

# Fluviální geomorfologie

## Lekce 3



Říční síť: kvantitativní  
analýza, vznik erozního zářezu,  
vývoj údolní sítě

# Osnova přednášky

- Analýza říční sítě pomocí topografických map
- Řád toku
- Zákony stavby říční sítě
- Hustota údolní sítě
- Pravděpodobnostně-topologický přístup ke studiu říční sítě
- Vznik erozního zářezu
- Modely vývoje údolní sítě
- Pozorování vývoje údolní sítě v přírodě

# Analýza říční sítě

- Pro analýzu říční sítě se zpravidla používají topografické mapy velkých měřítek (1:25 000).
- Vymezení říční sítě podle sítě modrých čar znázorňující stálé vodní toky + doplnění o občasné toky (podle vrstevnic).
- Říční síť = systém trvale protékaných vodních toků; údolní síť = systém všech erozních zářezů v povodí (stálé + občasné vodní toky).
- Kritéria pro vymezení pramenných úseků vodních toků – např. Bauer (1980):
  - alespoň dvě vrstevnice musí být zakřivené stejným směrem,
  - vrstevnice nesmí svírat úhel větší než 120°.

# Stavba říční sítě

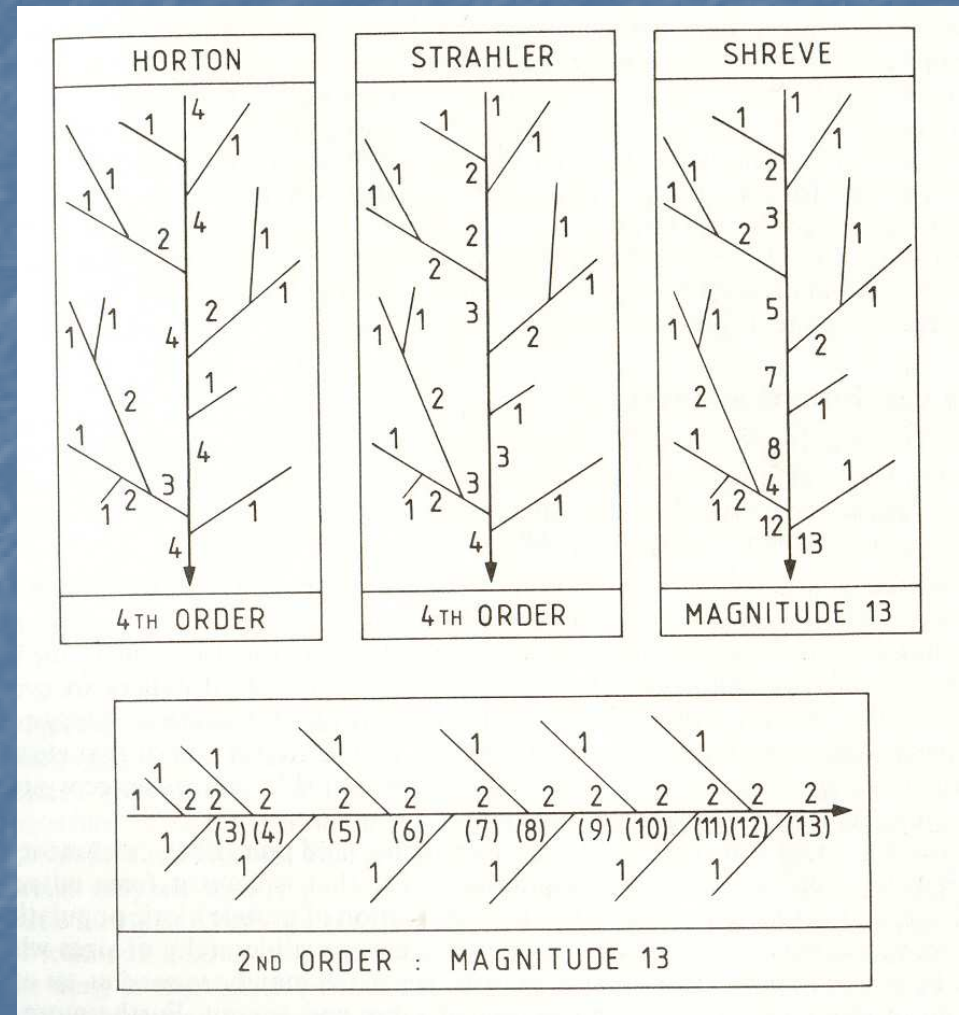
- Stavbou říční sítě se rozumí její geometrické a topologické vlastnosti.
- Geometrii říční sítě lze kvantitativně popsat např. pomocí:
  - řádu toku,
  - hustoty říční sítě,
  - orientace říční sítě.

## Řád toku

- Řád toku = způsob klasifikace říčního úseku podle jeho postavení v hierarchii říční sítě.

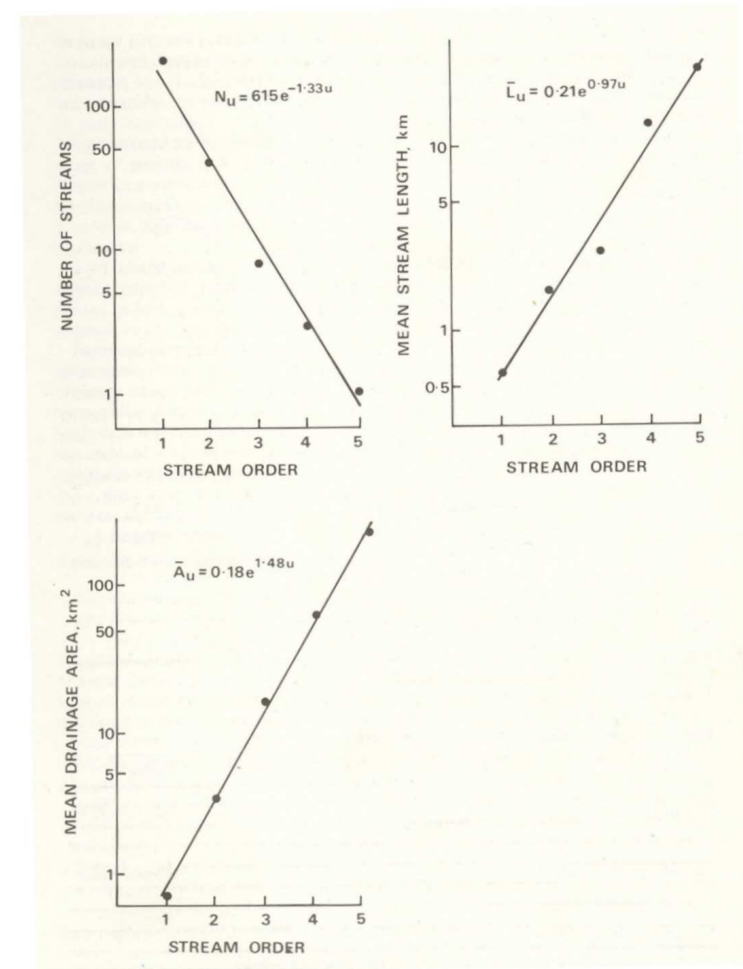
# Horton-strahlerův systém řádu toku

- Nejmenší zdrojnice začínající pramenem jsou 1. řádu.
- Spojením dvou toků řádu  $m$  vznikají toky řádu  $m+1$  ( $m*m = m+1$ ).
- Spojením dvou toků s rozdílnými řády  $m$  a  $n$ , kde  $n > m$  vzniká tok řádu  $n$  ( $m*n = n, n > m$ ).
- Shreveho systém – magnitudo = počet zdrojnic v povodí.
- Základní stavební jednotka údolní sítě:
  - Horton - vodní tok (řeka od pramene po ústí),
  - Strahler - segment (úsek řeky mezi pramenem a prvním soutokem nebo mezi dvěma soutoky),
  - Shreve – link.



