

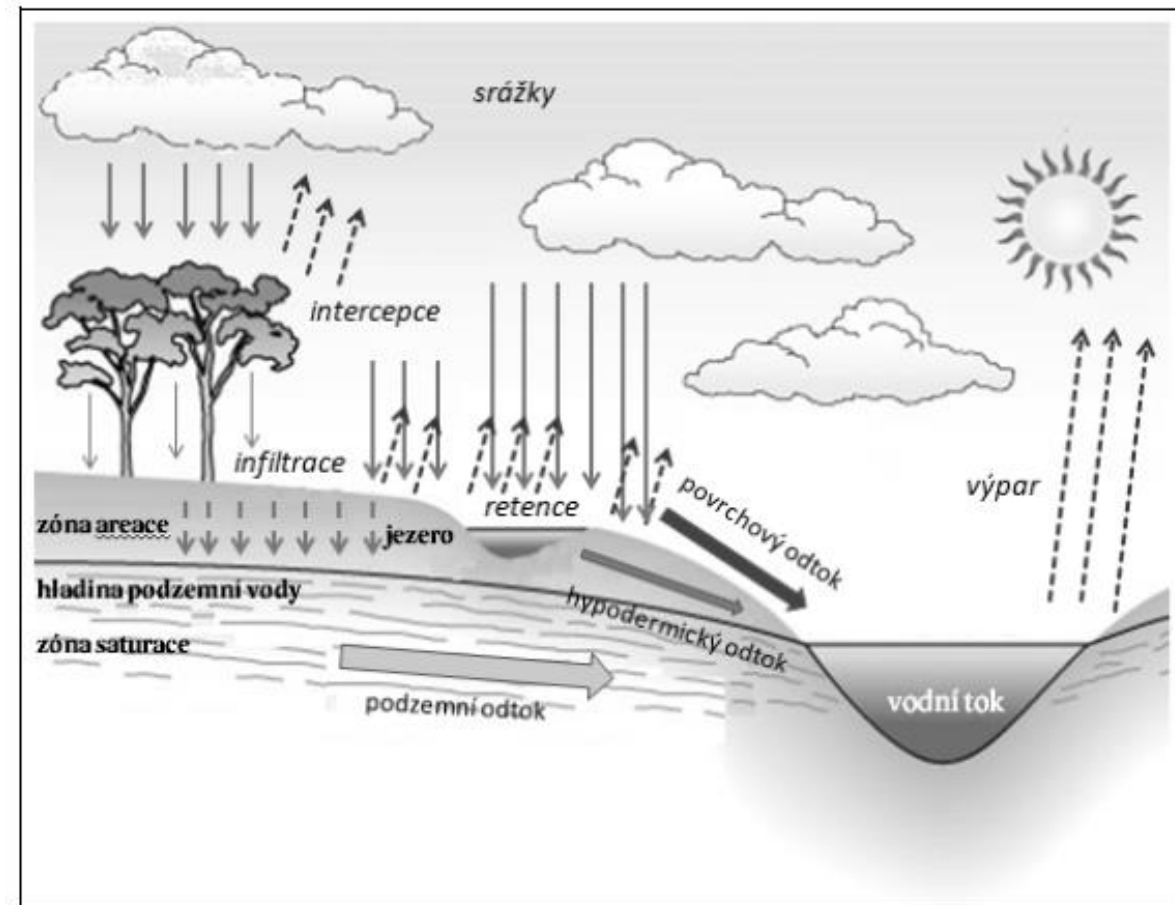


Odtok - meranie a vyhodnocovanie

Mgr. Jozef Šupinský PhD.

Zrážkovo-odtokový proces v povodí

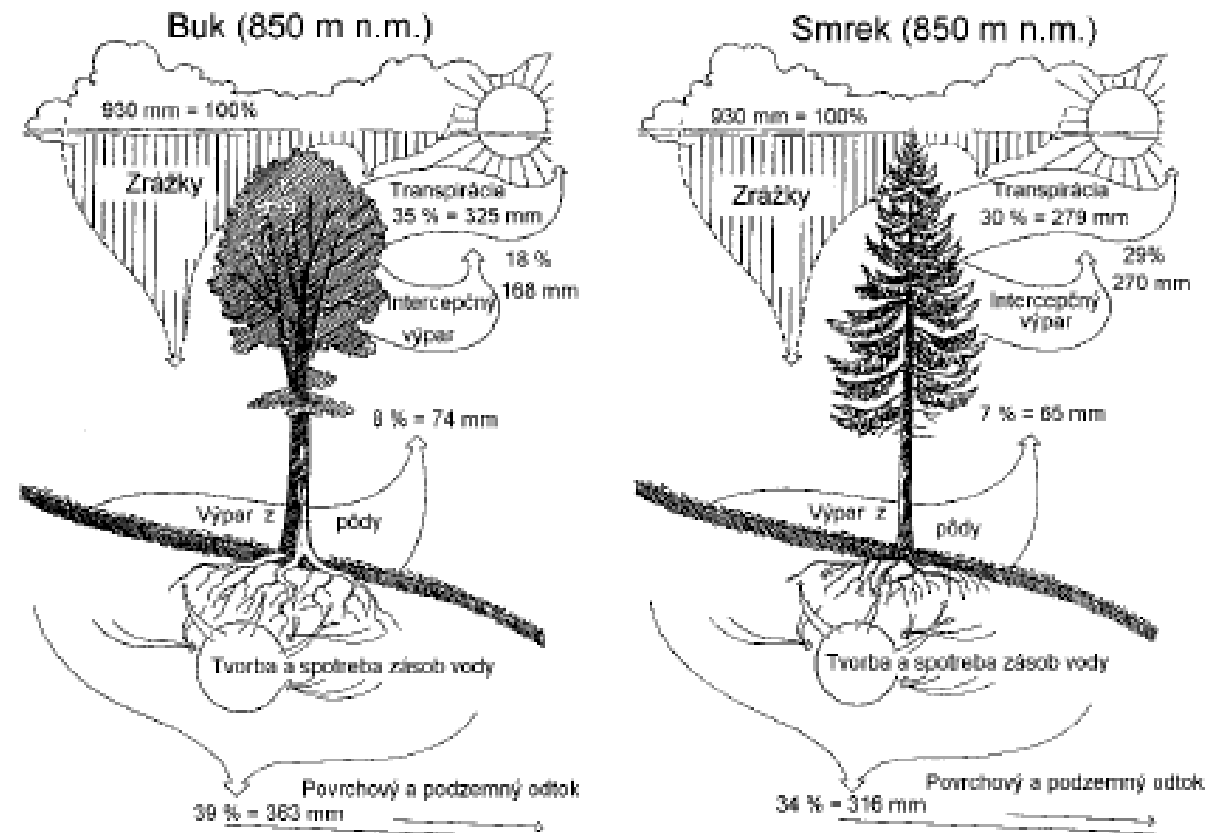
- ▶ **Atmosférické zrážky** sú základným vstupným komponentom zrážkovo-odtokového procesu v povodí
- ▶ **Intercepcia** – zachytenie určitého množstva zrážok na vegetácii a iných objektoch
- ▶ **Retencia** – hromadenie zrážok na neporéznom povrchu a ich následný povrchový odtok do vodného toku
- ▶ **Infiltrácia** - vsiaknutie časti zrážok do pôdy odkiaľ sa pomocou **hypodermického** alebo **podzemného odtoku** dostávajú do vodného toku
- ▶ **Evaporácia** – výpar zrážok priamo z povrchu
- ▶ **Transpirácia** - zrážky sa stanú súčasťou organickej hmoty rastlín a organizmov, z ktorej sa uvoľňujú dýchaním



Zrážkovo-odtokový proces v povodí

- **Intercepcia** – proces, pri ktorom je voda zo zrážok zadržaná na predmetoch alebo vegetácii (napr. listoch rastlín, kmeňoch stromov), táto voda sa časom buď **vyparí** späť do atmosféry, alebo postupne **stečie** či odkvapká na povrch (v prípade stromových porastov ide o tzv. korunové zrážky)
- Vysoká intercepčná schopnosť trávnych porastov a dťatélín umožňuje ich využívanie ako opatrenia proti erózii pôdy

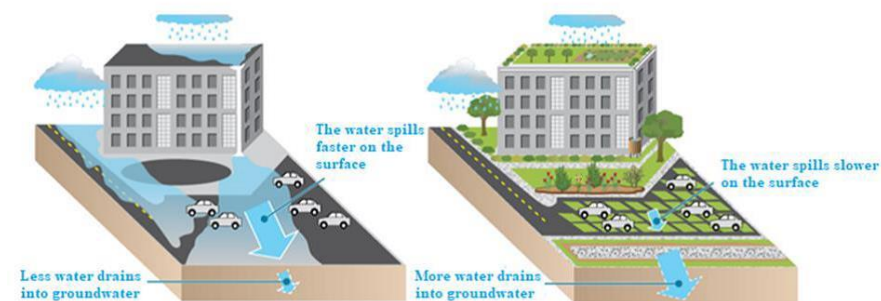
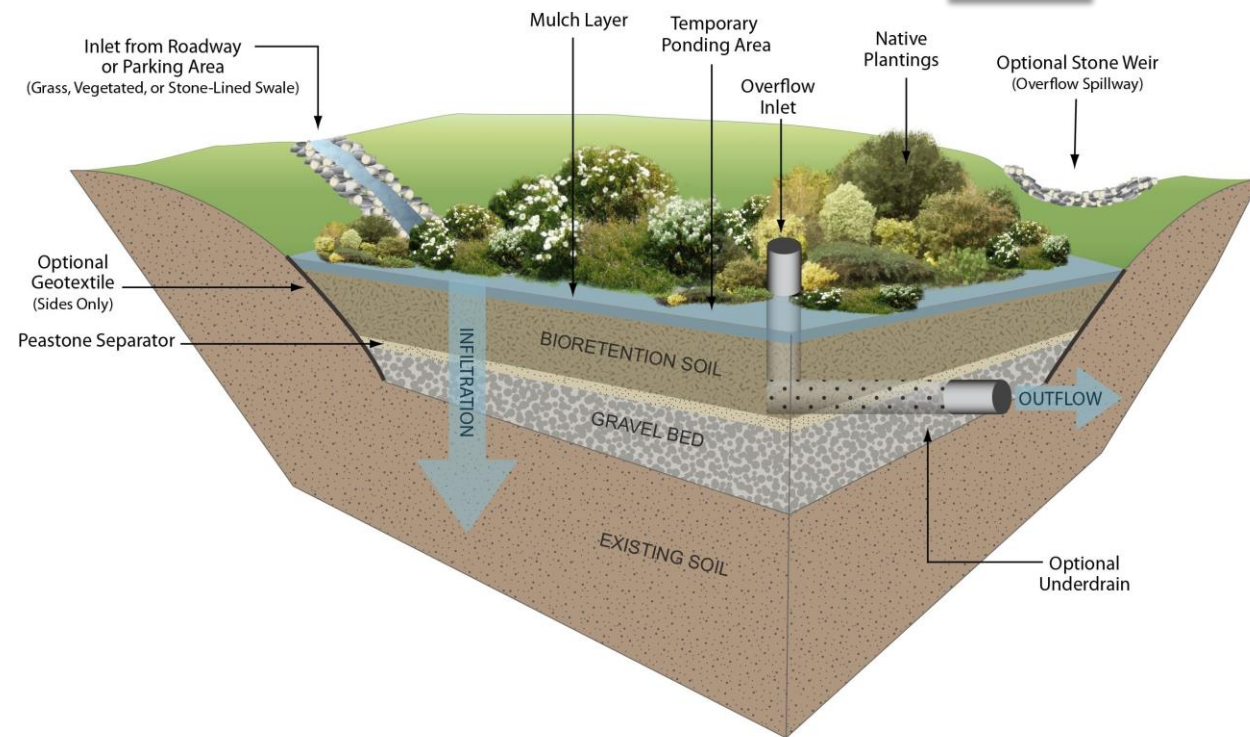
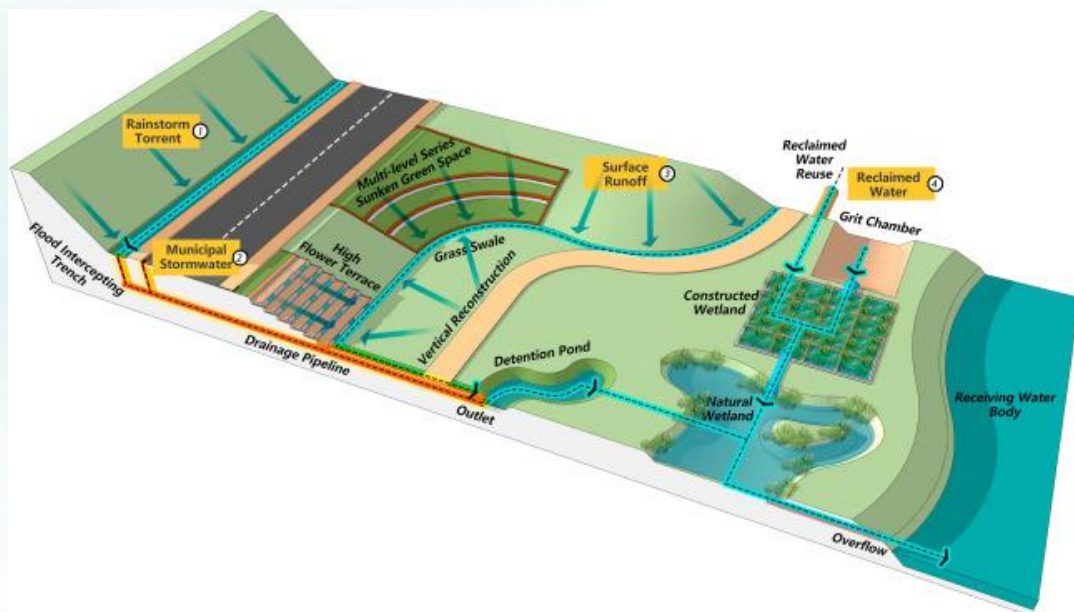
Typ dreviny	Množstvo zrážok zadržaných v korunách (%)	Množstvo zrážok stekajúcich po kmeni (%)	Celková intercepcia (%)
Smrek	43,5	2,3	41,1
Borovica	29,5	0,7	27,8
Javor	29,5	8,0	22,5
Dub	22,8	1,7	21,1
Buk	26,3	16,8	19,5



Obrázok 1 Kolobeh vody a vodná bilancia dospelého bukového a smrekového porastu na príklade stredohorskej lokality Poľana-Hukavský grúň (STŘELCOVÁ, MINĐÁŠ 2000)

Zrážkovo-odtokový proces v povodí

- **Retencia** - zadržanie vody v povodí. Voda z atmosférických zrážok môže dopadnúť na hladinu jazera, rybníka alebo vyplniť terénne depresie. Z týchto depresí sa voda môže postupne **vypariť**, **odtiecť** alebo sa **infiltrovať** do podzemia



