



Ekologie tekoucích vod

PřFUK, MB162PO2, Katedra ekologie, 2008



Josef K. Fuksa, Kat. ekologie PřFUK, VÚV T.G.M.,
 Zuzana Hořícká, Kat. ekologie PřFUK,
 Jakub Langhammer, Kat. fyz. geografie etc. PřFUK,
 Daniel Mattas, Kat. hydrauliky a hydrologie, FS ČVUT,
 Ondřej Slavík, VÚV T.G.M.




Ekologie tekoucích vod

Základní hydrologické elementy a přístupy

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.
 Katedra fyzické geografie a geoekologie
 Přírodovědecká fakulta
 Univerzita Karlova v Praze

Program

- ┃ Základní geografické elementy vodního prostředí
 - ┃ Povodí – vymezení a tvar
 - ┃ Říční síť – struktura, tvar a hierarchie
 - ┃ Vodní tok – základní elementy
- ┃ Vliv hydrografických charakteristik povodí na odtokový proces


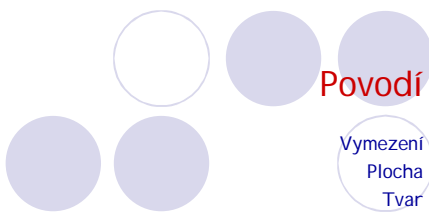


Literatura

- ┃ Chow, Ven Te (1959): Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill
- ┃ Goudie, A. (1993): The Nature of the Environment. Oxford: Blackwell Publishers.
- ┃ Kemel, M. (1994): Hydrologie. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- ┃ Netopil, R. a kol. (1984): Fyzická geografie 1. SPN, Praha.
- ┃ Netopil, R. (1970): Základy hydrologie povrchových a podpovrchových vod. SPN, Praha.
- ┃ Strahler, A., Strahler, A. (2000): Introducing Physical Geography. Wiley, New York.

Základní elementy systému vodního prostředí

- ┃ Základní geografické elementy prostorových struktur systému povrchových vod
 - ┃ Povodí
 - ┃ Říční síť
 - ┃ Vodní tok
 - ┃ Koryto
- ┃ Metodický aparát pro analýzu prostorových aspektů systému povrchových vod
 - ┃ Hydrografie
 - ┃ Geoinformatika

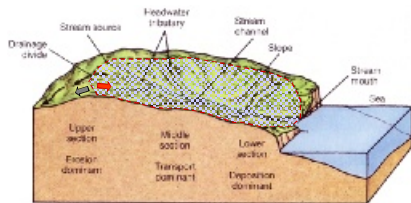



Povodí

Vymezení
 Plocha
 Tvar

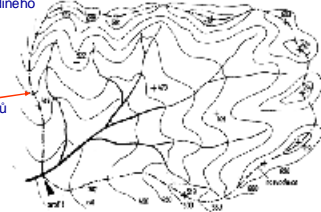
Povodí

- | Základní hydrologická oblast, na které zkoumáme odtokový proces a zjišťujeme vzájemný vztah bilančních prvků



Povodí - rozvodnice

- | Vymezení povodí
 - | Uzavřené území, z něhož voda, na něj srážkami spadlá, odtéká povrchovou i podzemní cestou do jediného závěrečného profilu
- | Hranice povodí rozvodnice
- | Průběh rozvodnice podle vrstevnic a vrcholů
- | Hydrologické povodí x
- | Hydrogeologické povodí



Povodí - rozvodnice

- | Nejednoznačnost vymezení hranice povodí
 - | Bifurkace
 - | rozdělení říční sítě na více ramen, odvádějících vodu do jiného povodí
 - | Říční pirátství
 - | načerpávání sousedního povodí zpětnou erozí
- | Příčiny
 - | Přírozené – geomorfologie a vývoj reliéfu
 - | Antropogenní zásahy do říční sítě