# Zákony stavby údolní sítě

- Zákony stavby říční sítě popisují závislost vybraných geometrických vlastností povodí na řádu toku:
  - zákon počtu toků,
  - zákon délky toků,
  - zákon ploch povodí.



# Zákony stavby údolní sítě

Table 2.1 Laws of drainage network composition

	Ratio form	Functional form	Author
Law of stream numbers	$\frac{N_{u-1}}{N_u} \approx R_B$	$N_u \approx \alpha_1 e^{-\beta_1 u}$ , where $\beta_1 = \ln R_B$	Horton (1945)
Law of stream lengths	$\frac{\bar{L}_u}{\bar{L}_{u-1}} \approx R_L$	$\bar{L}_u \approx \alpha_2 e^{\beta_2 u}$ , where $\beta_2 = \ln R_L$	Horton (1945)
Law of drainage areas	$\frac{\bar{A}_u}{\bar{A}_{u-1}} \approx R_A$	$\bar{A}_u \approx \alpha_3 e^{\beta_3 u}$ , where $\beta_3 = \ln R_A$	Schumm (1956)

Symbols:  $N_u, \bar{L}_u, \bar{A}_u$ , are respectively the number, average length and average drainage area of streams of order  $u$ ;  $R_B$ , bifurcation ratio;  $R_L$ , stream length ratio;  $R_A$ , drainage area ratio;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  are coefficients

- $R_B$  ... bifurkační koeficient
- $R_L$  ... koeficient délky toků
- $R_A$  ... koeficient plochy povodí

# Vztahy mezi délkou toku a plochou povodí

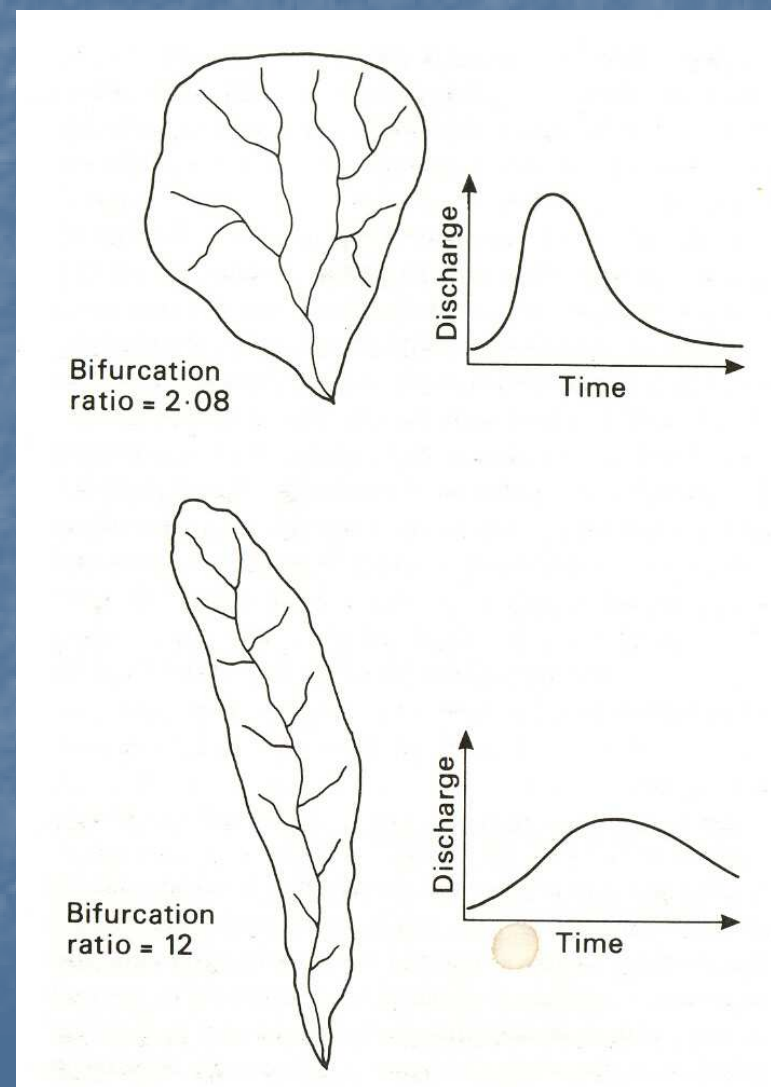
- Konstanta zabezpečení toku = minimální plocha která je v daných přírodních podmínkách nezbytná k existenci jednotkové délky vodního toku.

$$C = A/\Sigma L = 1/Dd \text{ (m}^2\cdot\text{m}^{-1}\text{)}$$

- Vztah mezi délkou hlavního toku a plochou povodí:

$$L = 1,4A_d^{0,6}$$

- **Vliv** stavby říční sítě a tvaru povodí **na charakter povodňové vlny**; při  $R_B = 2,08$  rychlejší nástup a větší kulminační  $Q$  než při  $R_B = 12$ .