Zrážkovo-odtokový proces v povodí

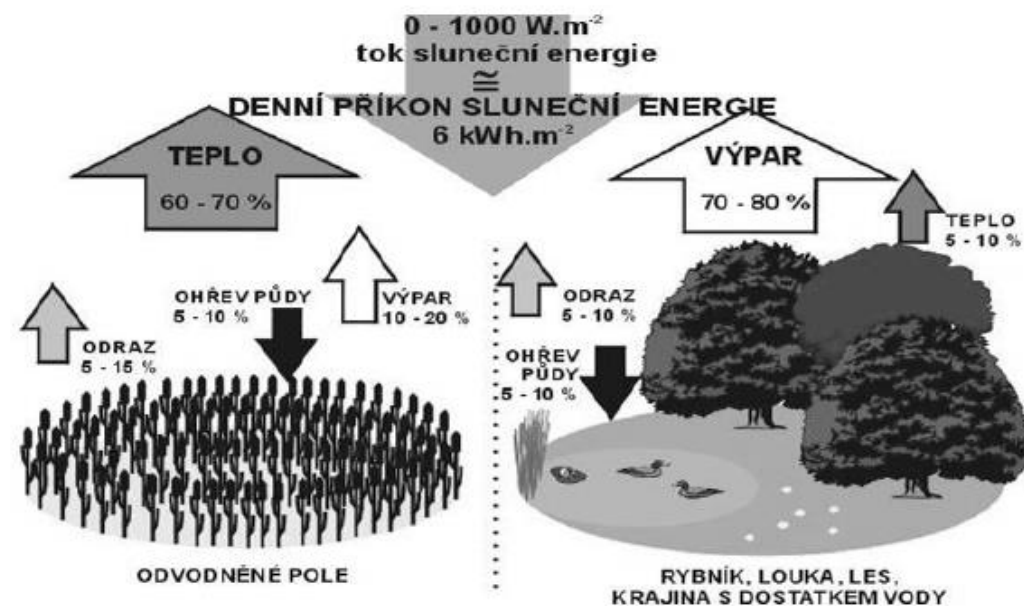
- ▶ **Infiltrácia** – proces prevádzania povrchovej vody do pásma prevzdušnenia (aerácie) pôdneho profilu
- ▶ Z pásma aerácie sa voda vďaka koreňovému systému rastlín môže transportovať do rastlinných tiel a odtiaľ procesom transpirácie dostať späť do ovzdušia
- ▶ Časť infiltrovanej vody prejde až do pásma **saturácie** a doplní tak zásoby podzemnej vody
- ▶ **Rýchlosť infiltrácie** a množstvo infiltrujúcej vody sa odvíja od fyzikálnych vlastností pôdy:
 - ▶ typ a druh pôdy
 - ▶ vegetačný kryt
 - ▶ vlhkosť pôdy (množstvo vody v pôdnom profile)
 - ▶ intenzita a trvanie zrážok
 - ▶ chemické látky pridané do pôdy
 - ▶ hĺbka do ktorej je voda schopná preniknúť (v závislosti na množstve a veľkosti pôdnych kapilár)

Pôda a vegetácia	Veľkosť infiltrácie (mm/h)
pôda s lesným porastom	100–200
pôda s trvalým trávny porastom	10–70
pôda bez vegetácie	0–4

Pôdny druh	Veľkosť infiltrácie (mm/h) s vegetačným krytom	Veľkosť infiltrácie (mm/h) bez vegetačného krytu
hlinitopiesčitá	50	25
piesčito-hlinitá	25	13
hlinitá	15	8
ílovitohlinitá	5	3

Zrážkovo-odtokový proces v povodí

- ▶ **Výpar** - proces, pri ktorom dochádza k premene vody na vodnú paru. K tejto premene je nutné dodať energiu z atmosféry (vietor) alebo zo slnka (žiarenie)
- ▶ Druhy výparu:
 - ▶ **evaporácia** (fyzikálny výpar)
 - ▶ **transpirácia** (fyziologický výpar – výdaj vody povrchom rastlín, najmä listami v priebehu fotosyntézy a dýchania).
- ▶ **Evapotranspirácia (evaporácia+ transpirácia)** - celkový výpar vzťahujúci sa k určitému územiu
- ▶ Predstavuje **aktuálny výpar E_a** z určitého územia (povodia), ktorý zohľadňuje aktuálne podmienky stavu vody a prísun energie
- ▶ **Potenciálny výpar E_p** - maximálny možný výpar, ktorého je možné na určitom území v určitých klimatických podmienkach dosiahnuť
- ▶ Faktory ovplyvňujúce výpar: teplota vyparujúcej sa látky (vody), vlastnosti vzduchu (teplota, vlhkosť, tlak), prúdenie vzduchu, tvar povrchu (reliéf), vlastnosti pôdy (druh, farba, kultivácia, štruktúra), vegetačný pokryv (transpirácia)
- ▶ Typy výparu z hľadiska rozdielneho prostredia a podmienok:
 - ▶ **Výpar z vodnej hladiny E_0** (množstvo výparu závisí na veľkosti a hĺbke vodnej masy a taktiež na prúdení vzduchu)
 - ▶ **Výpar z pôdy** – ovplyvnený nasiaknutosťou pôdy vodou, z nasýtenej pôdy sa vyparuje 10–15 mm vody denne, z vysychajúcej pôdy je vyparovací horizont vo väčších hĺbkach a je zanedbateľný
 - ▶ **Výpar z vegetácie** – transpirácia
 - ▶ **Výpar zo snehu a ľadu**



Zrážkovo-odtokový proces v povodí

► Typy odtoku:

- **Povrchový odtok** – časť celkového odtoku, ktorá steká priamo po povrchu terénu. Môže byť **sústredený** (tzn. v rámci hydrografickej siete vodných tokov) alebo **nesústredený** (tzn. plošný splach – ron). Iné delenie hovorí o **sklonovom** v (uskutočňuje sa na sklonných plochách) a **riečnom** (v riečnej sieti)
 - **Podpovrchový odtok (hypodermický odtok)** – voda, ktorá sa infiltruje do podložia a odteká v rámci pôdného profilu tesne pod povrchom terénu a nie je v kontakte s podzemnou vodou
 - **Podzemný odtok** – je tvorený vodou, ktorá sa infiltruje a odteká podzemím, je oproti hypodermickému a povrchovému odtoku značne spomalený
- Povrchový odtok a hypodermický odtok, ktorý prebieha už pri zrážkach alebo bezprostredne po ich skončení, tvorí tzv. **priamy odtok** - podieľa sa na prechodnom zvýšení vodnosti riek
- Podzemný odtok spolu so spomaleným hypodermickým odtokom potom tvorí tzv. **základný odtok** - zásobuje vodou potoky a rieky v bezzrážkovom období

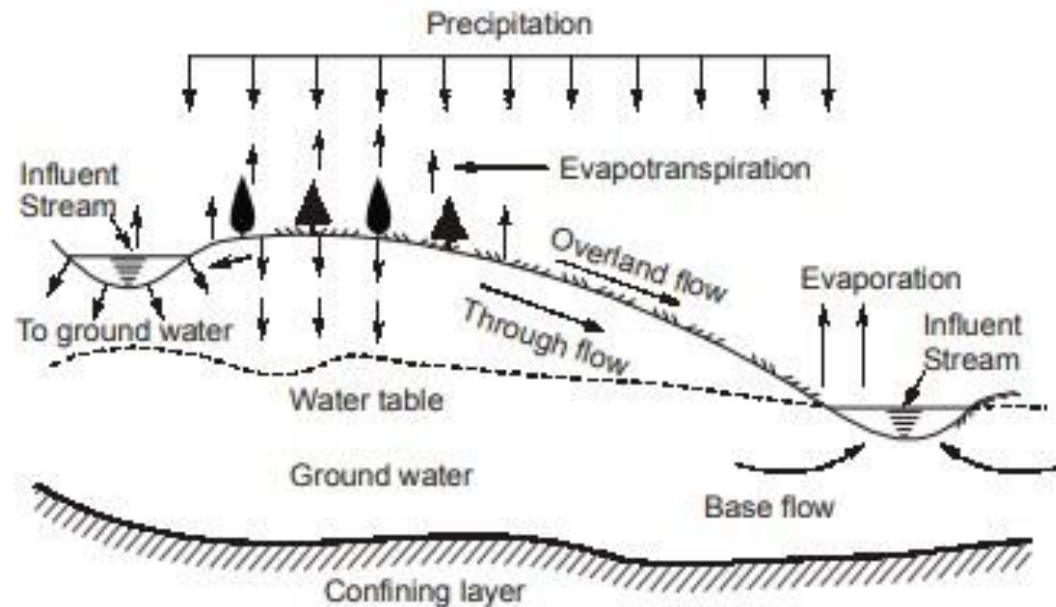
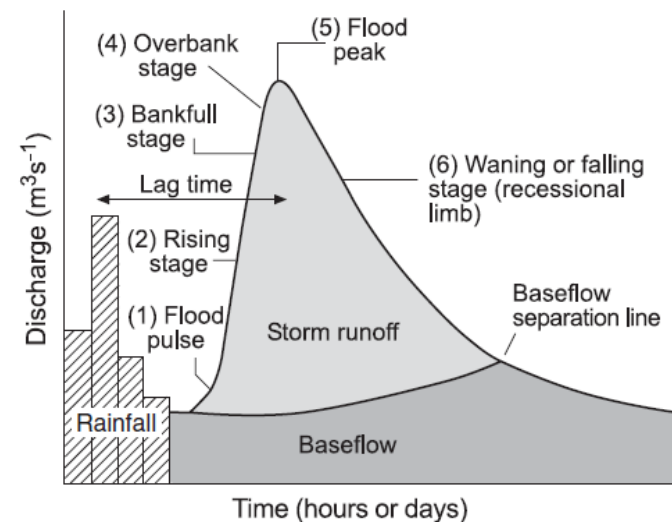
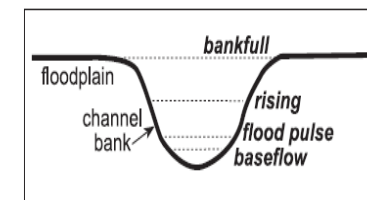


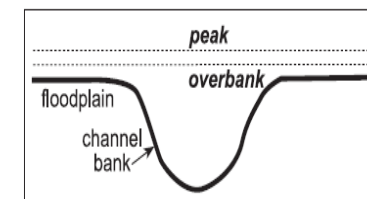
Fig. Different routes of Runoff



within channel flows



overbank flows



Zrážkovo-odtokový proces v povodí

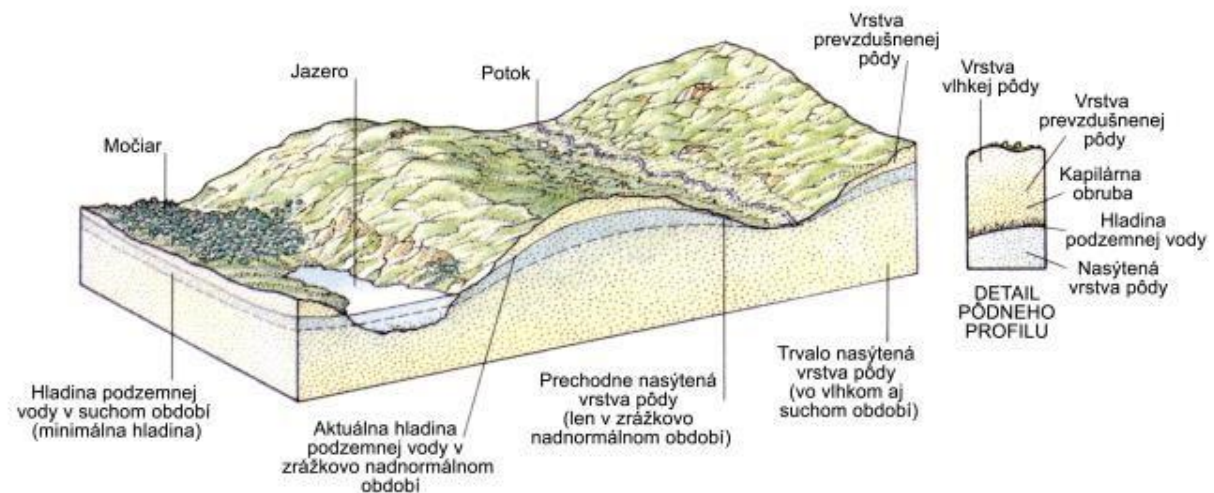
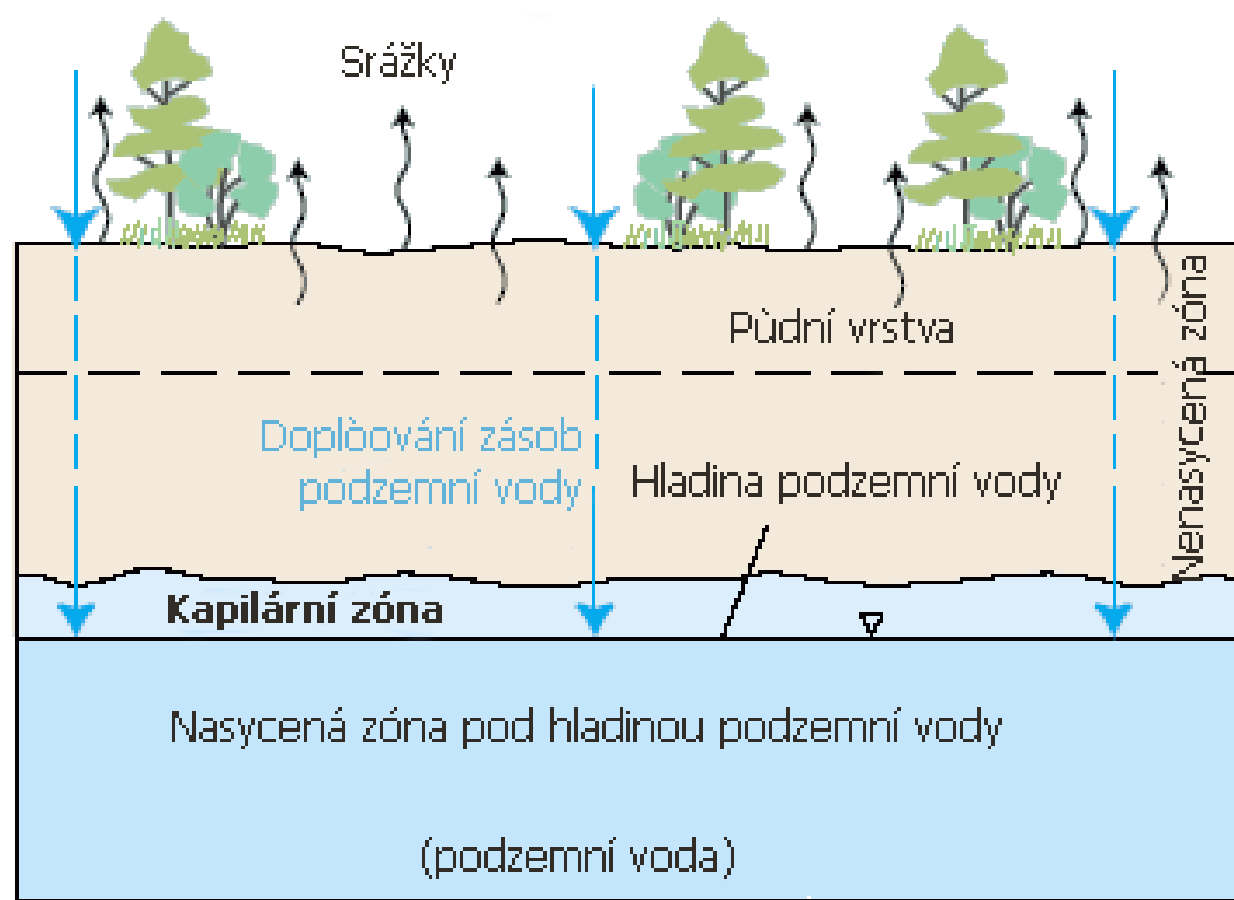
- ▶ **Hydrologická bilancia** - Rovnako ako pri veľkom a malom obehu vody, môžeme zostaviť hydrologickú bilanciu aj pre jednotlivé povodia alebo štáty
- ▶ Základné veličiny hydrologickej bilancie rozdeľujeme podľa Českého hydrometeorologického ústavu na dva typy:
 - ▶ veličiny, ktoré majú **rozmer toku** (zrážky, výpar, prítok v záverečnom profile, základný odtok)
 - ▶ veličiny, ktoré majú **rozmer zásob** (pôdna voda v zóne aerácie, snehová pokrývka, podzemná voda, voda v tokoch a nádržiach)
- ▶ Podľa rozdelenia je zrejmé, že nie všetky prvky hydrologickej bilancie sa dajú s presnosťou zmerať či určiť
- ▶ Pre určenie špecifických prvkov hydrologickej bilancie (napr. zmeny v zásobách pôdnej a podzemnej vody, potenciálny výpar atď.) sa teda používajú špeciálne modely a modelové výpočty
- ▶ Pre zjednodušenú hydrologickú bilanciu v rámci povodí je možné využiť rovnica:
 - ▶ $H_s = H_0 + H_v \pm R$, kde H_s je celkový úhrn zrážok (mm), H_0 celková výška odtoku (mm), H_v celkové množstvo výparu (mm) a R zmena výšky zásob v povodí (mm)
- ▶ **Zmena zásob vody** v povodí **vyjadruje úbytok či prebytok** zásob vody v snehovej pokrývke, podzemnej vody, akumulovanej povrchovej vody atď. Pokiaľ tieto proporcie nie sú známe, môže sa rovnica zjednodušiť bez použitia hodnoty R

Kedy vzniká odtok ?