Říční pirátství - Casiquiare

přírodní propojení Orinoka a Rio Negro



- | Orinoko se štěpí v oblasti Tama-Tama
- | 1/3 průtoku je odváděna řekou – kanálem Casiquiare do povodí Amazonky
- | Délka kanálu 320 km
- | Od soutoku s Guainía vytváří Rio Negro.
- | Rio Negro po 800 km ústí do Amazonky.
- | Objevil jezuita páter Roman (1744), prozkoumal a popsal Humboldt (1804)

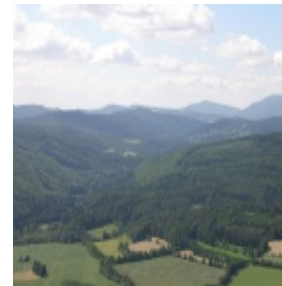


Orinoko - Casiquiare



Geografické charakteristiky povodí

- | Plocha
- | Vývoj povodí
- | Tvar
- | Výškové poměry



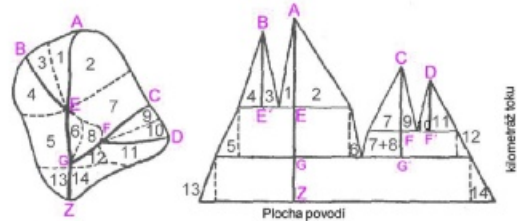
Vývoj povodí

- Stanovení plochy povodí
 - Kartometrie
 - GIS
- Stanovení plochy dílčích povodí
- Mezipovodí
- Vyjádření vývoje plochy povodí



Graf vývoje povodí

- Pravoúhlý graf vývoje povodí
 - vyjádření nárůstu plochy povodí podle vzdálenosti od pramene.



Tvar povodí

Obecný princip kvantitativního hodnocení tvaru povodí:
- vyjádření míry jeho kruhovitosti nebo protáhlosti.

Gravelliův koeficient

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P \cdot \pi}}$$

L_R ... délka rozvodnice
P ... plocha povodí

Koeficient protáhlosti povodí (Elongation ratio)

$$R_E = \frac{2 \cdot \sqrt{P/\pi}}{L}$$

L ... délka povodí
P ... plocha povodí



Tvar povodí

Charakteristika povodí

$$a = \frac{P}{L^2}$$

L ... délka povodí
P ... plocha povodí



tvar	Př. 50 km ²	P > 50 km ²
protáhý	< 0.24	< 0.18
přechodný	0.24 – 0.26	0.18 – 0.20
vějíťovitý	> 0.26	> 0.20

Výškopisné poměry povodí

1. Převýšení

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min}$$

2. Spád povodí

$$I = \frac{\Delta h}{\sqrt{P}}$$

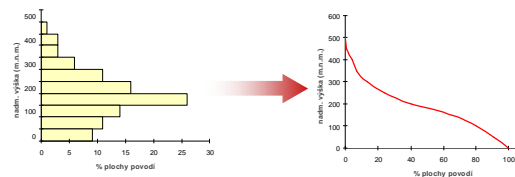
3. Koeficient reliéfu

$$R_h = \frac{\Delta h}{L}$$

Hypsografická křivka

Vyjádřuje podíl plochy výškových pásem na celkové ploše povodí


- Vyjádřuje vlastnosti reliéfu
- Použití v hydrologii a geomorfologii





Hierarchické uspořádání říční sítě

- Řádovost vodních toků
- Různé modely systému hierarchického uspořádání vodních toků v říční síti
- Hlavní systémy
 - Absolutní pořadí toku
 - Relativní řád toku – Strahler
 - Magnitudo toku - Shreve



Absolutní pořadí toku

Absolutní model řádovosti

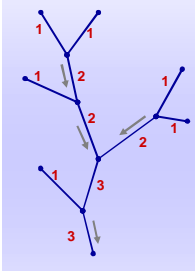
- Řád toku udává počet posloupných zaústění od moře
- Toky prvního řádu ústí do moří a oceánů
- Toky druhého řádu tvoří přítoky toků prvního řádu, atd.



