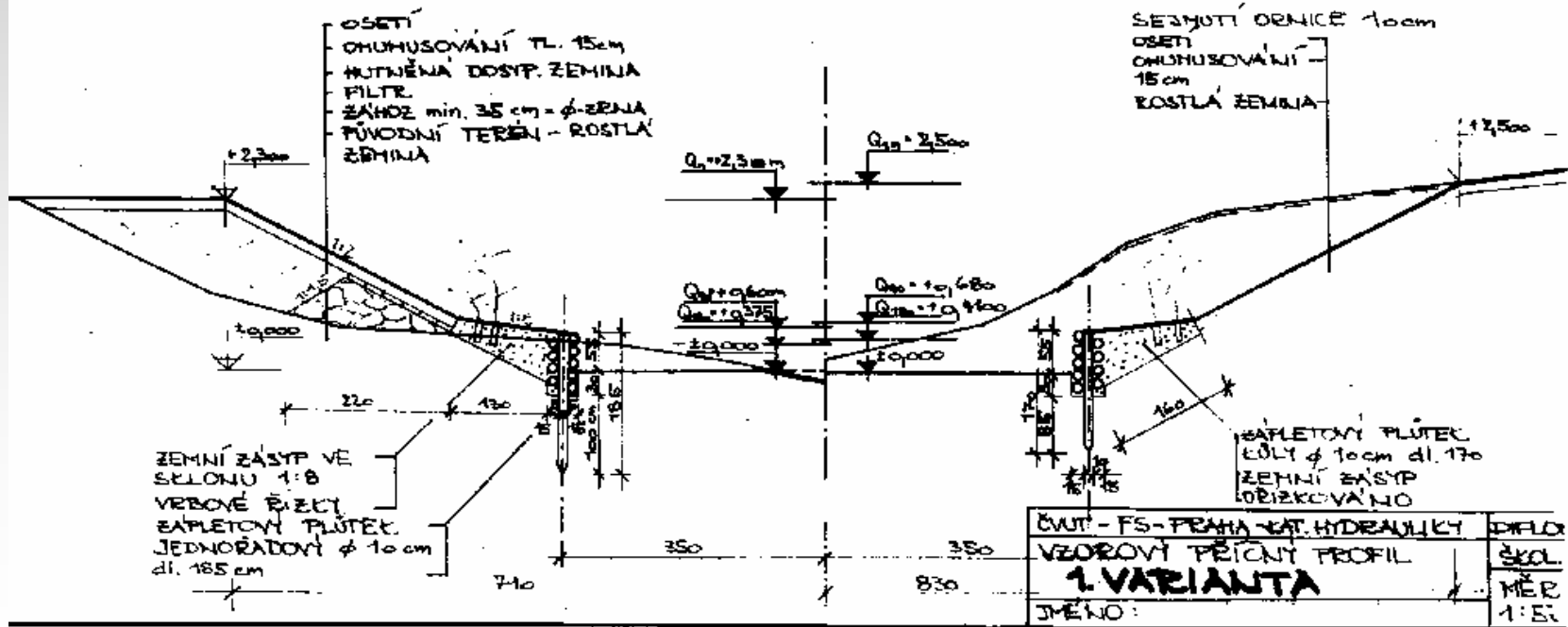
Km	i <sub>o</sub> [‰]	Km
0,0720 ÷ 0,0850 ...	1,5	0,4700 ÷ 0,4850 ...
0,1450 ÷ 0,1650 ...	1,5	0,5500 ÷ 0,5650 ...
0,1750 ÷ 0,1940 ...	1,5	0,6200 ÷ 0,6350 ...
0,2300 ÷ 0,2480 ...	2,2	0,6560 ÷ 0,6740 ...
0,3270 ÷ 0,3600 ...	2,2	0,7200 ÷ 0,7530 ...
0,3870 ÷ 0,3680 ...	2,2	0,7900 ÷ 0,8230 ...
0,4180 ÷ 0,4500 ...	2,9	0,8900 ÷ 0,9230 ...