- ▶ Najznámejšia teória vzniku odtoku pochádza od Roberta E. **Hortona** z roku 1933 - povrchový odtok vzniká tak, že intenzita dažďa prekročí infiltračnú kapacitu pôdy, na pôde sa vytvorí tenká vrstva vody, ktorá sa začne pohybovať po svahu a následne hromadiť v menších depresiách terénu, depresie sa postupne naplnia a voda z nich začne pretekať v podobe malých rýh a stružiek, ktoré sa ďalej spájajú do vodných tokov
- ▶ Riadiacim faktorom je **rýchlosť infiltrácie** a **infiltračná kapacita** pôdy
- ▶ **Hortonovský odtok** počíta s infiltračným prebytkom, ktorý vytvára povrchový odtok
- ▶ **Betson** - preukázal, že Hortonovský odtok vzniká **len na niektorých veľkých plochách**, ktoré prispievajú k povrchovému odtoku pri prívalových zrážkach
- ▶ **Selby** - povrchový odtok prebieha aj v miestach s hustými trávami a hrabankou, pričom ich infiltračná kapacita bola vyššia, než intenzita zrážok
- ▶ **Hewlett a Hibbert** na základe pozorovaní v klimatických podmienkach USA dospeli k záveru, že všetka voda zrážok sa infiltruje do pôdy, ale **podpovrchový odtok** môže vodu odviesť **späť na povrch (return flow)** a potom s dažďom padajúcim na saturovaný povrch tvoria povrchový odtok - tak bol definovaný základ tzv. **nehortonovského odtoku (odtok zo saturácie pôdy)**
- ▶ Rola **hypodermického odtoku** je najmä pri prívalových zrážkach ešte viac zložitá a nie celkom objasnená
- ▶ Teória Hortona a Hawkinsa počíta s **piestovým prúdením** – novo infiltrovaná voda vytláča spod povrchu starú vodu, ktorá odteká rýchlejšie

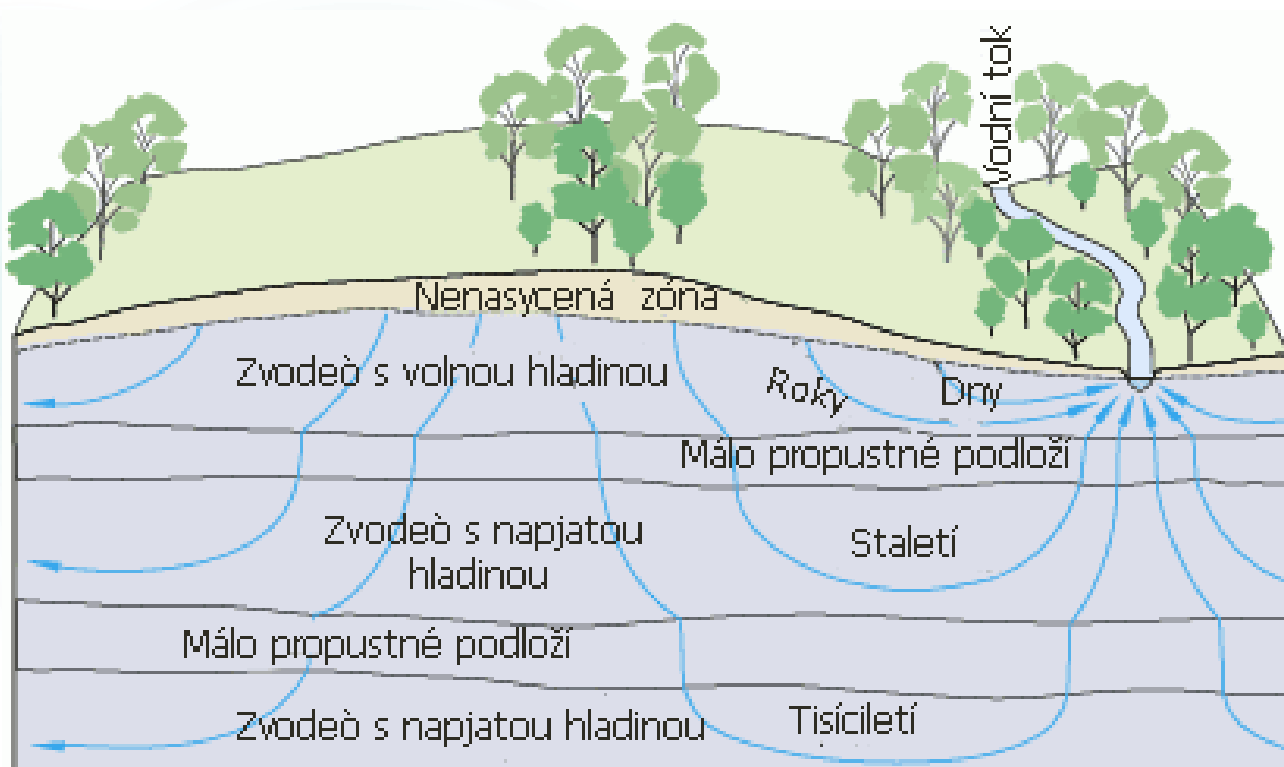
Odtok

- ▶ Voda zo zrážok infiltruje do pôdy
- ▶ Nenasýtená zóna:
 - ▶ voda je zastúpená v gravitačných a kapilárnych póroch
 - ▶ pod povrchom je pôda nenasýtená vodou
 - ▶ vrchná vrstva rozrušovaná vegetáciou a zooložkou vytvára podmienky pre infiltráciu
- ▶ Hladina podzemnej vody:
 - ▶ Nasýtená zóna
 - ▶ póry sú vyplnené vodou
 - ▶ puklinové a pórove prúdenie podzemnej vody

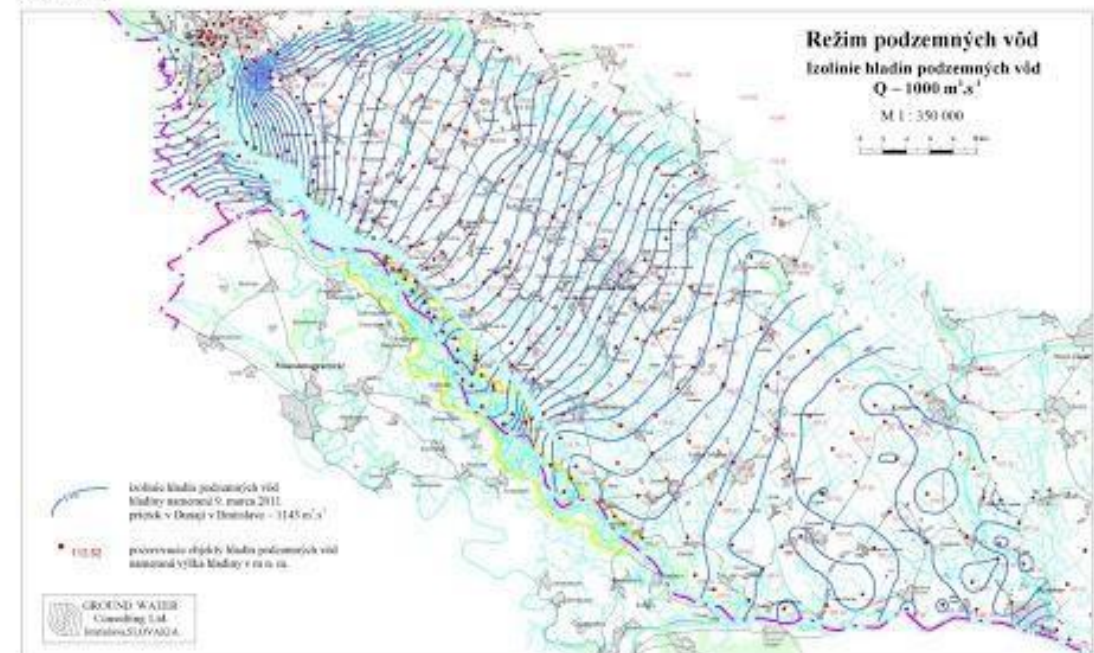


Odtok

- **Smer a rýchlosť** pohybu podzemnej vody je ovplyvnená rôznymi charakteristikami zvodne a pôdnych či horninových vrstiev
- **Pohyb** vody závisí od priepustnosti (schopnosti prepúšťať vodu do podzemia) a pórovitosti (podielu pórov a medzier v jednotkovom objeme pôdy či horniny) horniny či zeminy