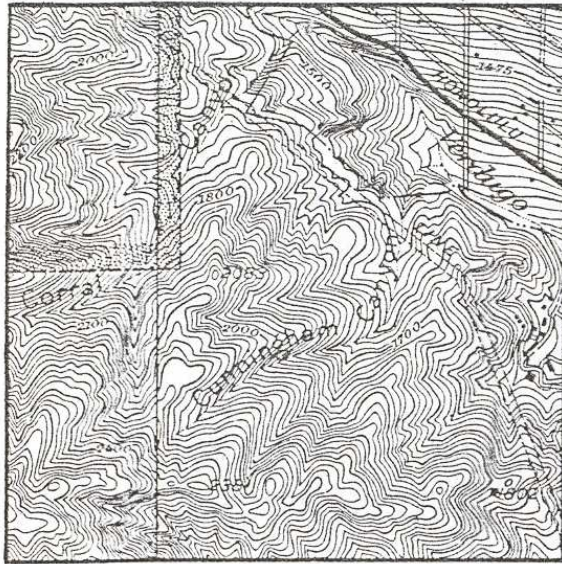


## Hustota údolní sítě

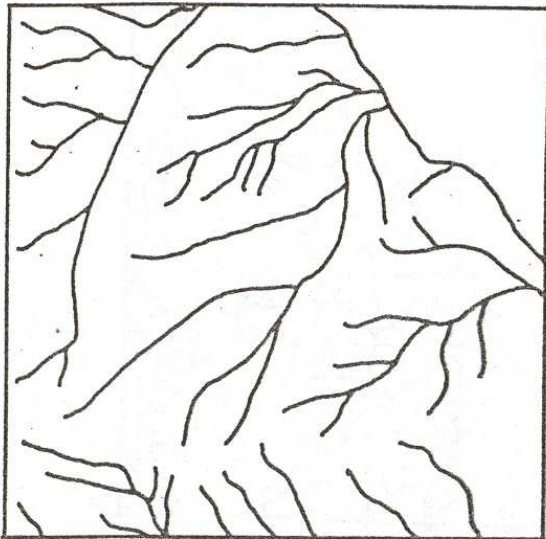
- Hustota údolní sítě ( $D_d$ ) – vyjadřuje stupeň rozčlenění povrchu povodí erozními zářezy.
- $D_d = \Sigma L / A_d$  ( $\text{km.km}^{-2}$ )
- $\Sigma L$  ... délka údolní sítě,  $A_d$  ... plocha povodí.
- Variační rozpětí kterého může  $D_d$  nabývat:  
Gregory (1976) – zkoumal 46 oblastí světa: 13 oblastí  $D_d > 15 \text{ km.km}^{-2}$ , 5 oblastí  $D_d > 20 \text{ km.km}^{-2}$ ; extrémní hodnoty – např. badland Zkamenělý les, USA, lehké erodovatelné jíly a břidlice,  $D_d = 250 \text{ km.km}^{-2}$ .
- ČR – např. krystalinické horniny Českomoravské vrchoviny,  $D_d$  kolem  $4 \text{ km.km}^{-2}$ .

# Rozdíly v $D_d$ mezi klimatickými oblastmi

## jižní Kalifornie

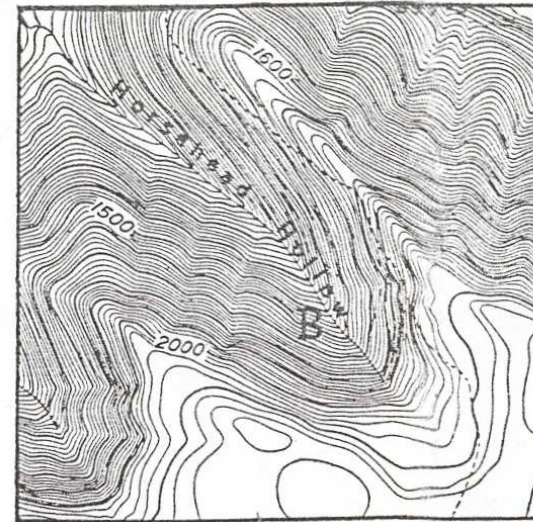


A.

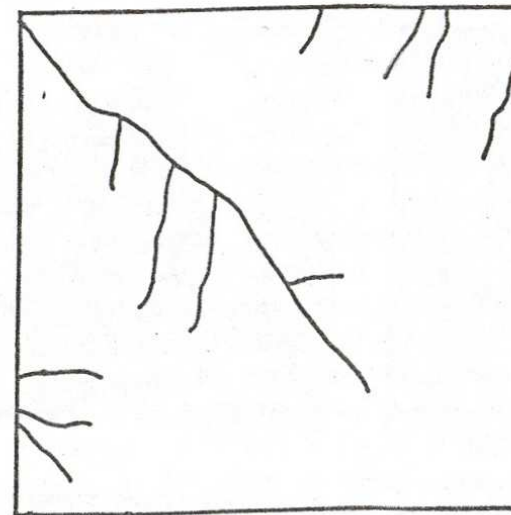


B.

## Pennsylvánie



A.



B.

# Proměnné ovlivňující hustotu údolní sítě

- Dvě skupiny faktorů ovlivňujících  $D_d$ :
  - faktory ovlivňující množství a charakter srážek, tzn. klima,
  - faktory ovlivňující následnou distribuci vody na zemském povrchu, tzn. topografie, geologie, půdy, vegetace.

- $D_d$  zhruba odpovídá v globálním měřítku **průměrnému ročnímu úhrnu srážek**.

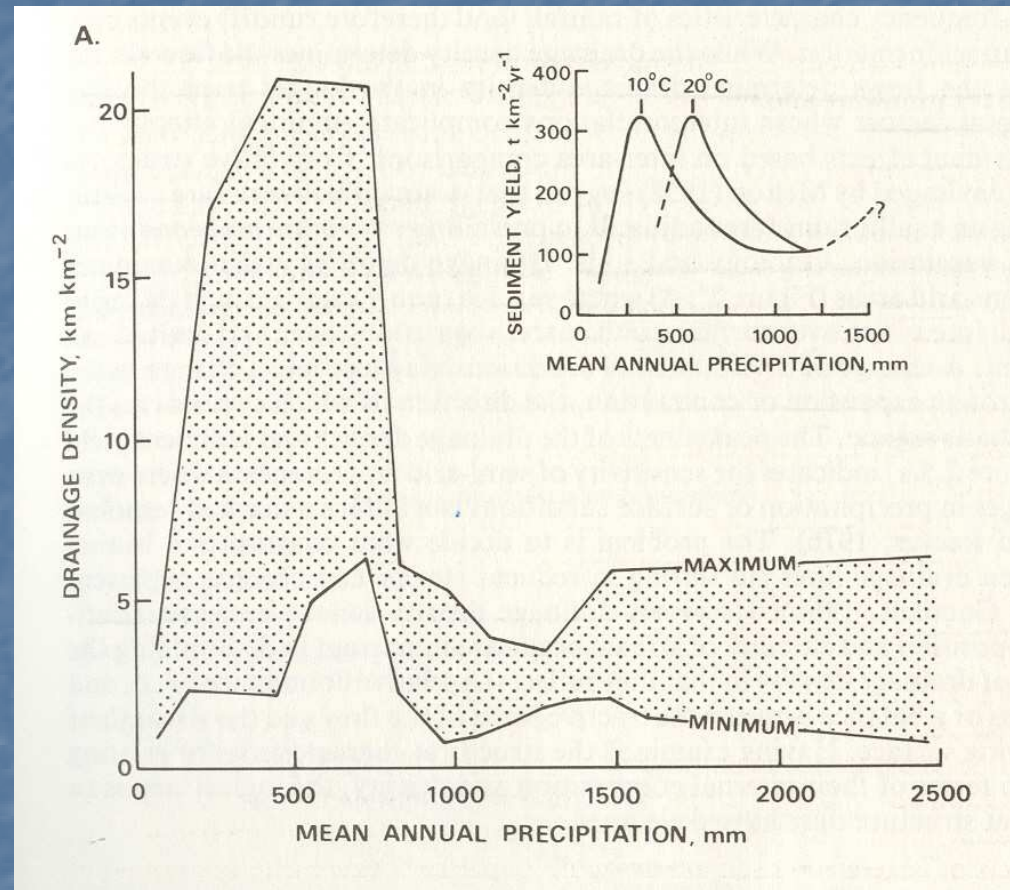
- **Intenzita srážek** – důležitější než roční úhrn, přívalové deště podmiňují větší hodnoty  $D_d$ .