n = 0,03

## VZOROVÝ PŘÍČNÝ PROFIL

Konkáva

Konvexa



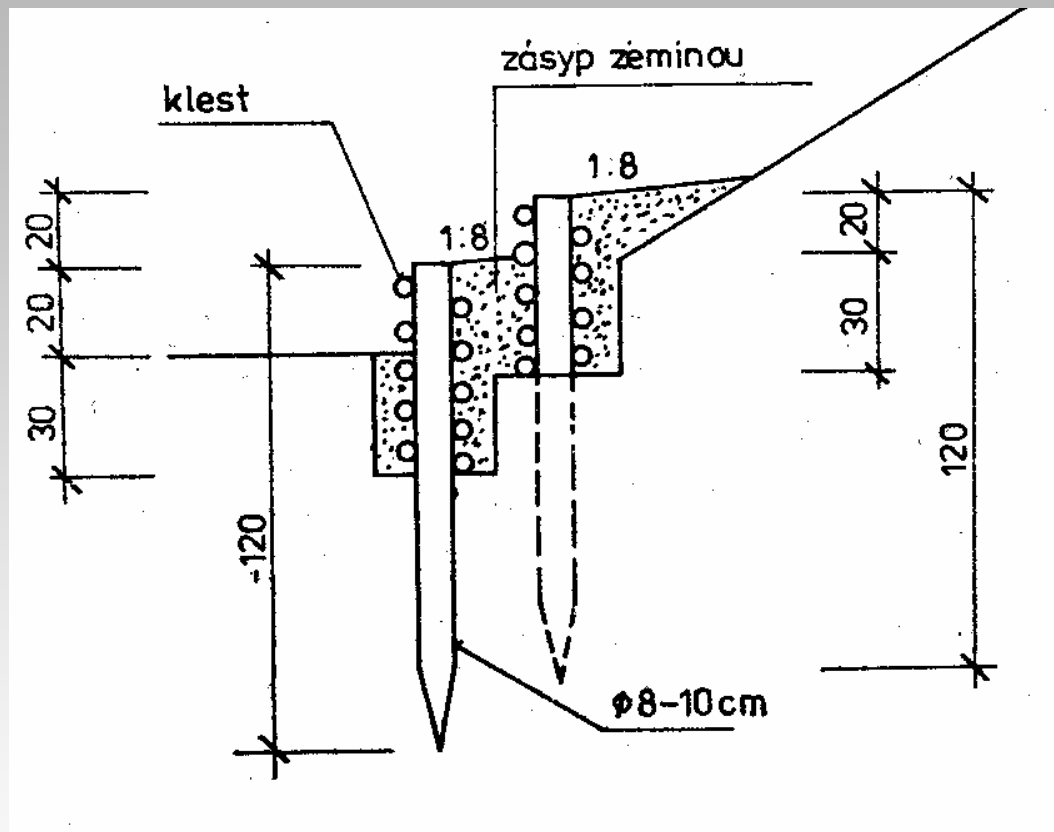
# Opevnění koryt – typy opevnění

Podle použitého materiálu :

vegetační opevnění – opevňovací funkci plní vegetační porost (tráva a dřevinný břehový porost zejména prostř. kořenového systému – nemůže plnit funkci ihned), estetický účinek, je třeba pravidelná údržba,

nevegetační opevnění – plní funkci okamžitě, snadnější údržba, ekonomicky nákladné, při zvýšeném namáhání větší rozsah škod