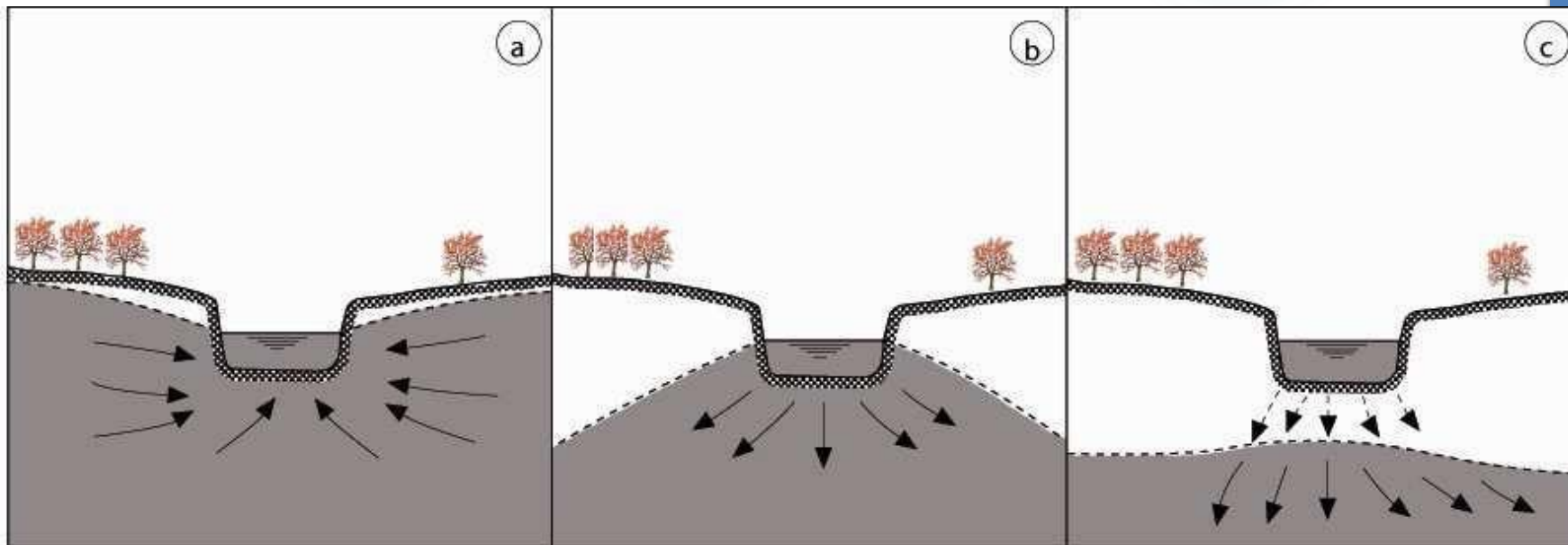


Obr. 3-9

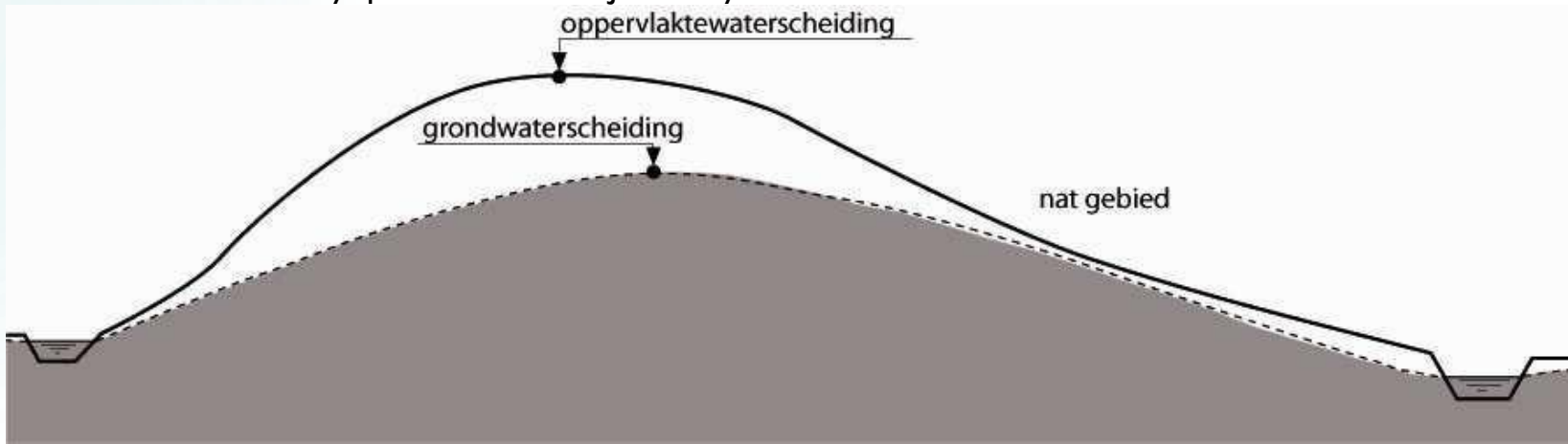


Odtok

Vzťah podzemnej vody a povrchovej vody

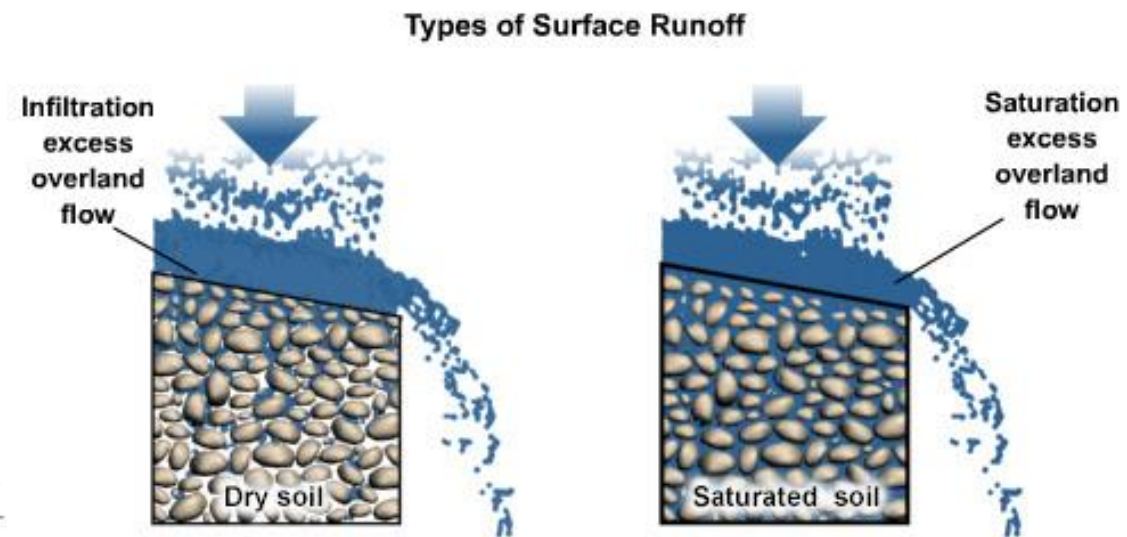
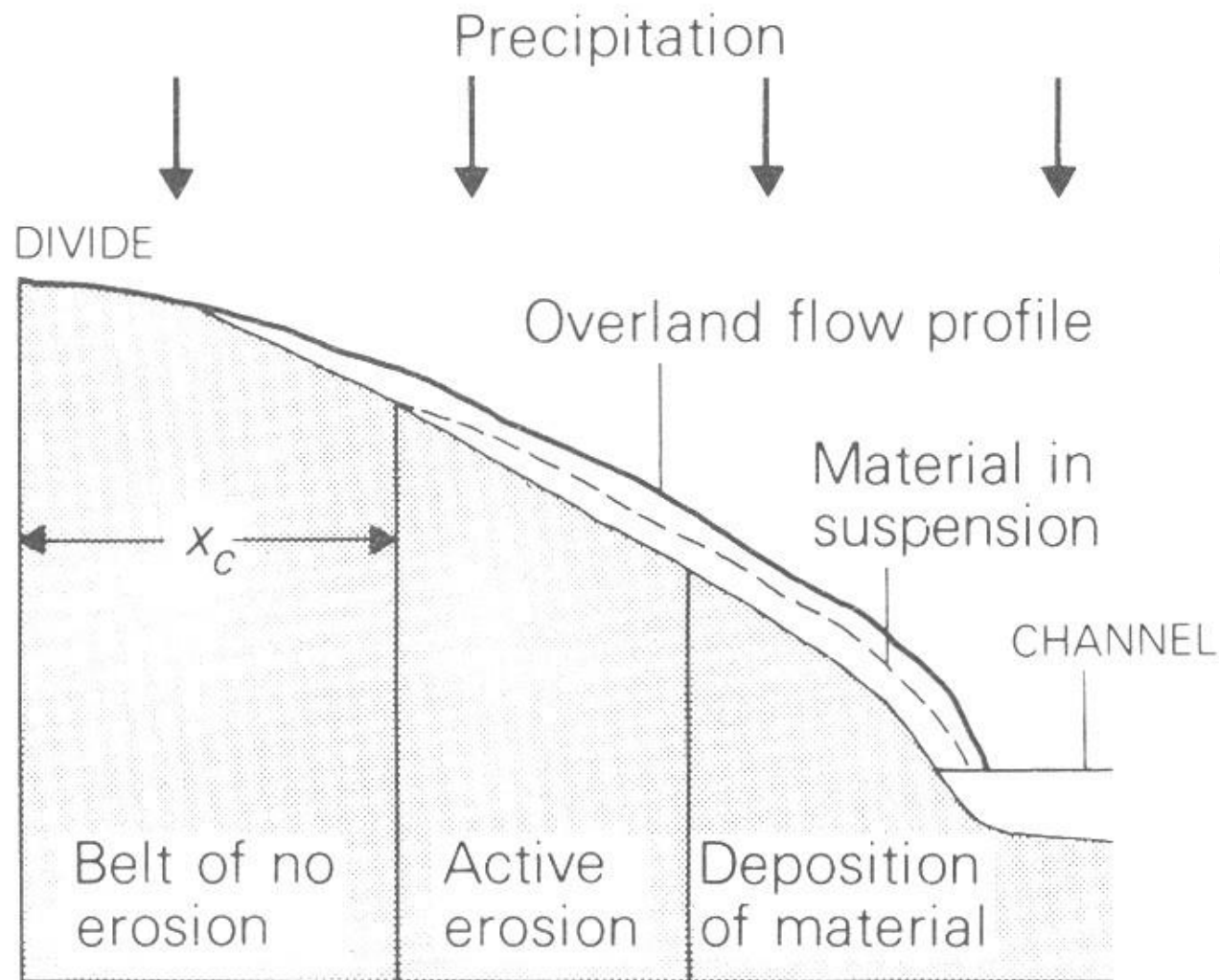


Priebeh hladiny podzemnej vody



Vznik povrchového odtoku

- Intenzita dažďa prekračuje infiltračnú kapacitu



Princíp Hortonovského modelu odtoku

1. Intenzita dažďa prekračuje infiltračnú kapacitu pôdy
2. Tenká vrstva vody sa tvorí na povrchu a začína pohyb vody po svahu
3. Tečúca voda sa akumuluje v povrchových depresiách – detencia
4. Po vyplnení depresie preteká
5. Povrchový odtok prechádza do ronových rýh a stružiek, ktoré sa spájajú do tokov, odtok sa zrýchľuje, rýchle rastie výška hladiny v recipiente

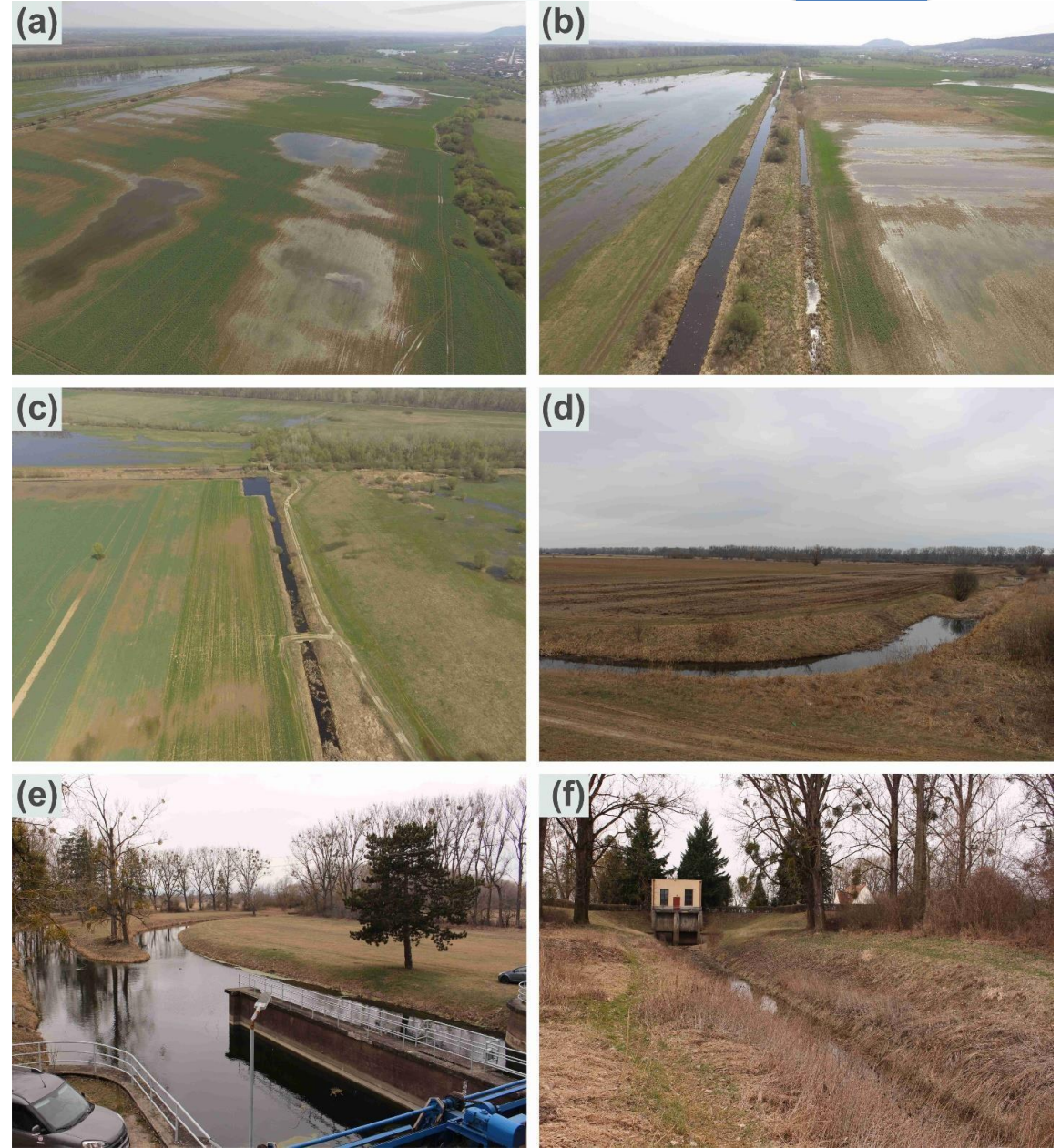


Príklad zamokrenia a povrchového odtoku
kanálového systému v oblasti Hrane

Princíp Hortonovského modelu odtoku

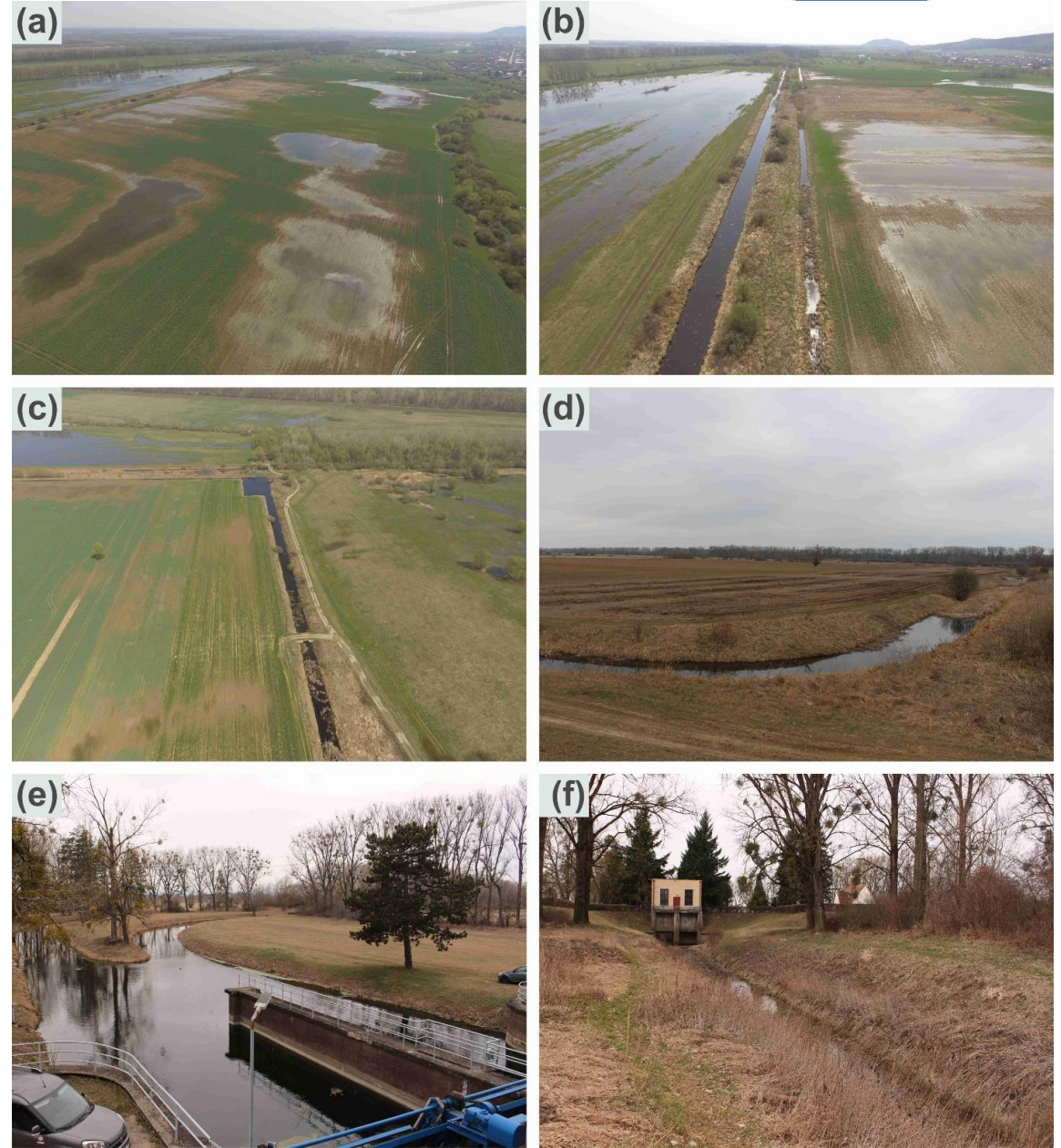
- Obmedzenia platnosti modelu:
- Hortonovský odtok sa vyskytuje v oblastiach s vysokou intenzitou zrážok, v aridných a semiaridných oblastiach a v oblastiach s tenkou vrstvou pôdy s nízkou infiltračnou kapacitou
- Pozorujeme ho hlavne v oblastiach s vysokými zrážkovými úhrnmi na poľnohospodársky využívannej pôde
- Hortonovský odtok vzniká po lokálnom prekročení infiltračnej kapacity pôdy, voda zo zrážok sa hromadí na povrchu a odteká preč