*Příklad: Chorley – Morgan (1962), rozdíl v  $D_d$  mezi dvěma oblastmi Dartmoor, Anglie (2,1 km.km<sup>2</sup>) a Unaka Mts., jv. USA (6,9 km.km<sup>2</sup>) se stejným relativním převýšením a kompletně zalesněnými byl vyvolán rozdílnou intenzitou srážek.*

- **Sezónnost srážek** – oblasti se zřetelně vyvinutým sezónním režimem počasí mají zpravidla velkou  $D_d$ .

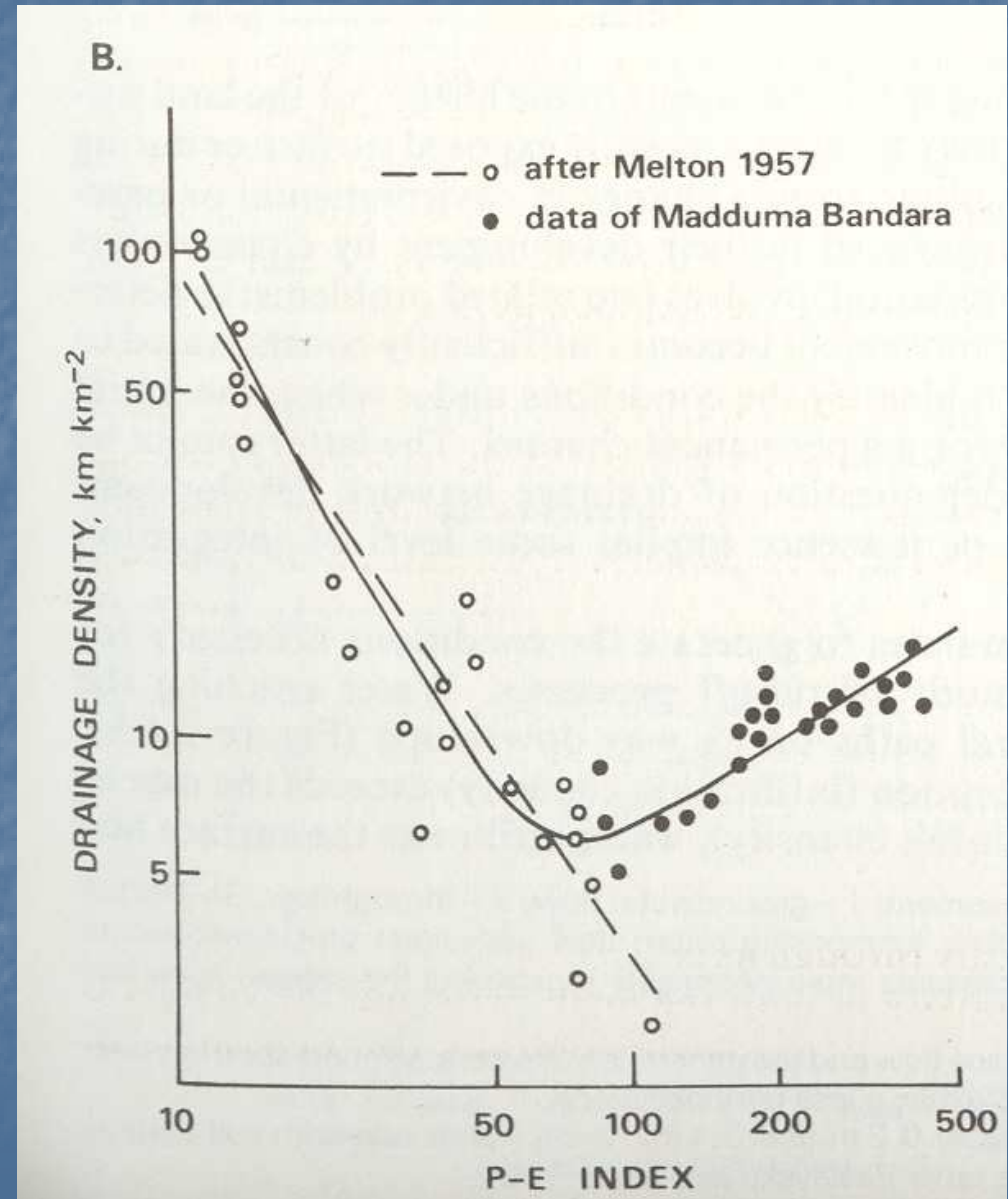
# Variabilita $D_d$ v globálním měřítku

- Maximální hodnoty dosahuje  $D_d$  v *semiaridních oblastech*, směrem k aridním i humidním oblastem se zmenšuje, druhotný nárůst se může objevit v sezónně nebo celoročně vlhkých tropech s ročním úhrnem srážek  $> 1500$  mm.



# Vztah $D_d$ a hustoty vegetace

- Účinnost srážek pro vytváření povrchového odtoku a erozi lze vyjádřit pomocí Thornthwaitova P-E indexu.
- Nad hodnotou P-E indexu 80 – 90 se vztah  $D_d$  a P-E indexu mění z negativního na pozitivní.
- Variabilita  $D_d$  v regionálním měřítku je způsobena hlavně propustností hornin – málo propustné horniny mají větší  $D_d$ .



# Hustota údolní sítě v regionálním měřítku

- Globální měřítko –  $D_d$  ovlivněna klimatem; regionální měřítko –  $D_d$  ovlivněna litologií a topografií.
- Demek (1953) – srovnání  $D_d$  v Moravském krase (vápence), na Dražanské vrchovině (droby, jílovité břidlice) a Brněnské vrchovině (granodiorit).