# Opevnění koryt – vegetační opevnění



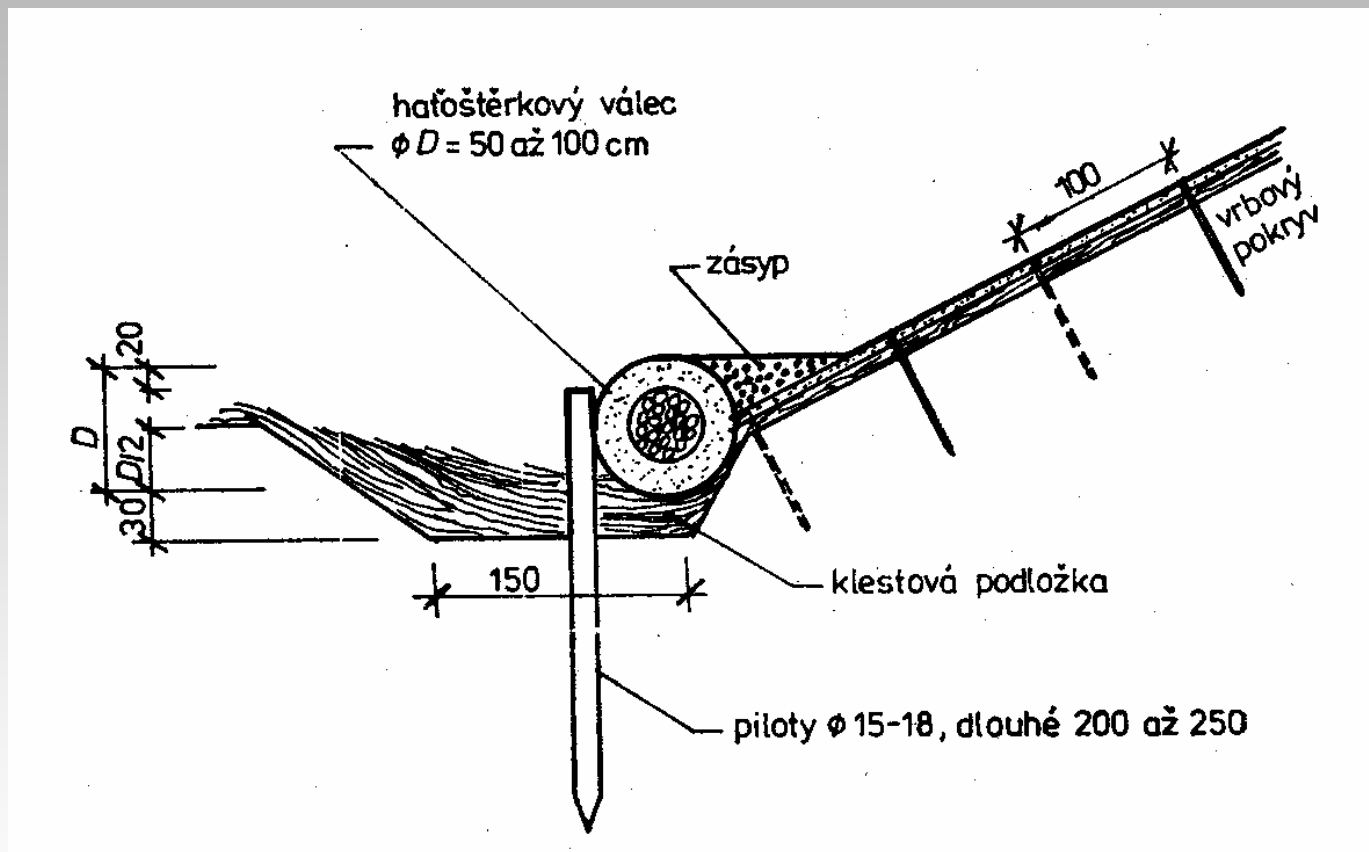
Zápletový plůtek – dvouřadý (záplet z vrbových prutů)