Príklad zamokrenia a povrchového odtoku
kanálového systému v oblasti Hrane



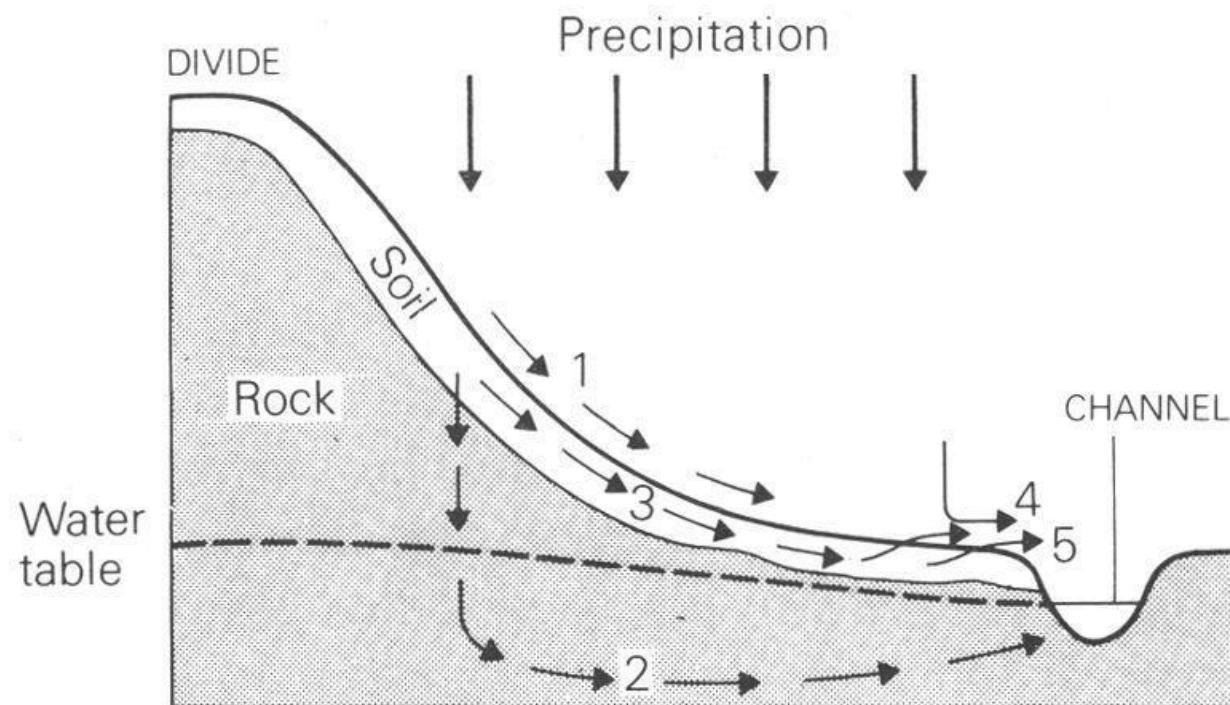
Princíp Hortonovského modelu odtoku

- ▶ Ohraničujúce podmienky platnosti modelu:
- ▶ Vysoká infiltračná kapacita pôd
- ▶ Na veľkom počte miest, kde bol odtokový proces meraný, infiltračná kapacita pôd vysoko prekračuje intenzitu dažďa
- ▶ Napr. v UK intenzita zrážok zriedka presahuje 20 mm/hod, dokonca i pri zrážkach vyvolávajúcích povodne
- ▶ Infiltračná kapacita pôdy naproti tomu často prekračuje hodnoty 200 mm/hod
- ▶ Priestorové obmedzenie odtoku
- ▶ Odtok sa negeneruje na celej ploche povodia, ako predpokladá Horton, ale len na niektorých častiach povodí



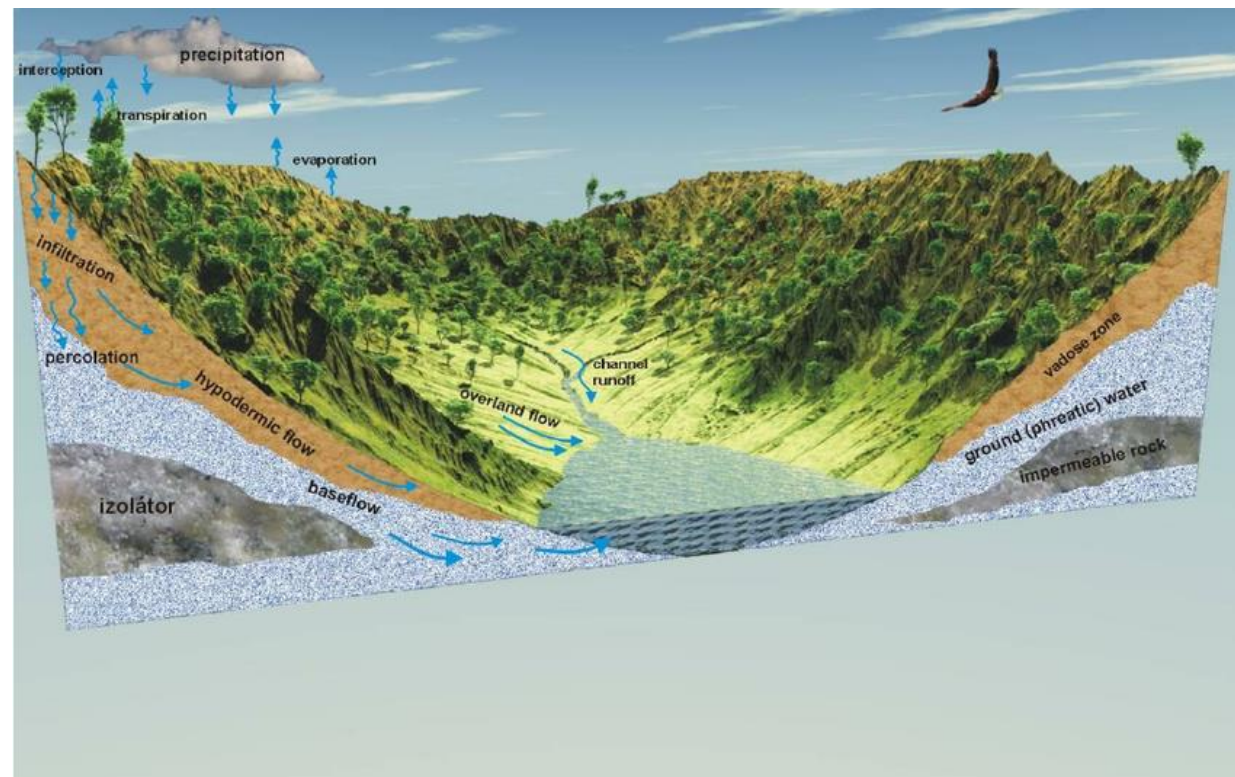
Odtok zo saturácie

- ▶ Hlavný proces podpovrchového odtoku v pôde
- ▶ Závisí **od stavu prevlhčenia pôdy** pred a v priebehu po zrážkach väčšina vody vsiakne do pôdy a nastáva **podpovrchový odtok (hypodermický)**
- ▶ Pozdĺž toku sa na úpäť svahov nachádza úzky pruh nasýtenej pôdy v prípade zrážok v tejto časti nedochádza k infiltrácii, ale k povrchovému odtoku
- ▶ V priebehu zrážok sa zóna nasýtenia rozširuje **smerom do svahu** a tam, kde preťína podpovrchový odtok spôsobí jeho návrat na povrch - **spätný tok (return flow)**
- ▶ Po skončení zrážok veľmi rýchle opadne priamy povrchový odtok z nasýtenej zóny a spätný tok, naopak veľmi pozvoľna klesá podpovrchový odtok, hlavne hypodermický odtok



Odtok zo saturácie

- ▶ Odtok zo saturácie vyžaduje k svojmu vzniku omnoho menšiu intenzitu zrážok než hortonovský odtok
- ▶ Je ohraničený na menšie plochy na miesta, kde pri zrážkach môže nastať rýchle nasýtenie pôdneho profilu
- ▶ veľmi dôležité sú pre vznik povrchového odtoku **konkávne časti svahov**, kde dochádza ku koncentrácii vody
- ▶ zostávajú prevlhčené ešte dlho po daždi
- ▶ v čase kedy začne znovu zrážková činnosť je pôda stále ešte čiastočne nasýtená vodou



Odtok

- Rýchlosť odtoku v rôznych hydrologických podmienkach:

Typ prúdenia	Rozsah rýchlosti (m/hodinu)
Otvorené koryto	300-10000
Povrchový odtok	50-500
Potrubie	50-500
Prietok pôdou	0,005-0,3
Prietok horninou	
Pieskovec	0,001-10
Ílovité bridlice	0,00000001-1
Vápenec	0-5

Hydrometeorológia

- ▶ Pri hydrologických výpočtoch pre povodie si nevystačíme so zrážkomernými údajmi z jednej stanice, ale je potrebné plošné rozloženie zrážok v povodí
- ▶ Musí sa stanoviť priemerné množstvo zrážok spadnutých v povodí, alebo výška vodného stĺpca, na ktorý by sa zrážky rovnomerne rozprestrelí na plochu povodia za predpokladu, že sa nevsiaknu, nevyparia a neodtečú = **priemerná zrážka v povodí**
- ▶ Pri tomto stanovení sa vychádza z údajov o zrážkach zo siete staníc ležiacich na uvažovanej ploche a v jej bezprostrednom okolí, tak aby spojnice staníc ohraničovali celú záujmovú plochu
- ▶ Najjednoduchšia hrubá metóda je vypočítať priemerné zrážky na povodí ako **aritmetický priemer** všetkých uvažovaných staníc
- ▶ **Hypsometrická metóda** zohľadňuje výškovú členitosť povodia
- ▶ **Polygónová metóda** (tiež zvaná Thiessenova alebo Hortonova), vychádza z vyčlenenia Thiesenových polygónov, pre ktoré je zrážka zo stanice reprezentatívna, následný výpočet priemerných zrážok:
$$\bar{H}_S = \frac{P_A H_{SA} + P_B H_{SB} + P_C H_{SC} + P_D H_{SD} + \dots}{P}$$
- ▶ **Kriegeho metódy** - Sú založené na myšlienke, že merania vykonávané v skutočnom prostredí nedokážu vždy toto prostredie úplne nahradiť číselnými hodnotami, ktoré opisujú niektoré vybrané vlastnosti tohto prostredia. Môže to byť z dôvodu technických možností alebo jednoducho z nedostupnosti týchto dát. Chýbajúce dáta je možné doplniť pomocou interpolácie na základe okolitých číselných hodnôt (interpolácie a Kriging)

Hydrometria

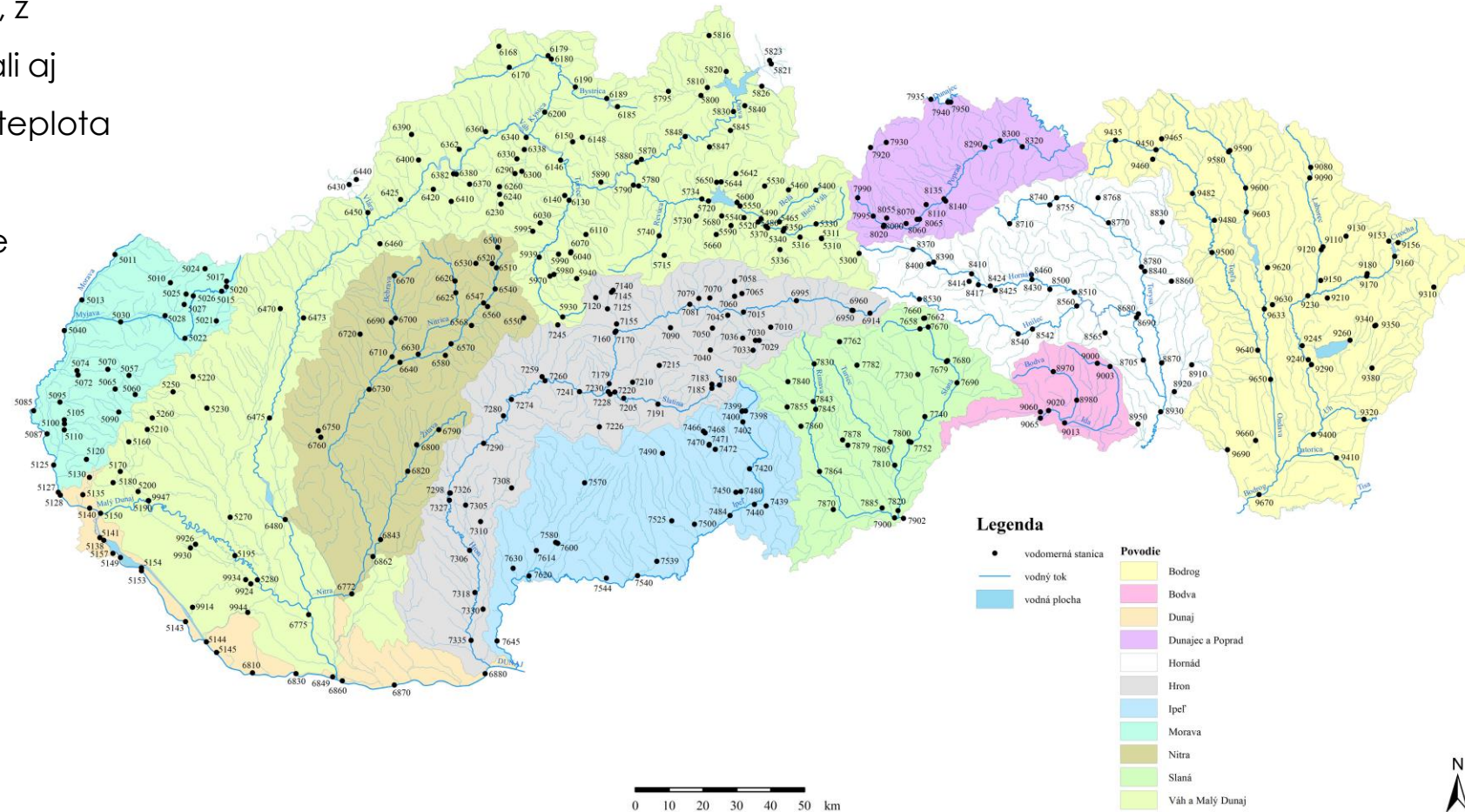
- ▶ **Hydrologická pozorovateľská služba a meranie hydrologických prvkov** sa uskutočňuje vo **vodomerných staniciach**, ktoré sú usporiadané do siete podľa hlavných povodí
- ▶ Stanice sa budujú na hydraulicky vhodných miestach a súčasťou stanice je vhodne upravený priečny profil
- ▶ Stanicu väčšinou tvorí **vodočesť** alebo **limnigrafická búdka**, vo väčšine prípadov oboje
- ▶ U limnigrafickej stanice je cez rieku natiahnutá tzv. lanovka, ktorá slúži na meranie prietokov
- ▶ Sústava vodomerných staníc je usporiadaná do kategórií:
 - ▶ 1. kategória (základná) zahrňuje stanice pre dlhodobé a kontinuálne sledovanie vodných stavov, bilanciu prietokov a pre predpovednú službu. Ležia na hlavných riekach a sú to stanice s automatickým limnigrafom s diaľkovým prenosom dát
 - ▶ 2. kategória (sekundárna) dopĺňa základnú sieť a jedná sa o stanice na menších tokoch alebo ako medziľahlé stanice na veľkých riekach. Väčšinou sú vybavené limnigrafmi
 - ▶ 3. kategória (účelová) je tvorená stanicami napr. na priehradách, jazerách, ktoré poskytujú podklady pre prevádzku týchto technických zariadení

Monitorovacia sieť SHMÚ

- ▶ V roku 2019 sa kvantitatívne ukazovatele povrchových vôd pozorovali v 416 staniciach Štátnej monitorovacej siete, z toho v 400 staniciach sa vyhodnocovali aj prietoky v 410 staniciach sa merala aj teplota vody a v 16 staniciach sa odoberali a vyhodnocovali vzorky na vyhodnotenie mútnosti vody (obsahu plavenín)
- ▶ Stanice sú vybavené automatickými prístrojmi MARS 4 až MARS 8 (tlakové sondy na meranie výšky vodného stĺpca a teploty)