Relativní model řádovosti toků


Strahler - model řádovosti

- Hodnoceny ne toky, ale úseky mezi soutoky
- Toky 1. řádu
 - pramenné úseky toků
- Zvýšení řádu
 - soutok toků stejného řádu



Strahler - význam

- V tocích stejného řádu můžeme **ve stejných** (antropogenně neovlivněných) geografických, klimatických a geologických **podmínkách** nalézt **srovnatelná společenstva** vodních organismů, stejné fyzikální podmínky nebo stejné nebo velmi podobné pozadové (neovlivněné) koncentrace chemických látek.
- Řád toku podle Strahlera je v ekologické literatuře používán jako základní souhrnná typologická charakteristika.



Řádovost a morfometrie toků

Hortonovy zákony uspořádání říční sítě

- počet toků určitého řádu **klesá** geometrickou řadou spolu se stoupajícím číslem řádu
- průměrná délka toku** určitého řádu geometricky **stoupá** spolu s rostoucím číslem řádu
- průměrná plocha** povodí toku určitého řádu geometricky **stoupá** s rostoucím číslem řádu

*Příklad – Lužanka
přítok Cidlina
Absolutní řád 3-5
Strahler 1-4*



Kvantifikace morfometrických charakteristik hierarchie říční sítě

R_b koeficient bifurkace

- podíl počtu toků určitého řádu počtem toků a počtu toků s řádem o 1 vyšším
- koeficient bifurkace povodí – průměr z dílčích hodnot
- obvyklé hodnoty 2-5

řád toku	počet toků	R _b
1	60	3.0
2	20	2.0

Analogie – R_l, R_a

- R_l koeficient délky toků
- R_a koeficient plochy povodí

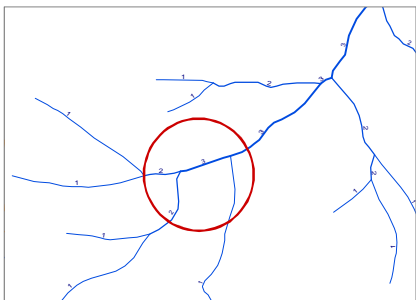
Výpočet charakteristik R_b RI

Příklad

- povodí – celkem 88 toků všech řádů
- celková délka toků 80 km

řád toku	počet toků	R _b	celková délka toků	průměrná délka toků	RI
1	60	3.0	40.0	0.7	0.7
2	20	4.0	20.0	1.0	2.0
3	5	2.5	10.0	2.0	1.5
4	2	2.0	6.0	3.0	1.3
5	1	4.0	4.0	4.0	0.5
povodí	88	2.88	80.00	2.13	1.21

Strahler – ukázka (povodí Želivky)



Aplikace Strahlerovy metody - vymezení vodních útvarů

- Rámcová směrnice o ochraně vod - WFD
 - „Předmětem Rámcové směrnice je ochrana a zlepšování stavu všech vod“.
- Základní podmínkou úspěchu WFD je stav vodních útvarů – vodní útvary jsou jednotky pro stanovení shody se základními environmentálními cíli WFD.
- Základní prostorovou jednotkou WFD pro management a stanovení environmentálních cílů - vodní útvar (WB)
- Princip vymezení vodních útvarů – řádovost dle Strahlera



Vodní útvary v ČR

Nejmenší samostatnou jednotkou je tok řádu 4 podle Strahlera a jemů odpovídající povodí.

- Vodní útvary toků 4. řádu podle Strahlera označujeme jako „horní“, protože výše už neleží žádný samostatný vodní útvar a jejich rozvodnice tvoří hranici s jinými povodími toků 4. nebo vyššího řádu.
- Toky vyšších řádů (5-8) jsou považovány za samostatné („průtočné“) vodní útvary včetně jejich mezipovodí.

Na celém území ČR vymezeno celkem 1002 vodních útvarů tekoucích povrchových vod.



Typologie vodních útvarů - geografické charakteristiky

- Typologie vodních útvarů tekoucích povrchových vod
- Geografická analýza dalších charakteristik vodních útvarů
 - Příslušnost k ekoregionu
 - Nadmožská výška uzávěrového profilu toku.
 - Typ geologického podloží
 - Plocha povodí k uzávěrovému profilu toku.
- Kombinací typologických charakteristik bylo 1100 vodních útvarů v ČR rozděleno do 89 typů.
- Sousedící vodní útvary stejného typu následně sdruženy do skupin vodních útvarů.
- Celkem 220 skupin vodních útvarů a 296 samostatných vodních útvarů, které tvoří skupinu.