# Opevnění koryt – vegetační opevnění



Travní porost- založení osevem - geotextilie

# Opevnění koryt – vegetační opevnění



Hářoštěrkový válec – kámen s vrbovým opletem



# Opevnění koryt – vegetační opevnění



Haťoštěrkový válec – výroba

# Opevnění koryt – vegetační opevnění



Haťoštěrkový válec – výroba



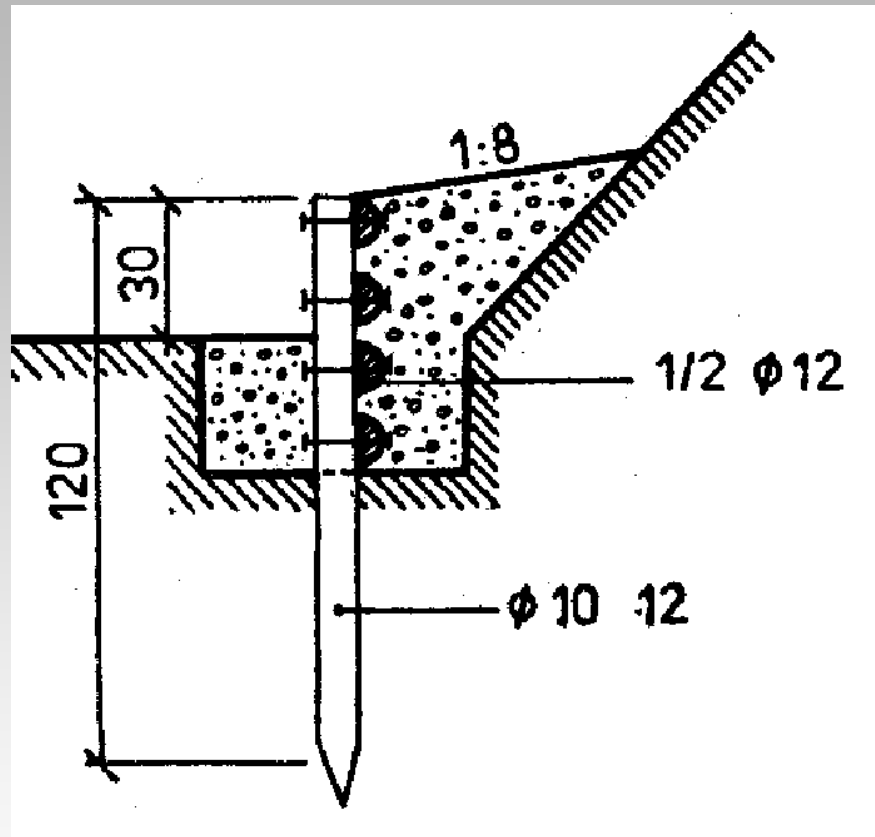
# Opevnění koryt – vegetační opevnění



Hat'oštěrkový válec – konečná podoba



# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



Lat'ový plůtek – je polovegetačním typem  
opevnění

# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



Latový plůtek těsně po výstavbě

# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



Lat'ový plůtek – zakončení (navazuje srubovina)



# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



Lat'ový plůtek – 3 roky po výstavbě

# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



Srubové konstrukce



# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



Srubové konstrukce ....

# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



..... vhodné pro sanaci nátrží



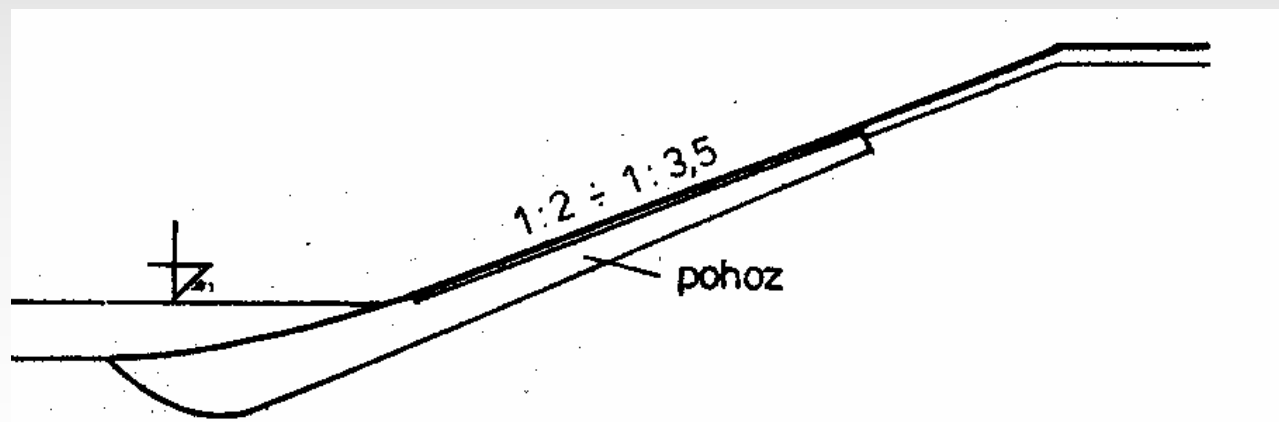
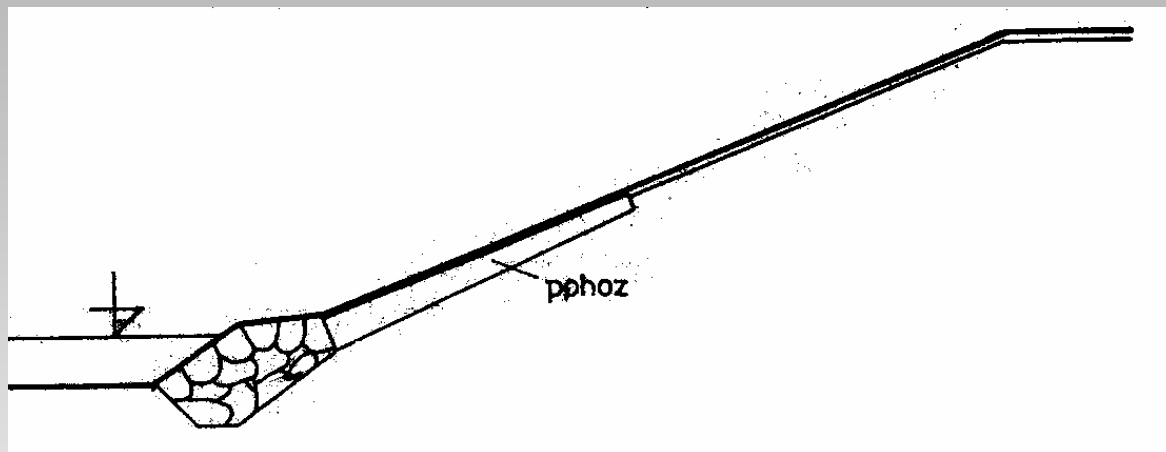
# Opevnění koryt – polovegetační opevnění