vápence =  $0,41 \text{ km.km}^{-2}$

droby, jílovité břidlice =  $0,80 \text{ km.km}^{-2}$

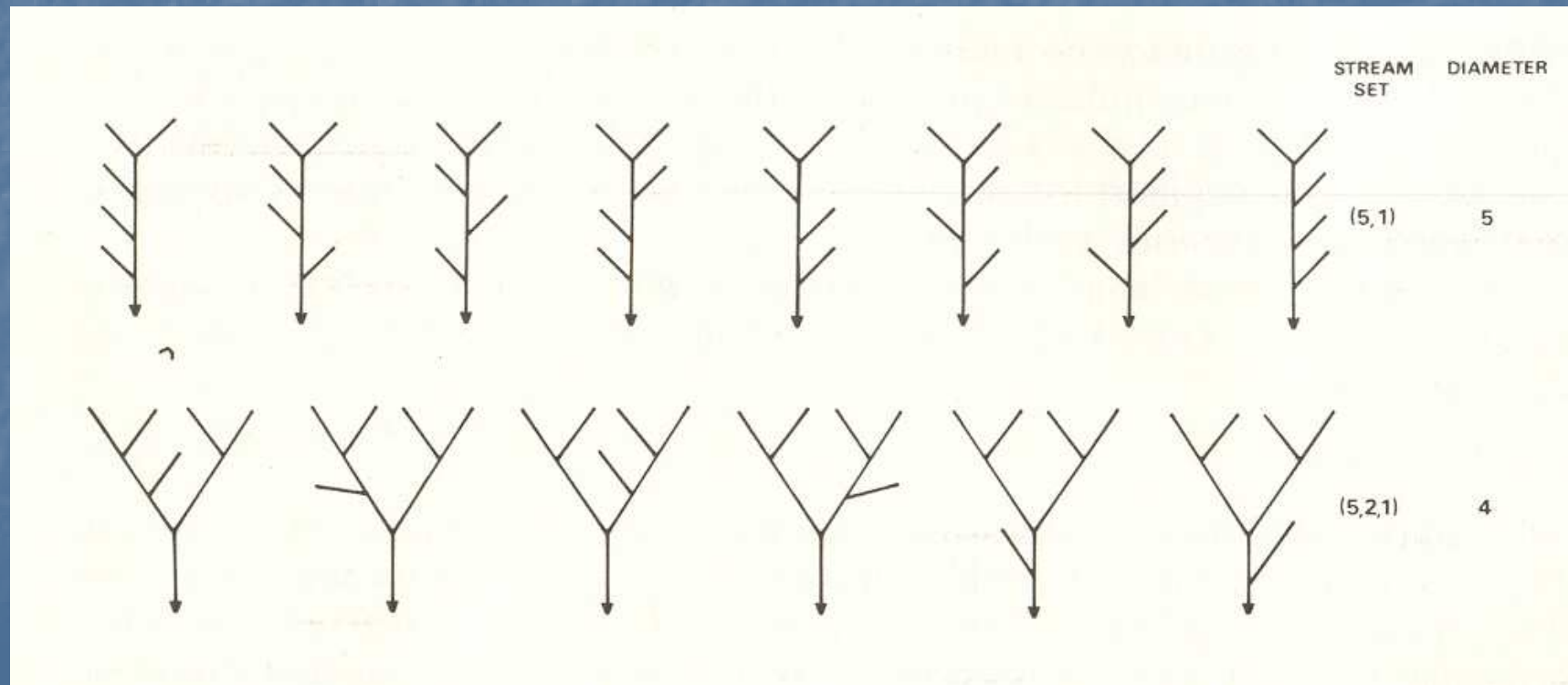
granodiority =  $0,93 \text{ km.km}^{-2}$

# Pravděpodobnostně-topologický přístup ke studiu stavby údolní sítě

- Pravděpodobnostně topologické modely stavby údolní sítě:
  - model náhodné topologie údolní sítě,
  - model náhodné délky linku.
- **Link** = nedělený úsek řeky mezi dvěma uzly (uzel = pramen, soutok a ústí).
- Typy linků:
  - *externí* (vnější) – spojují pramen a první soutok.
  - *interní* (vnitřní) – spojují dva soutoky nebo poslední soutok a ústí.
- Počet linků v údolní síti je roven  $2M - 1$   
M ... počet externích linků,  $M - 1$  ... počet interních linků
- **Magnitudo údolní sítě** = počet pramenů (zdrojnic, externích linků) v povodí.
- **Průměr údolní sítě** = maximální délka údolní sítě měřená počtem linků.

# Základní předpoklady pravděpodobnostně - topologického přístupu

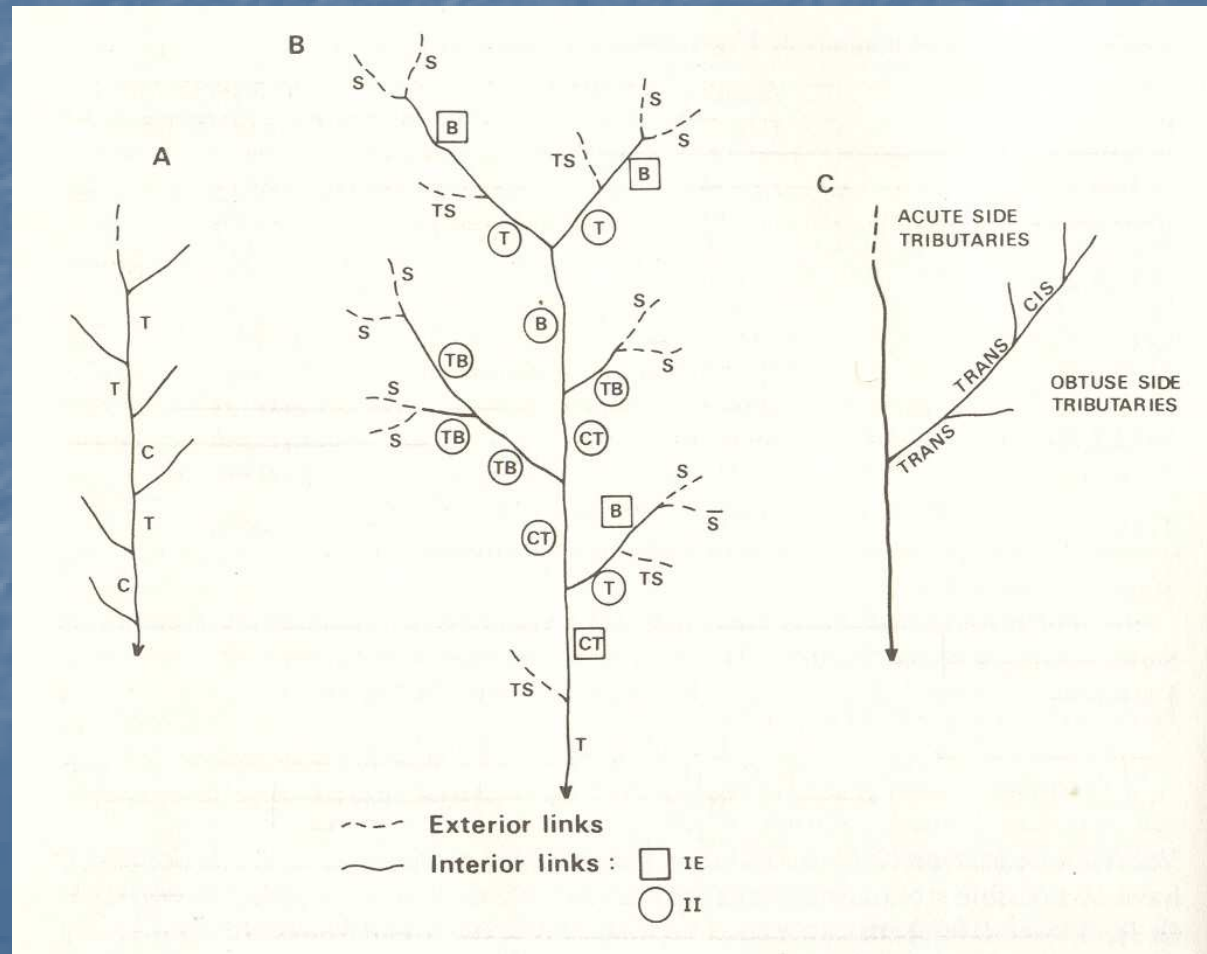
- Uspořádání údolní sítě je topologicky náhodné; tzn. že všechny *topologicky definované typy údolní sítě* (TDCN) o určitém magnitudu se v povodí vyskytují se stejnou pravděpodobností.
- Délky externích a interních linků jsou nezávislé na poloze v rámci sítě.