VÚV (2004): Vodní útvary v ČR Východní vymezení vodních útvarů povrchových a podzemních vod a typologie vodních útvarů povrchových vod. VÚV Třetí. Praha.

Strahler - problémy

Data

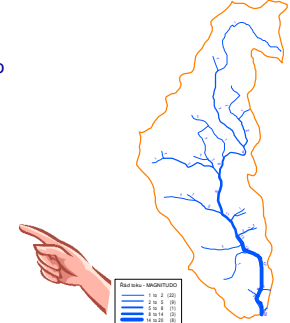
- potřeba podrobné mapy – alespoň 1:50000
- řada zdrojnic není na mapách zachycena, pro hodnocení jsou ale rozhodující
- pro podrobné hodnocení kombinace map s fotogrametrií
- Citlivost na generalizaci kartografických podkladů
- Přes možnost kvantifikace neexistuje obecně platný vztah morfometrie povodí k charakteristikám odtoku

Magnitudo toku - Shreve

Princip členění

- Tok rozdělen na elementy, obdobně jako u Strahlera
- Element 1. řádu - zdrojnice
- Magnitudo úseku = počet elementů 1. řádu na výše položených úsecích

Příklad – Lužanka
Magnitudo 1-20
Strahler 1-4



Hustota říční sítě

Poměr délky všech vodních toků k celkové ploše povodí

Vyjadřuje schopnost krajiny odvádět vodu z povodí – souvislost s Q

$$r = \frac{\sum L}{P}$$

Závisí na:

- morfologii povrchu
- vegetaci
- klimatických poměrech
- geologických poměrech
- land-use
- aj.



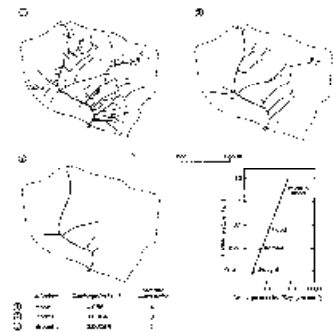
Hustota říční sítě

Změna říční sítě v závislosti na klimatických poměrech

- v rámci roku
- mezi periodami

Hustota říční sítě a řádovost povodí podle Strahlera

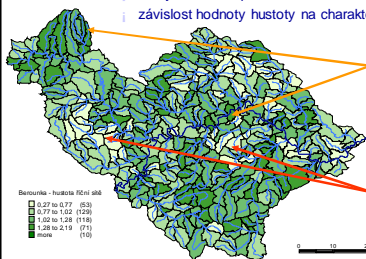
Hustota říční sítě a průtok



Hustota říční sítě

Příklad - povodí Berounky

- Podklad – digitální ZVM 1:50 000
- Analýza GIS MapInfo
- závislost hodnoty hustoty na charakteru reliéfu a využití území



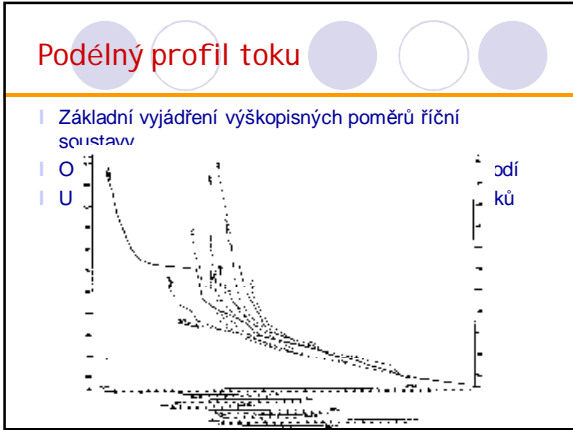
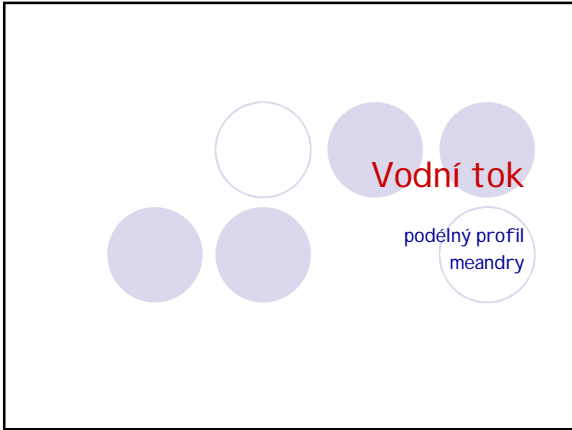
nejvyšší hustota v hornatých a zalesněných oblastech Brd, Hřebenů, Slavkovského lesa a Doupovských hor