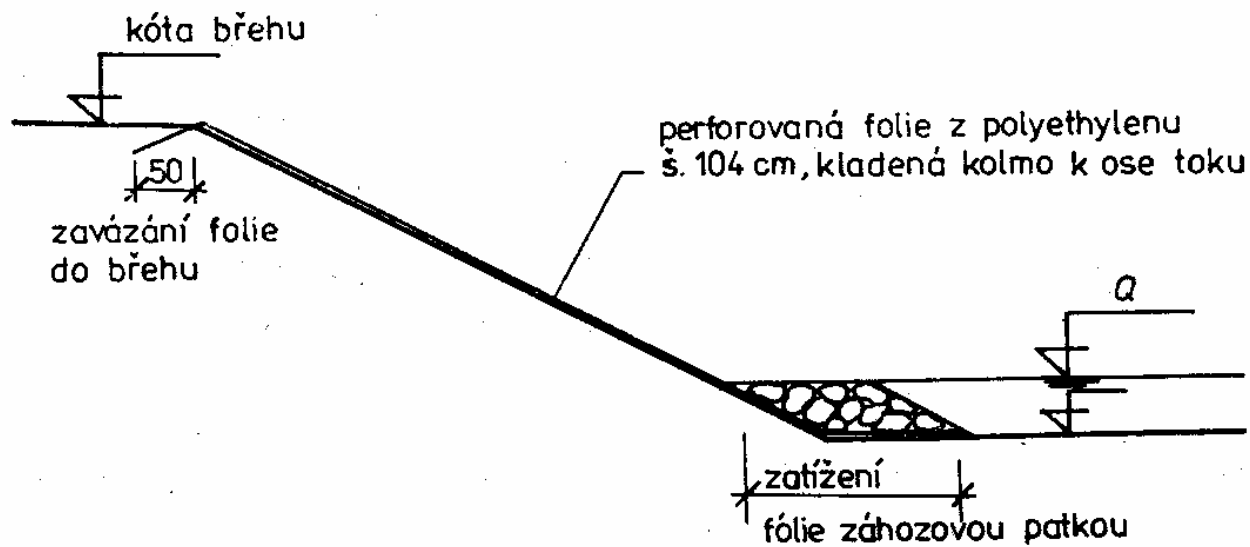
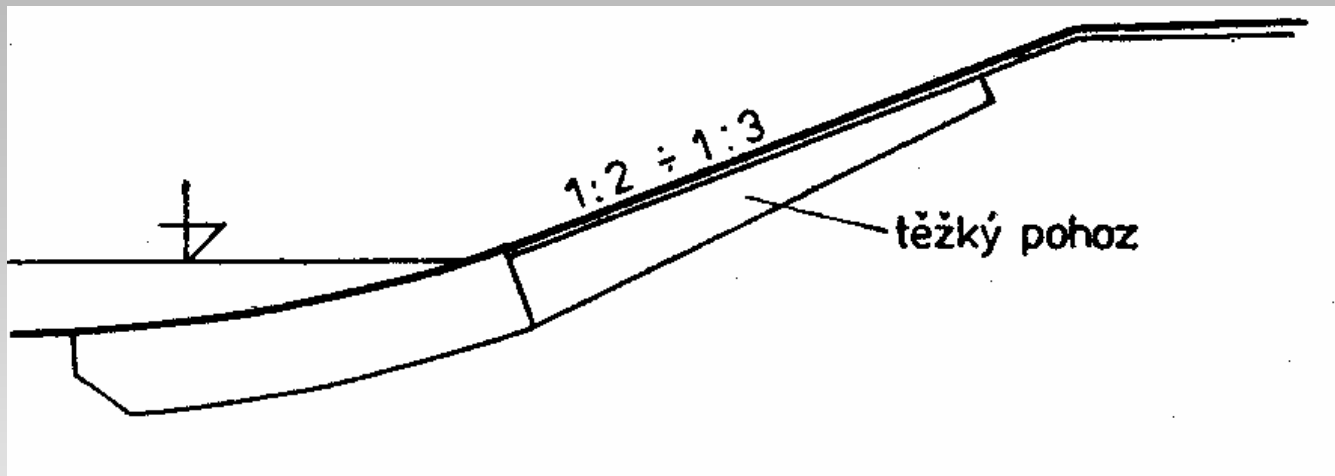
..... vhodné pro sanaci nátrží