# Model náhodné topologie údolní sítě

- Typy interních linků:
  - **cis-linky** – přítoky na obou stranách linku ústí do toku ze stejné strany,
  - **trans-linky** – přítoky na obou stranách linku ústí do toku z opačných stran.
- V údolních sítích převažují trans-linky nad cis-linky.



# Model náhodné délky linku

- Odchyly od náhodnosti v délce linků:
  - délka interních linků má tendenci vzrůstat s řádem i magnitudem linku,
  - délka externích i interních linků se zvětšuje s magnitudem linku připojeného směrem dolů po proudu.
- Hlavní odchyly od modelu náhodné délky linků pro různé typy linků:
  - deficit krátkých cis-linků,
  - zdrojnice (S-linky ) bývají kratší než pramenné přítoky (TS-linky); rozdíl v délce se zvětšuje po proudu,
  - větší délka interních II linků oproti interním IE linkům.

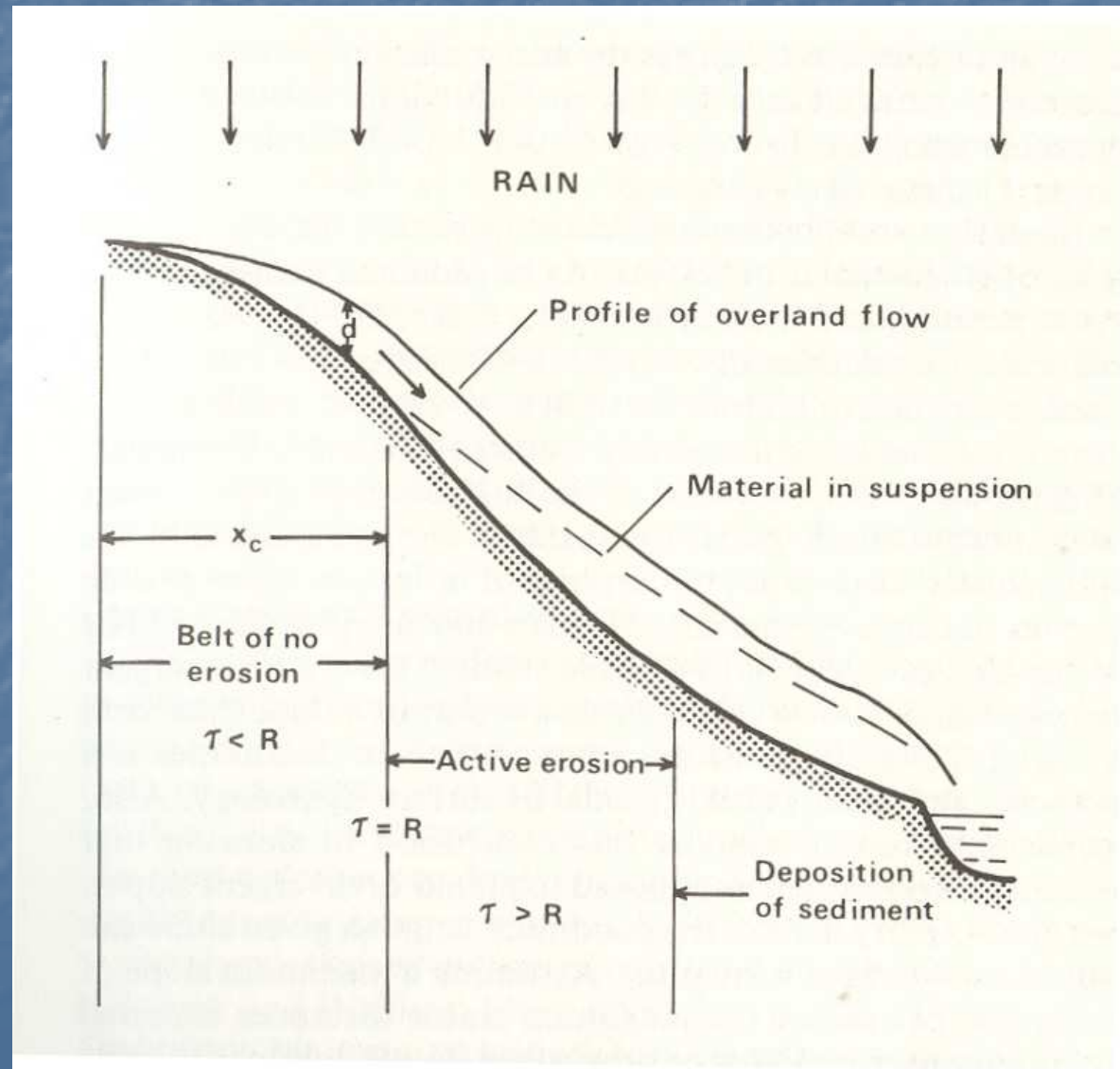
# Vznik erozního zářezu

- Povrchový odtok vyvolává na povrchu půdy řadu erozních jevů: dešťová eroze, plošný splach, stružková a stržová eroze.
- Protierozní účinky vegetace:
  - ochrana půdy před přímým účinkem dešťových kapek,
  - zlepšování půdní struktury,
  - zmenšování rychlosti s jakou voda po povrchu odtéká,
  - zvýšení mechanické pevnosti půdy.

# Vznik erozního zářezu působením povrchového odtoku

- Předpoklady vzniku trvalého erozního zářezu:
  - povrchový odtok se musí opakovat dostatečně často,
  - síla kterou působí odtok na povrch půdy musí překonat odolnost povrchu půdy vůči erozi,
  - musí dojít ke koncentraci povrchového odtoku do linie,
  - rýha která vznikne musí být dostatečně hluboká, aby se udržela a nezanikla.
- Napětí vyvolané na povrchu půdy povrchovým odtokem:  
 **$\tau = \gamma \cdot d \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta$**   
 $\gamma$  ... hustota vody,  $d$  ... průměrná hloubka odtoku,  $\theta$  ... sklon svahu v daném bodě.