nejnižší hustota říční sítě je v zemědělsky využitých zarovnaných úsecích toků – střední a dolní povodí Rakovnického potoka, Litavky, Klavavy a vlastní Berounky

Uspořádání říční sítě



- stromovité
- pravoúhlé
- listovité
- vějířovité
- paralelní
- prstencovité
- neuspořádané
- doštědivé



Meandry

- Nepřetržitá erozně-akumulační činnost v důsledku nerovnoměrného rozdělení rychlostí proudění v příčném profilu koryta
- Činnost vody v meandru
- Částice vody směřují setrvačností šikmo ke břevu
- Zde narážejí a rozrušují – běh nárazový (výsepr konkávní)
- Na protilehlém břehu dochází k poklesu rychlosti proudění, unášecí schopnosti a tím k sedimentaci – běh

Vznik meandru

Vynucená (orografická) křivolakost toku

- přizpůsobení se toku geologickým a geomorfologickým poměrům

Hydraulická křivolakost – volné zákruty

- důsledek složitých podmínek proudění v korytě, nerovnoměrné odolnosti a struktuře břevu nebo překážek v korytě toku

Pohyb meandrů

- Meandry se díky nepřetržité erozně-akumulační činnosti toku a působení gravitace vyvíjejí ve dvou směrech:

- Zvětšování amplitudy meandrů
- Posun v meandrovém pásu

Zvětšování amplitudy meandrů

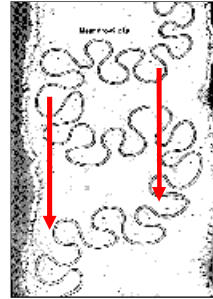
- Amplituda meandrů se díky erozně-akumulační činnosti zvětšuje
- Postupně dochází ke vzniku zaklesnutých meandrů
- Pokud se dvě protilehlá ramena meandru přiblíží příliš blízko, dochází k zaškrcení meandru a vzniku mrtvého ramene a k druhotnému napřimění toku

Zvětšování amplitudy meandrů

! Příklad – zaklesnutý meandr na dolním toku Rakovnického potoka u Křivokláta



Posun v meandrovém pásu



! Zákruty meandru se pozvolna posouvají ve směru sklonu údolního dna

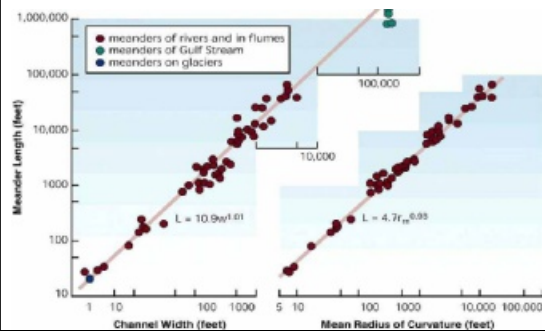
! Dochází k posunu celé struktury meandrového pásu směrem po toku