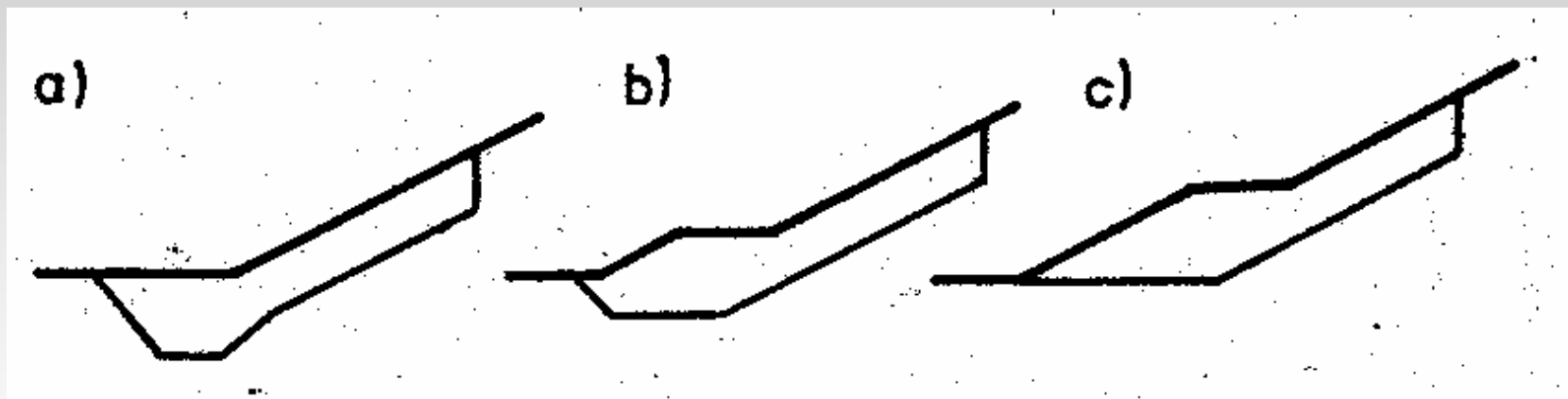
# Opevnění koryt – nevegetační opevnění



# Opevnění koryt – nevegetační opevnění



# Opevnění koryt – nevegetační opevnění - patky



# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy



# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy





# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy



# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy





# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy





# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy



# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy





# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy



# Objekty na VT – funkce, zásady návrhu, poruchy



# **Odezva VT na technické zásahy při úpravách**

# Revitalizace VT - význam

## Význam revitalizací upravených VT spočívá

- V obnově přírodních procesů (morfologických, biologických)
- Ve vytvoření vhodných stanovištních podmínek pro životní potřeby živočišných a rostlinných společenstev
- Ve zvýšení estetického účinku při působení na člověka
- V alternativním způsobu využití pro účely zvýšení odtokové retence, rekreační využití, efekty transformace povodňové vlny

!!!Revitalizace většinou vždy znamená snížení míry povodňové ochrany v místě revitalizačního zásahu, představuje ale pozitivní efekt jednak ve snížení kulminačního průtoku pod úpravou a jednak ve zpomalení koncentrace odtoku z povodí!!!



# **Revitalizace VT - význam**

- **Revitalizace s výše uvedenými účinky je prakticky nepřijatelná pro území uvnitř městské zástavby**
- **Pro městskou zástavbu je tedy kromě povodňové ochrany a stabilizace koryta hlavním cílem „revitalizace“ odstranění hygienických a estetických závad při zachování provozně-technické způsobilosti koryta včetně všech objektů.**

# Revitalizace UT - příklady



Původní stav

Příklad revitalizace UT v extravilánu –  
zvýšení členitosti ve směrovém vedení  
toku

Stav 3 roky po revitalizaci





# Revitalizace UT - příklady

Zvýšení členitosti uvnitř koryta