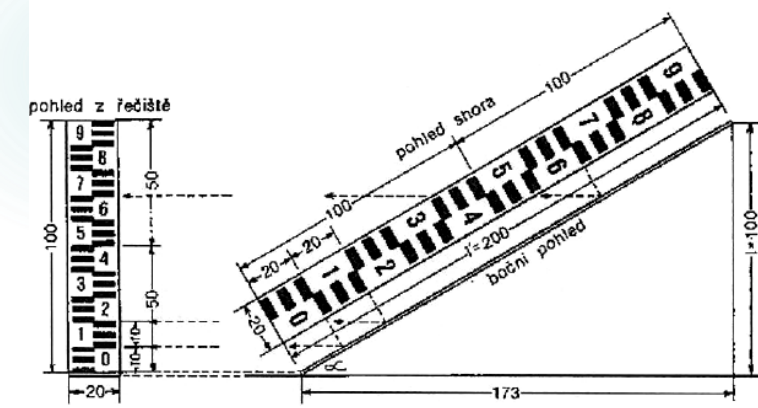
VODOMERNÉ STANICE V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Stav v roku 2019



Hydrometria

- ▶ **Vodný stav (H):** dôležitý hydrologický prvok z dôvodu výpočtu ďalších hydrologických charakteristík, a to hlavne prietoku
- ▶ Jednotka vodného stavu je v centimetroch (relatívna hodnota vodného stavu), údaje sa odčítavajú s presnosťou na 1 cm
- ▶ k meraniu sa používajú dva druhy meracích zariadení **Vodočesť** a **Limnigraf**
- ▶ na **vodočesťných** staniciach pozorovateľ odčíta hodnoty spravidla trikrát denne. Mimoriadne pozorovanie sa vykonáva v čase povodní. **Termíny odčítania** o 7,12,18 hod., v zime o 8,12,16 hod.
- ▶ **Limnigrafy** sú automatické prístroje, ktoré **kontinuálne** zaznamenávajú hodnoty vodného stavu do grafu – v súčasnosti meranie **ponornými tlakovými sondami**
- ▶ výstupom z limnigrafu je grafický záznam zmien vodného stavu v čase a je vždy vo väzbe na konkrétnu limnigrafickú stanicu - limnigram (limnigrafický záznam)
- ▶ Princíp merania závisí na zmenách pohybu hladiny vody v šachte pod limnigrafickou búdkou, ktorý prenáša plavák na zapisovacie zariadenie v búdke
- ▶ **Hydromodul** – rozpätie medzi maximálnym a minimálnym vodným stavom



Hydrometria - meranie vodných stavov



Ochranná búдка meracích prístrojov

Chránička tlakového senzoru meracieho prístroja

Vodočetná lata (stupnica po 2 cm)

Nula vodočtu (geodeticky zameraný bod)

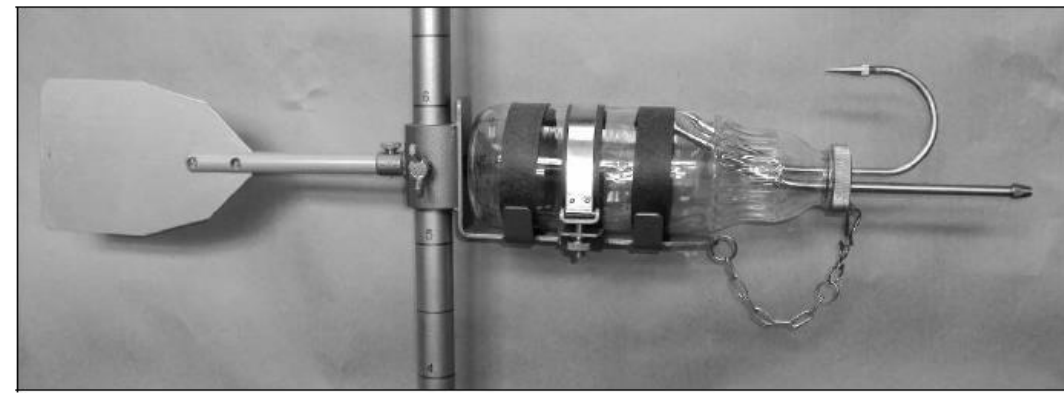
Hydrometria

- ▶ **Meranie teploty vody** - vykonáva sa v blízkosti vodočernej stanice. Teplota sa meria denne pravidelne o 7. hodine. Meria sa pri hladine na mieste tomu určenom, ktoré je v tieni, aspoň jeden a pol metra od brehu, kde voda mierne prúdi. V zime sa meria v otvore v ľade v mieste, kde voda prúdi. Meranie ortuťovým teplomerom je nahradzované kontinuálnym meraním pomocou automatického senzoru
- ▶ **Pozorovanie ľadových javov** - má význam pre vyhodnocovanie vodných stavov a prietokov. Znalosť ľadového režimu riek, ale i jazier a nádrží je potrebná proti zabráneniu škodlivého účinku ľadu na technické zariadenia, ochrane pred povodňami
- ▶ V období, keď klesne teplota vody pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, začne voda na riekach zamrzáť a vo vodomerných staniciach sú každodenne zaznamenávané ľadové úkazy
- ▶ Tvorenie a pohyb ľadu na tečúcich vodách prebieha v 3 hlavných fázach:
 - ▶ Jesennej – ľad pri brehu, zhľuky ľadových kryštálov, plávajúca ľadová triešť, dnový (hlbinný) ľad
 - ▶ Zimnej – po zamrznutí rieky zakončenie jesennej fázy a nástup zimnej
 - ▶ Jarnej – rozpukanie ľadu pri oteplení a spustí chod ľadu a nástup jarnej fázy
- ▶ V miestach prírodných alebo umelých prekážok môžu vznikať ľadové zápchy alebo bariéry



Hydrometria

- ▶ **Splaveniny** sú výsledkom eróznej činnosti vody, buď priamo v koryte rieky, alebo v dôsledku kinetickej energie dopadajúcich kvapiek na zemský povrch
- ▶ Delenie splavenín:
 - ▶ **plaveniny** – veľmi jemné častice, ktoré sa vo vode vznášajú a usadzujú sa pri veľmi malých rýchlostiach; spôsobujú zanášanie koryta, umelých kanálov a nádrží, ale i zúrodnenie inundačnej oblasti rieky
 - ▶ **dnové splaveniny** – hrubšie častice, ktoré sú posúvané po dne (saltáciou); spôsobujú tzv. divočenie niektorých vodných tokov, znižujú splavnosť, vytvárajú nánosy a plytčiny
- ▶ **Meranie plavenín** - spočíva v zistení množstva unášaných plavenín v prietochnom profile. Prístroj na meranie plavenín – **batometer** - fľaša so širokým hrdlom, v jej zátky sú dve trubičky s priemerom 2 a 6 mm, z ktorých do jednej vniká voda a druhou odchádza vzduch. Osa prístroja musí byť pri meraní vo smere prúdu. Nádoba má objem 1 liter a dá sa ľahko vymeniť a prenášať. Množstvo plavenín v objemovej jednotke sa nazýva zakalenie a meria sa v kg/m^3 alebo g/m^3 .
- ▶ K meraniu a odoberaniu vzoriek splavenín sa používajú tzv. **lapáky**. Každý štát používa určitý typ (Poljakov, Šumov, Muhlhofer) s ohľadom na konkrétne pomery daných tokov. Lapáky sú buď s plnými stenami, alebo so stenami z drôtenej siete. Vzhľadom na ich menej dokonalú funkciu je ich účinnosť v rozmedzí 50–80 %.
- ▶ Odbery splavenín a plavenín nie sú nepretržité - vzorky sa odoberajú v určitých časových obdobiach a len na určitých profiloch



- ▶ Podľa veľkosti sa splaveniny delia na:
 - ▶ jemný piesok 0,06–0,25 mm
 - ▶ stredný piesok 0,25–1 mm
 - ▶ hrubý piesok 1–2 mm
 - ▶ drobný štrk 2–8 mm
 - ▶ stredný štrk 8–30 mm
 - ▶ hrubý štrk 30–130 mm
 - ▶ kamene 130–250 mm
 - ▶ balvany nad 250 mm

Hydrometria

- **Prietok (Q)** - objem vody, ktorý pretečie daným prietočným profilom za jednotku času v l/s, m³/s

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{F}{v_p}$$

- **Odtok (O)** - objem vody, ktorý odtiekol z povodia za určité obdobie, spravidla rok v tis.m³

odtok za deň: $O_d = 86400 \cdot Q_d$

odtok za mesiac: $O_m = 86400 \cdot 30,5 \cdot Q_d$

odtok za rok: $O_r = 31,5576 \cdot 10^6 \cdot Q_d$

- **Odtoková výška (H_o)** - výška vrstvy vody, ktorú by odtok vytvoril na ploche povodia za dané obdobie(napr. rok) v mm

$$H_o = O_r / P$$

- **Špecifický odtok (q)** - výška odtoku vzťahovaná na jednotku plochy povodia za určitý časový úsek v m³/s/km²

$$\text{Ročný: } q = H_o / (31,536 \cdot 10^6)$$

Hydrometria

► Meranie prietoku:

- kalibrované nádoby
- hydrometrovanie
- plaváková metóda
- zmiešavacia metóda
- merné priepady



► Využitie:

- Experimentálne merania
- Kalibrácia monitoringu
- Merania v mimoriadnych podmienkach



Hydrometria

- Priame meranie prietokov pomocou **kalibrovanej nádoby**:

$$Q = \frac{V}{t} \quad , \text{kde } V - \text{objem, } t - \text{čas}$$

- Meranie a vyhodnocovanie prietokov pomocou **hydrometrickej vrtule**:

- Priame meranie rýchlosti prúdenia vody v koryte Hydrometrická vrtuľa
- Zameranie plochy prietočného profilu
- $Q = F \cdot V_s$, kde F je plocha prietočného profilu a V_s je priemerná rýchlosť

- Výber vhodného profilu:

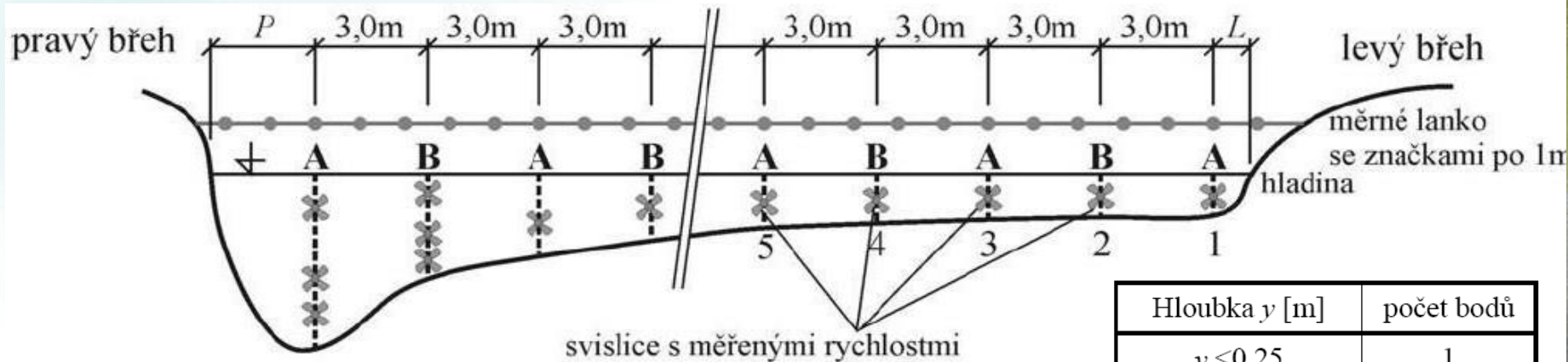
- pravidelný tvar prietočného profilu koryto nerozdelené na ramená
- koryto bez prekážok
- priamy úsek toku
- mimo dosahu vzdutia hladiny - ľahký prístup pozorovateľa



Hydrometria

- Meranie a vyhodnocovanie prietokov pomocou **hydrometrickej vrtule**:
 - Rýchlosť prúdenia vody v prietočnom profile sa mení so vzdialenosťou od brehu a s hĺbkou
 - Na stanovenie priemernej rýchlosti v prietočnom profile nestačí zmerať rýchlosť prúdenia v jednom bode tohto profilu - je potrebné zvoliť taký počet meraní a umiestnení bodov, v ktorých sa rýchlosť bude merať tak, aby čo najlepšie vystihli rozdelenie rýchlosti vody v profile
 - Rýchlosť v praxi sa meria v merných zvisliciach - počet meraných bodov v jednej zvislici závisí na hĺbke vody v zvislici

šířka toku B [m]	počet měrných svislic
$B < 0,5$	3
$0,5 < B < 1,0$	4 - 5
$1,0 < B < 3,0$	5 - 8
$3,0 < B < 6,0$	8 - 12
$B > 6,0$	12 a více

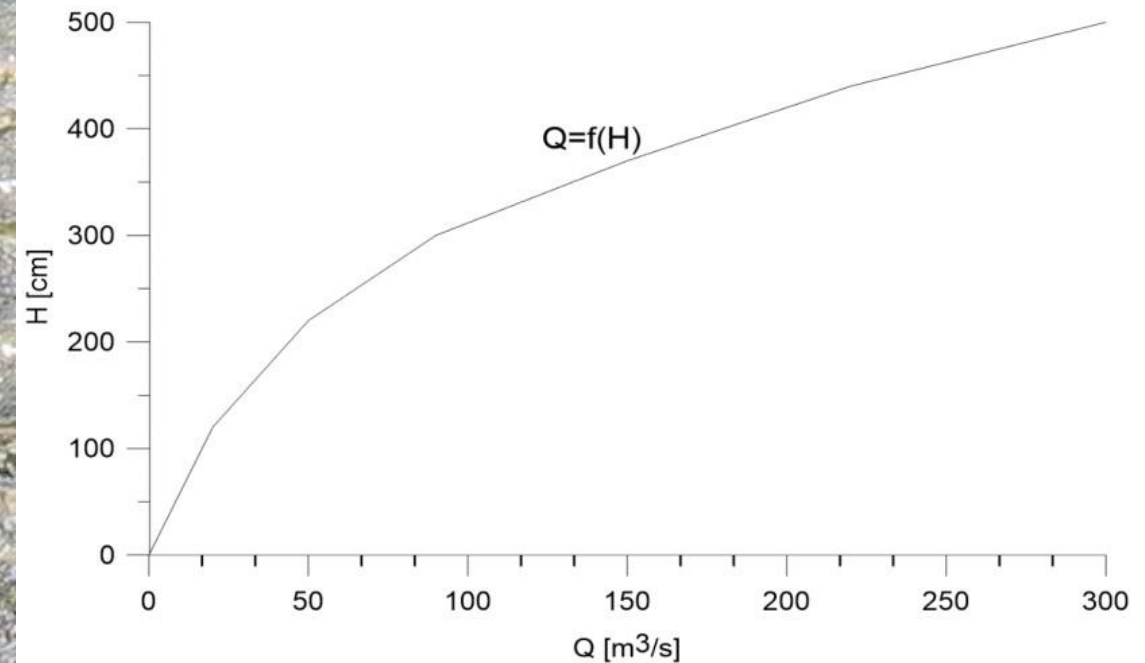


Hĺoubka y [m]	počet bodů
$y < 0,25$	1
$0,25 < y < 0,50$	2
$y > 0,5$	3 a více



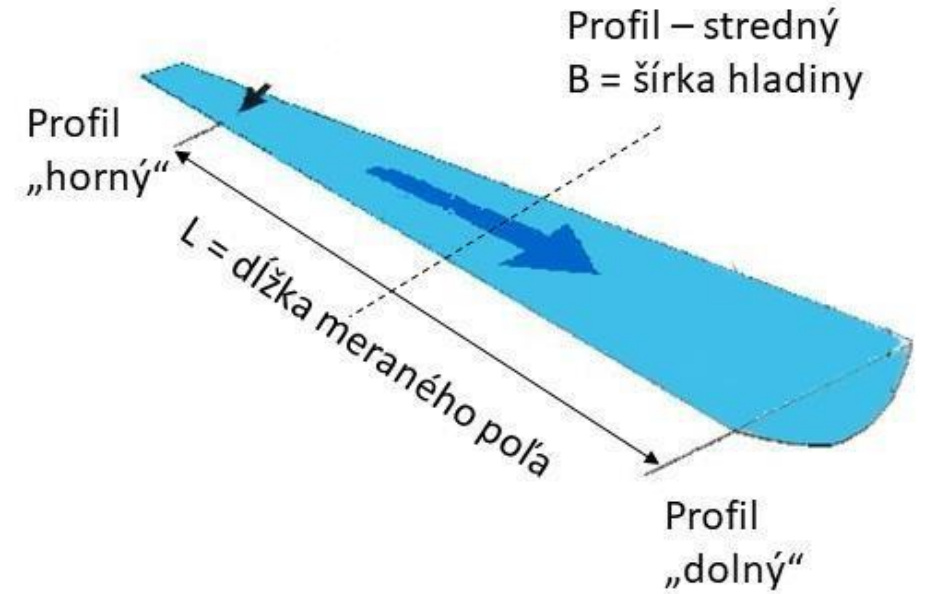
Hydrometria

- ▶ Hydrometrická vrtuľa:
 - ▶ $v = a + b \cdot n$
 - ▶ kde v ... priet. rýchlosť
 - ▶ a ... koef. trenia zariadenia
 - ▶ b ... koef. trenia vody
 - ▶ n – počet otáčok