# Hortonův model vzniku erozního zářezu povrchovým odtokem



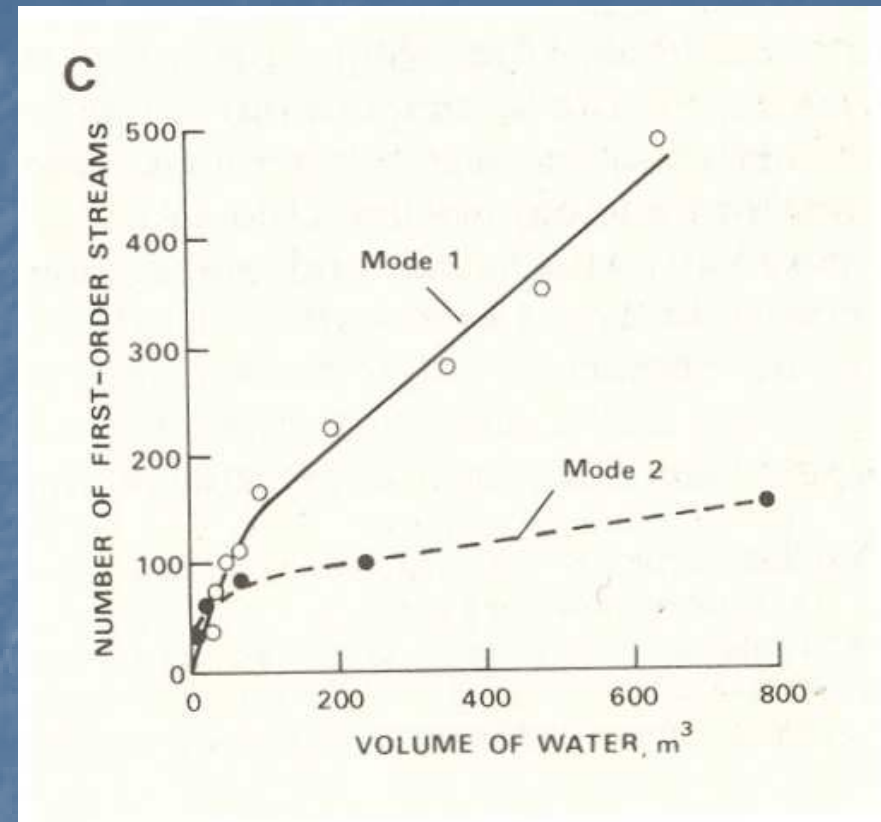
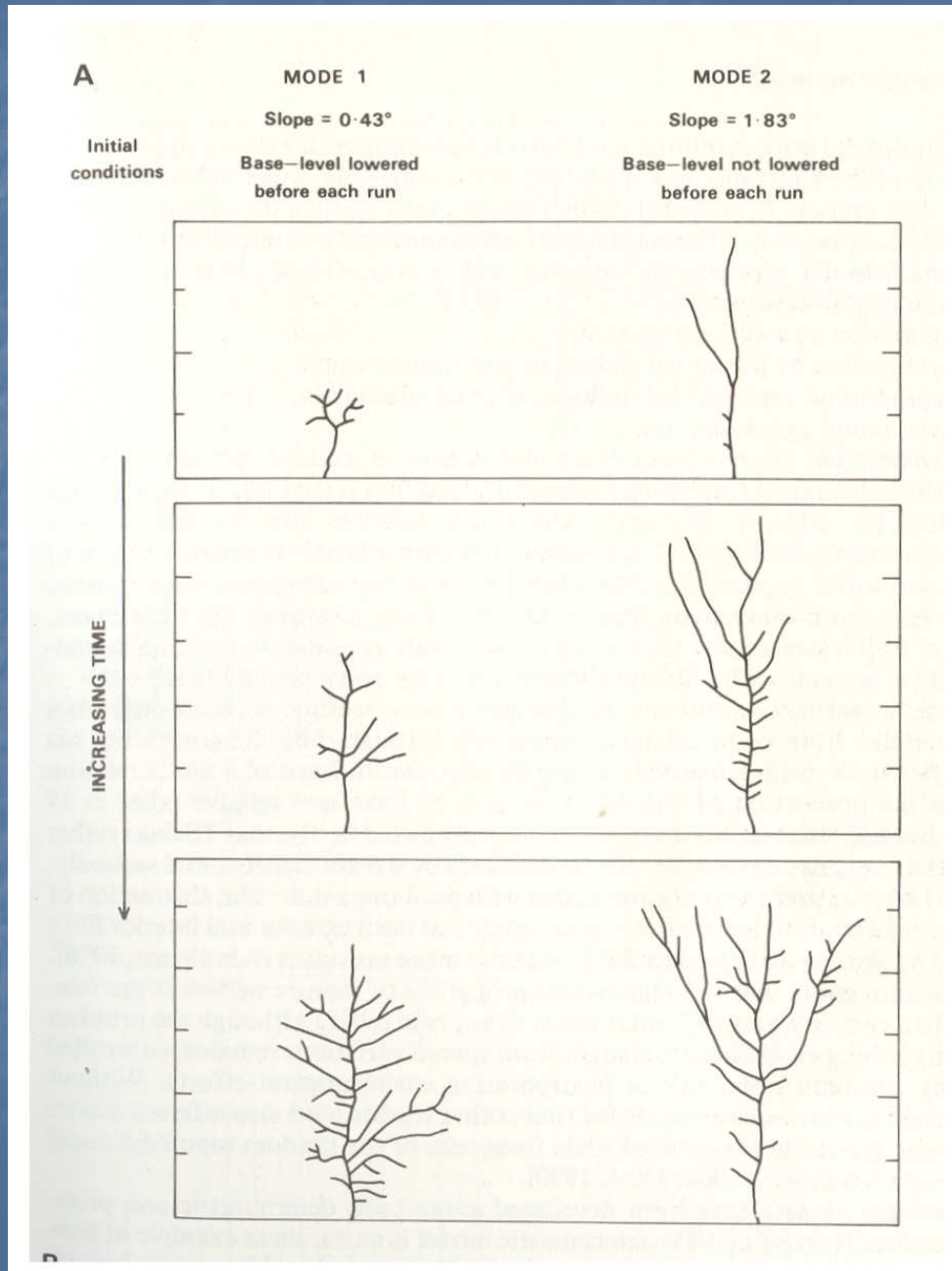
# Vznik erozního zářezu působením podpovrchového odtoku

- Vznik erozního zářezu působením zpětného výtoku vody z půdy po jejím nasycení.
- Vliv podzemních dutin – **tunelů**.
- Předpokladem vzniku podzemních tunelů je přítomnost vrstev nebo půdních horizontů s malou propustností.
- Vliv tunelů na vznik erozního zářezu:
  - propadnutí stropu,
  - zrychlená eroze pod vyústěním tunelů na povrch.

# vývoj údolní sítě

- Způsoby zkoumání vývoje údolní sítě:
  - přímá pozorování (příroda, laboratoř),
  - srovnávání existujících údolních sítí,
  - teoretické modelování.
- Přímá pozorování růstu údolní sítě - příroda  
*Morisawa (1964) – pás pobřeží jezera Hebgen (USA), 2 roky pozorování, vývoj údolní sítě ovlivněn sklonem povrchu a litologií; malý sklon + jíly = dynamický vývoj, složitá síť; velký sklon, písky = pomalejší vývoj, stabilnější a jednodušší síť.*