Ukázka – meandrový pás Vltavy

! soutok Studené a Teplé Vltavy nad nádrží Lipno



Meandry – morfometrické vztahy

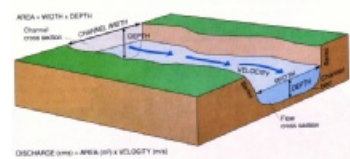


Koryto toku

! Vztah koryta toku k proudění

- ! sklon hladiny
- ! plocha průtočného profilu
- ! drsnost koryta

$$Q = A \cdot v$$



Koryto toku

Morfometrie koryta
Vztah k průtoku

Příčný profil koryta toku

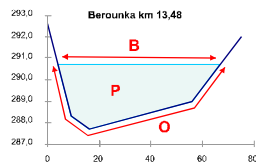
Průtočný profil – část příčného řezu korytem, kterým protéká voda

P Plocha průtočného profilu

B Šířka průtočného profilu

O Omočený obvod - délka omočené části průtočného profilu

R Hydraulický poloměr
vyjádření odporu třením o dno a břehy



$$R = \frac{P}{O}$$

Vztah morfometrie koryta k odtokovým poměrům

Hlavní faktory, ovlivňující parametry odtoku

1. tvar příčného profilu – hydraulický poloměr
2. sklon čáry energie – sklon hladiny
3. drsnost dna – Manning, tabulky, měření

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

v... rychlost proudění
R... hydraulický poloměr
I... sklon čáry energie
n... drsnost

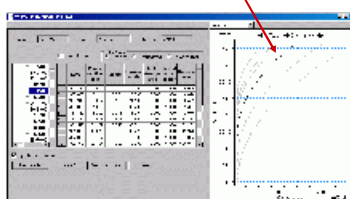
Tabulka Manningova koeficientu drsnosti n

Koeficient drsnosti n pro různé charakteristiky koryta

příčný profil	vegetace	dnový materiál		
		písek a štěrk	hrubý štěrk	balvany
pravidelný	žádná	0,020	0,030	0,050
nepravidelný	žádná	0,030	0,040	0,055
pravidelný	mírná	0,040	0,050	0,060
nepravidelný	mírná	0,050	0,060	0,070
velmi nepravidelný	žádná	0,055	0,070	0,080
velmi nepravidelný	bujná	0,080	0,090	0,100

Ukázka výpočtu hydraulických parametrů

- Výpočet hydraulických parametrů koryta pomocí modelů
- Modely – HEC-RAS, MIKE 11, Hydrocheck aj.
- Ukázka – model proudění v úseku Vltavy mezi Hněvkovicemi a Orlíkem

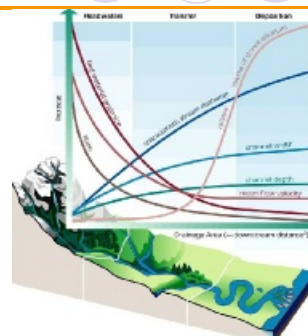


Vliv geografických činitelů na odtokový proces

Vývoj základních elementů toků v jednotlivých zónách toku

Rozdílná morfometrie a charakter procesů v hlavních zónách toku

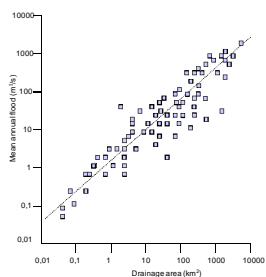
- horní tok
- střední tok
- dolní tok



Vliv geografických charakteristik na odtokové poměry

I Plocha povodí

- i větší plocha povodí
 - à vyšší průměrný Q
 - à vyšší hodnoty průměrné roční povodně
- i menší plocha povodí
 - à vyšší specifický odtok při povodni

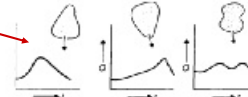


I Hustota říční sítě

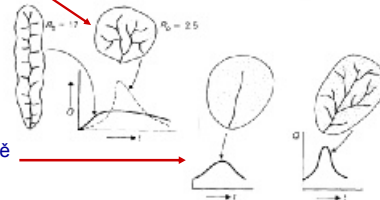
- i vyšší hustota ř.s.
 - à vyšší hodnoty průměrné roční povodně

Vliv geografických charakteristik na odtokové poměry

•Tvar povodí



•Uspořádání říční sítě



•Hustota říční sítě