Hydrometria

- ▶ Meranie a vyhodnocovanie prietokov **pomocou plavákov:**
 - ▶ Meranie pomocou plavákov: meranie povrchových rýchlostí za predpokladu: plavák sa v prúde vody pohybuje rýchlosťou okolitých častíc vody
 - ▶ menšia presnosť, nutné aspoň 3 x opakovať na vymedzenom úseku - dĺžka úseku 5 - 10 m (minimálne 10 s)
 - ▶ $v_s = (v_1 + v_2 + v_3) / 3$ $Q = F \cdot V_s$
- ▶ Meranie pomocou **zmiešavacej rovnice:**
 - ▶ Chemická tzv. zmiešavacia metóda - stanovenie rozdielu koncentrácie
 - ▶ Horské potoky, kde nie je možnosť použiť iné metódy
 - ▶ Krasové oblasti
 - ▶ Princíp: Chemický roztok známej koncentrácie, pridaný rovnomerne do vody, sa rozriedi úmerne s prietokom, stupeň zriedenia roztoku je i mierou množstva rozpúšťadla, tj. pretekajúcej vody - dôležité premiešanie indikovanej látky - turbulentné prúdenie



$$Q_2 = (Q_1 \cdot k_1) / k_2$$

Q_2 prietok vody

Q_1 prietok chemického roztoku k_1
počiatočná koncentrácia roztoku

k_2 koncentrácia zriedeného roztoku

Hydrometria

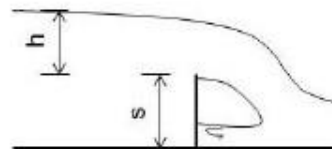
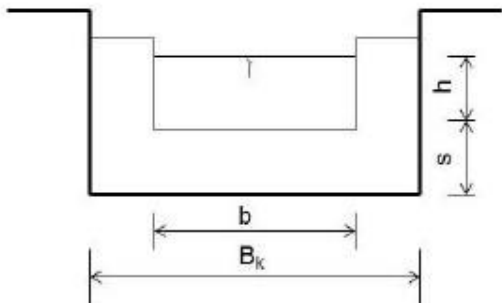
- ▶ Meranie a vyhodnocovanie prietoku **pomocou priepadov:**
- ▶ Thomsonov priepad – trojuholníkový

$$Q = \frac{8}{15} \mu_p \sqrt{2g} h^{\frac{5}{2}}$$

Thomson ukázal, že hodnota súčiniteľa prepadu μ_p je v rozsahu prepadových výšok 0,06 < h < 0,65 m konštantná $\mu_p = 0,592$ (Mäsiar, Kamenský, 2001).

- ▶ Ponceletov priepad - obdĺžnikový

$$Q = \frac{2}{3} \mu_p b \sqrt{2g} h^{\frac{3}{2}}$$



kde: μ_p – hodnota súčiniteľa prepadu
 h – prepadová výška [m]
 b – šírka priepadu [m]
 B_k – šírka prívodného kanála (koryta) [m]
 g – gravitačné zrýchlenie [m.s^{-2}]
 s – výška prepadovej hrany [m]

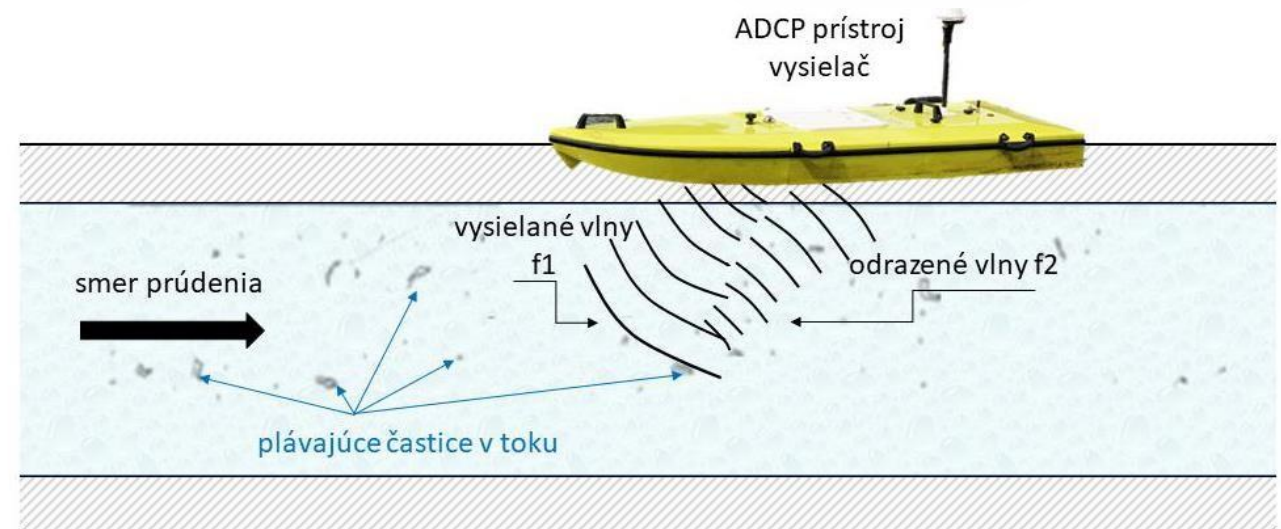
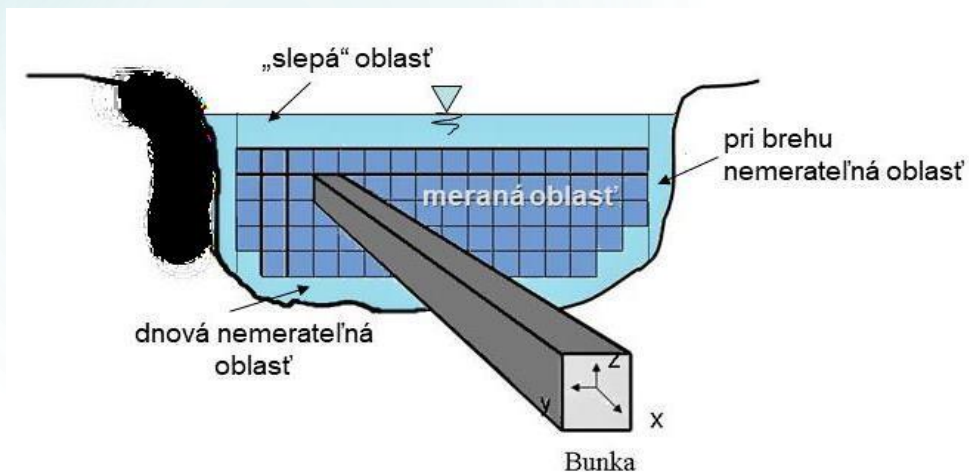


Hydrometria

► Metóda ultrazvukového dopplerovského merania (ADCP):

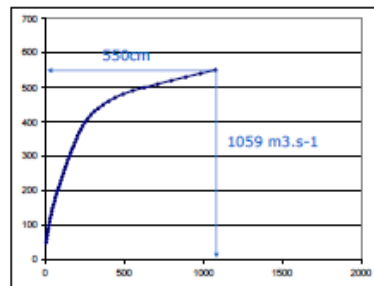
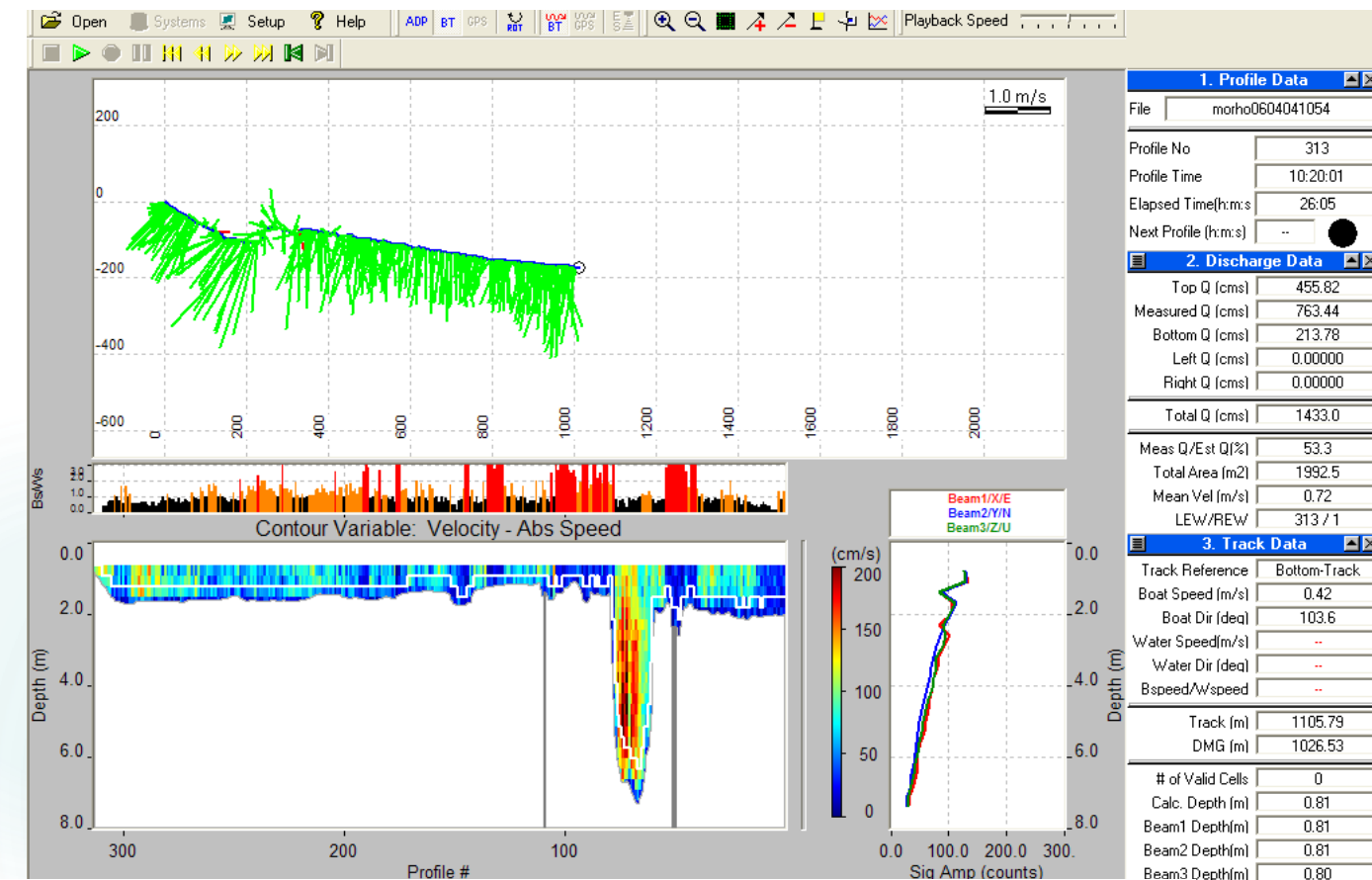
- V prirodzených tokoch sa v prúdiacej vode nachádzajú plaveniny (častice alebo zrná v rôznej veľkosti, váhy a tvaru) pohybujúce sa rýchlosťou vodného prúdu, ktoré využíva ADCP prístroj vysielajúci do vody ultrazvukové impulzy (f_1)
- Vysielané impulzy sú späťne odrazené od pohybujúcich sa častíc a prijímané sú s mierne pozmenenou frekvenciou (f_2)
- Rozdiel medzi vysielanou a prijatou frekvenciou je priamo úmerný rýchlosti pohybu častice a nazýva sa Dopplerov frekvenčný posun
- ADCP prístroje napriek svojej technickej vyspelosti nie sú schopné stanoviť prietok v celom prietochom profile
- V tesnej blízkosti brehov, horizontu hladiny a pri dne nedokážu zmerať rýchlosti, a tak je prietok v týchto oblastiach určovaný numericky pomocou rovníc
- Oblasť pri hladine sa označuje ako „slepá oblasť“, ktorá je spôsobená hĺbkou ponoru vysielача a taktiež obmedzenosťou vysielача a okamžite prijať signál odrazený z malej vzdialenosti

- **Elektromagnetická indukcia:** využíva prúd vody ako vodič a v umelo vytvorenom magnetickom pole nameraná veľkosť indukovaného napätia je priamo úmerná rýchlosti prúdiacej vody

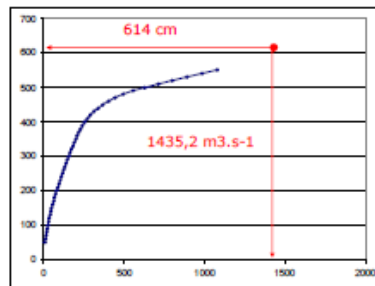


Metóda ultrazvukového dopplerovského merania

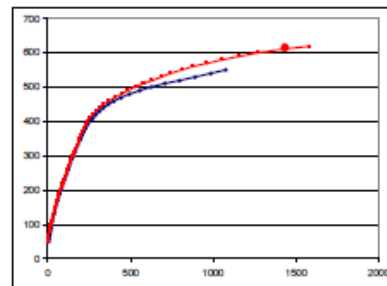
*Grafický výstup merania
prietoku prístrojom ADP z
merania 4.4. 2006 vo
vodomernej stanici Moravský
Sv. Ján, (zdroj: SHMÚ, 2006)*



a) merná krivka pred meraním



b) merná krivka s doplneným



c) upravená merná krivka

*Zmena mernej krivky v Moravskom
Sv. Jáne na Morave po meraní
4.4.2006, (zdroj: SHMÚ, 2006)*

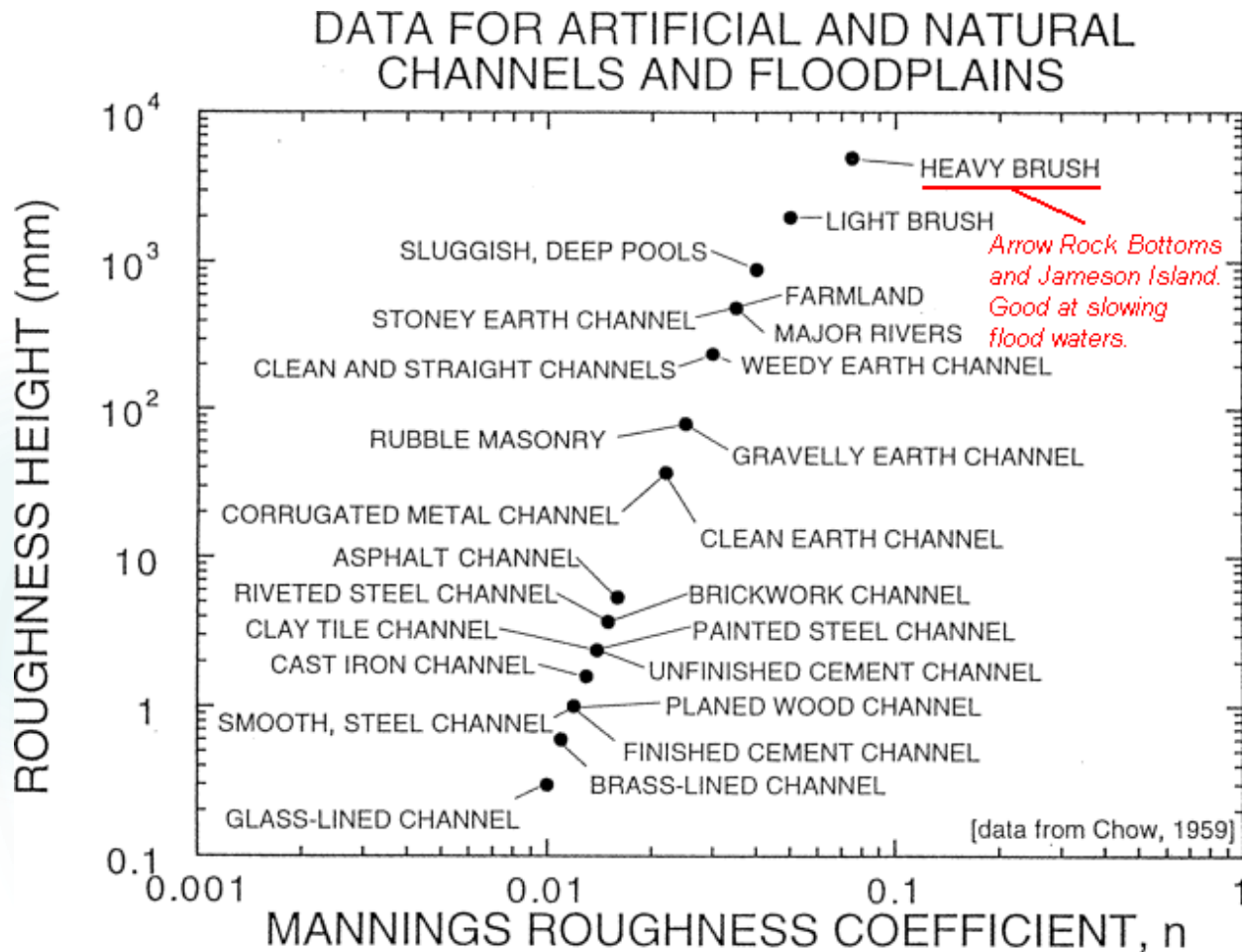
Hydrometria

- ▶ **Hydrotechnický výpočet prietoku** - počas roka môže na vodnom toku nastať povodňová situácia, kedy nie je možné zmerať vodný stav ani kulminačný prietok. K dispozícii môžu byť len údaje o hornej hranici zaplavenia údolia. V takom prípade sa používa na výpočet strednej profilovej rýchlosti tzv. rýchlostný vzorec napr.:
- ▶ **Chezyho rovnica** - zadefinovaná v roku 1775 pre rovnomerný prietok a používa sa **pre otvorené kanály**

$$v_s = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

- ▶ v_s - rýchlosť prúdenia vody
- ▶ c – rýchlostný súčiniteľ súvisiaci s závisiaci od drsnosti so stratou trením spojenou s vodou tečúcou cez dno a steny kanála
 $c = 1 / n \cdot R^y$, kde n = Manningov koeficient drsnosti (0,01 - hladký povrch, 0,150 zarastené koryto...) y = Chezyov koeficient rýchlosti
- ▶ R - hydraulický polomer alebo prierezová plocha A delená prevlhčeným obvodom ($R = S / O$ alebo $R = H' = S / B$, kde S = plocha O = obvod a H = priemerná hĺbka a B = šírka)
- ▶ I – sklon v promile

Manningov koeficient drsnosti



Ukázka katalogu

A. UMĚLÁ NEBO UPRAVENÁ KORYTA

1. KAMENNÁ DLAŽBA NA SUCHO

součinitel drsnosti:	minimum – 0,023	optimum – 0,032	maximum – 0,035
$Q = 3,740 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 63 \text{ mm}, n = 0,032$	$Q = 3,740 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 63 \text{ mm}, n = 0,032$	$Q = 3,100 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 63 \text{ mm}, n = 0,029$	

2. KAMENNÉ DNO, STĚNY Z HRUBÉHO BETONU, LOMOVÉHO KAMENE NEBO POHOZU

součinitel drsnosti:	minimum – 0,025	optimum – 0,035	maximum – 0,045
$Q = 1,075 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 55 \text{ mm}, n = 0,025$	$Q = 0,945 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 73 \text{ mm}, n = 0,031$	$Q = 5,700 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 135 \text{ mm}, n = 0,042$	

C. PŘÍROZENÁ MALÁ KORYTA

1. MALÝ TOK BEZ PŘEJÍ A TŮNÍ S KAMENY A PLEVELEM

součinitel drsnosti:	minimum – 0,030	optimum – 0,035	maximum – 0,040
$Q = 0,170 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 60 \text{ mm}, n = 0,040$	$Q = 12,000 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 97 \text{ mm}, n = 0,031$	$Q = 1,246 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 58 \text{ mm}, n = 0,037$	

2. MALÝ TOK S VÝRAZNÝMI PŘEJÍMI NEBO TŮNĚMI

součinitel drsnosti:	minimum – 0,040	optimum – 0,048	maximum – 0,055
$Q = 0,500 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 107 \text{ mm}, n = 0,048$	$Q = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 32 \text{ mm}, n = 0,041$	$Q = 2,400 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 28 \text{ mm}, n = 0,048$	

3. MALÝ TOK S PLEVELEM A TŮNĚMI

B. VYHLoubENÁ NEBO HLINITÁ KORYTA

1. PŘÍMÉ PRAVIDELNÉ KORYTO SE ŠTĚRKOVÝM DNEM

součinitel drsnosti:	minimum – 0,022	optimum – 0,025	maximum – 0,030
$Q = 1,075 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 55 \text{ mm}, n = 0,025$	$Q = 12,900 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 20 \text{ mm}, n = 0,026$	$Q = 3,352 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 74 \text{ mm}, n = 0,026$	

2. KORYTO BEZ VEGETACE V PRŮTOČNÉM PROFILU

součinitel drsnosti:	minimum – 0,025	optimum – 0,028	maximum – 0,033
$Q = 1,075 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 13 \text{ mm}, n = 0,031$	$Q = 1,000 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 13 \text{ mm}, n = 0,031$	$Q = 3,352 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 74 \text{ mm}, n = 0,026$	

3. KORYTO S ŘÍDKÝMI KEŘI NA BŘEZÍCH

součinitel drsnosti:	minimum – 0,025	optimum – 0,050	maximum – 0,060
$Q = 0,140 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 46 \text{ mm}, n = 0,052$	$Q = 20,400 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 55 \text{ mm}, n = 0,056$	$Q = 0,271 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 31 \text{ mm}, n = 0,052$	

4. NEUDRŽOVANÉ KORYTO S PLEVELNOU TRÁVOU A S ŘÍDKÝMI KEŘI

součinitel drsnosti:	minimum – 0,035	optimum – 0,050	maximum – 0,060
$Q = 0,080 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 44 \text{ mm}, n = 0,052$	$Q = 0,200 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 44 \text{ mm}, n = 0,052$	$Q = 0,101 \text{ m}^3/\text{s}, d_p = 54 \text{ mm}, n = 0,060$	

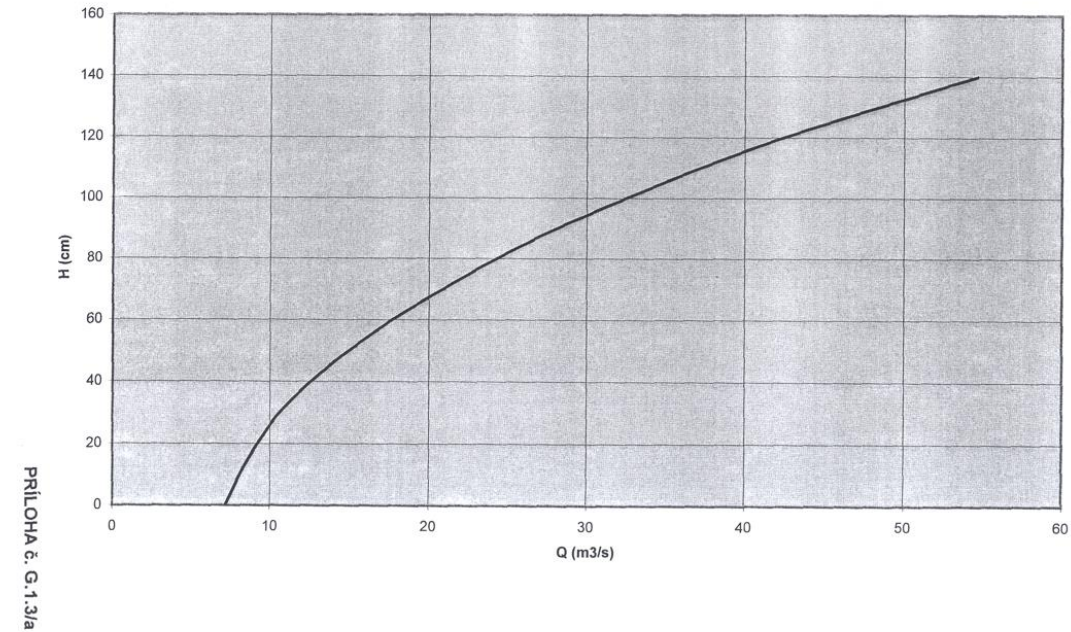
D. PŘÍROZENÁ VELKÁ KORYTA

1. VELKÝ PRAVIDELNÝ TOK BEZ BALVANŮ A KEŘÍ

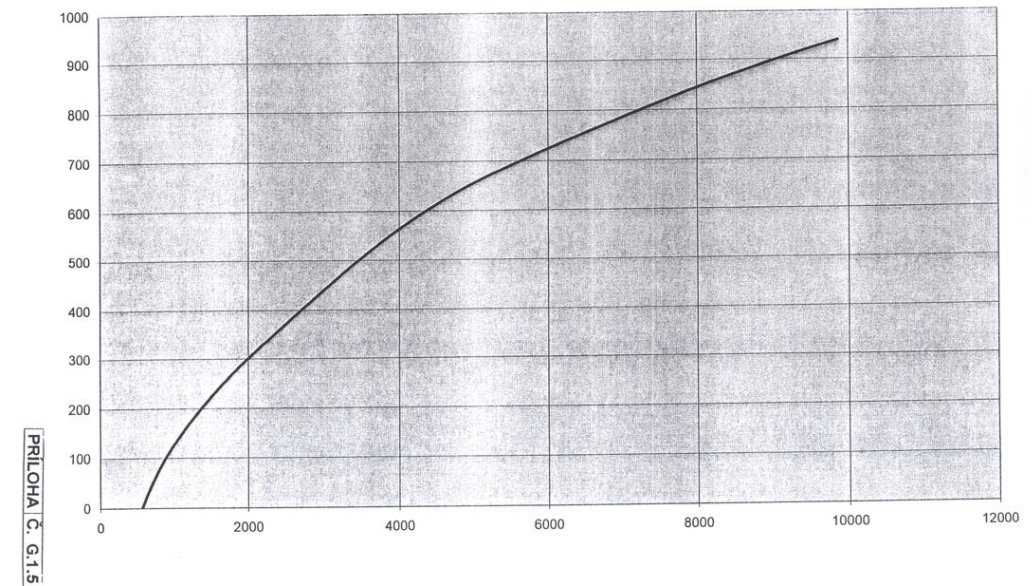
Hydrometria

- Z vyššie uvedených spôsobov merania prietoku vyplýva, že merať denne prietok podobne ako vodný stav na všetkých významných vodných tokoch by bolo mimoriadne nákladné, pri povodniach často nemožné
- Pre denné hodnoty prietoku sa používa závislosť medzi vodným stavom a prietokom pomocou konštrukcie **mernej krivky prietoku (konzumčnej krivky)** = graf závislosti medzi vodným stavom a prietokom v danom profile rieky
- Väčší počet hodnôt prietoku zistených pri rôznych hodnotách hladiny nám umožňuje zistiť vzťah medzi prietokom $Q=f(H)$, a teda nájsť odvoditeľný prietok pre akúkoľvek nameranú hodnotu vodného stavu
- Merné krivky prietoku sa v jednotlivých merných profiloch aktualizujú pravidelne na základe prieskumov a rôznou metódou v závislosti od charakteru koryta rieky

MERNÁ KRIVKA - MOŠONSKÝ DUNAJ V PROFILE ČUNOVO



MERNÁ KRIVKA DUNAJA V PROFILE MEDVEĐOV-MOST



Hydrometria

- ▶ **Čiara prekročenia denných prietokov** je základnou čiarou, ktorá umožňuje zhodnotenie pravdepodobnosti výskytu jednotlivých prietokov respektíve stavov hladín. Umožňuje definovať pravdepodobnosť prekročenia respektíve nedosiahnutia prietoku v priebehu roka. Tabuľkovo sa počíta pravdepodobnosť výskytu 30, 60, 90, 120, 150, 180, 270, 364 dňovej vody.
- ▶ Konštrukcia čiary prebieha v krokoch:
 - ▶ usporiadanie prietokov respektíve stavov hladín zostupne
 - ▶ výpočet pravdepodobnosti podľa vzťahu:
 - ▶ **Na Slovensku sa používa**
$$x = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \times 100\%$$
 - ▶ kde **m** je poradie a **n** je počet dní v roku
 - ▶ zobrazenie vzťahu pravdepodobnosť v % a prietokov