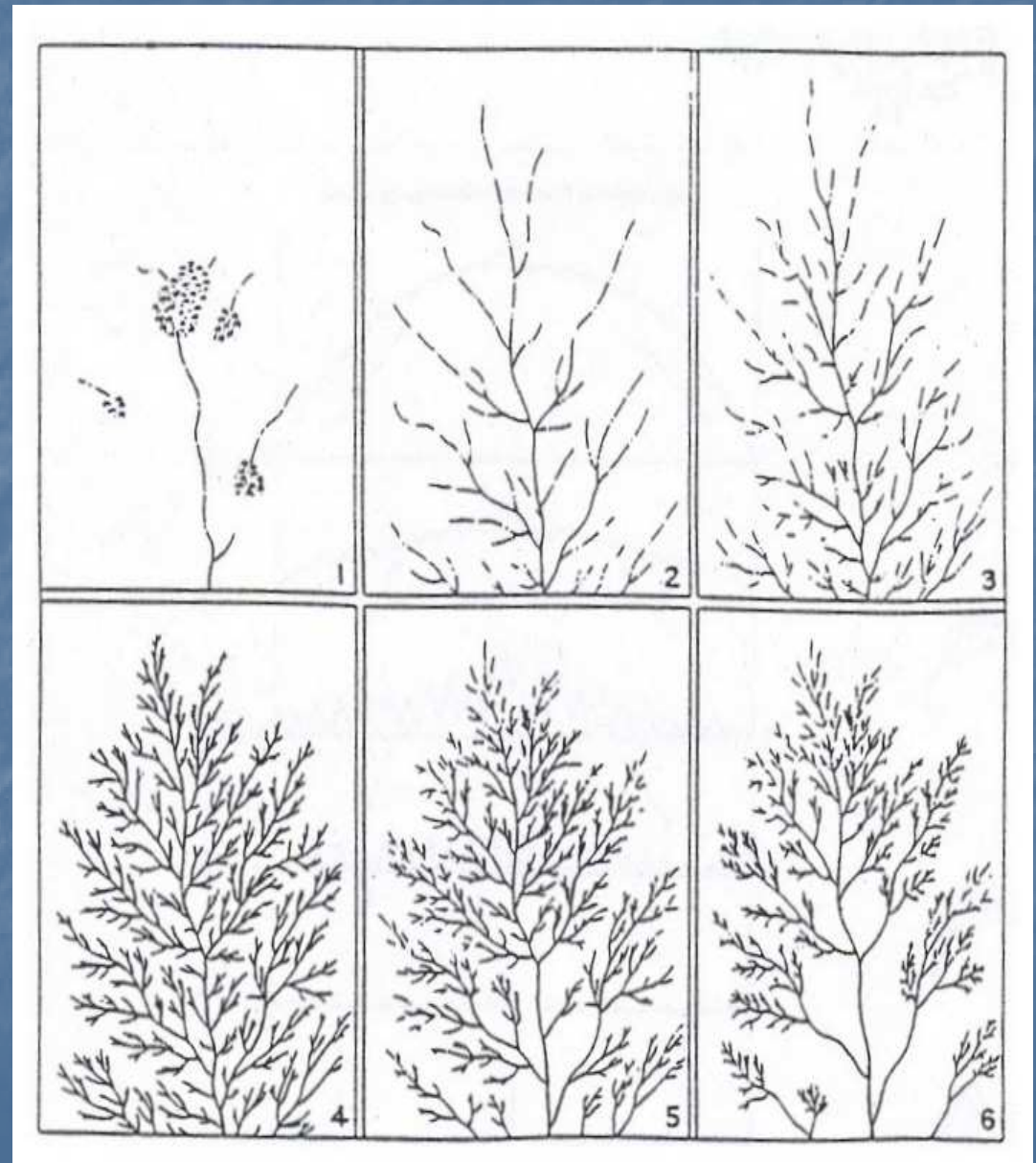
- Přímá pozorování růstu údolní sítě - laboratoř





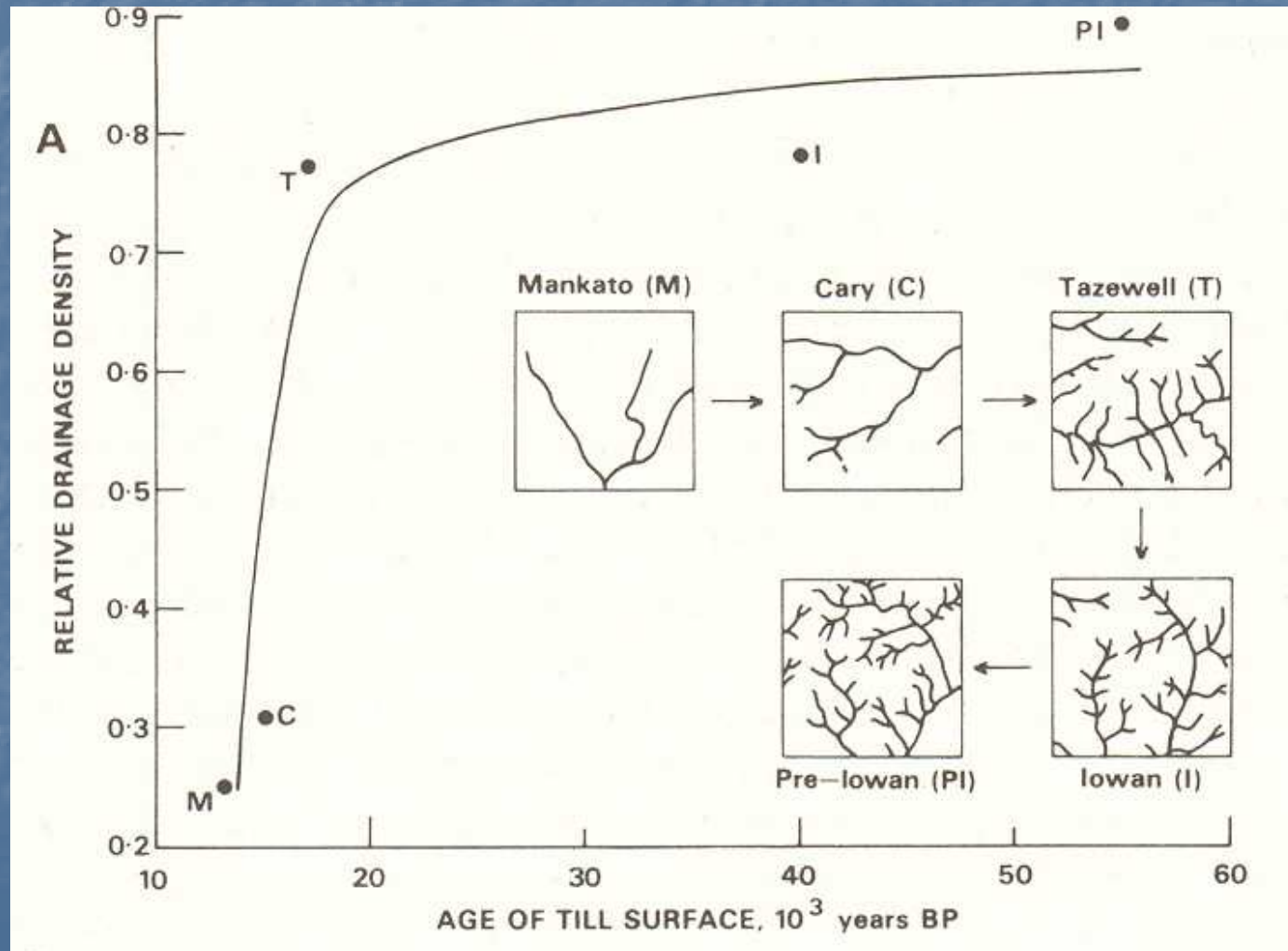
# Srovnávání existujících údolních sítí

- Glockův model vývoje údolní sítě:
  - období vzniku (*iniciace*) údolní sítě,
  - období růstu údolní sítě (*elongace a elaborace*).
  - období maximálního rozsahu údolní sítě,
  - období *integrace* údolní sítě (*absorpce a abstrakce*).



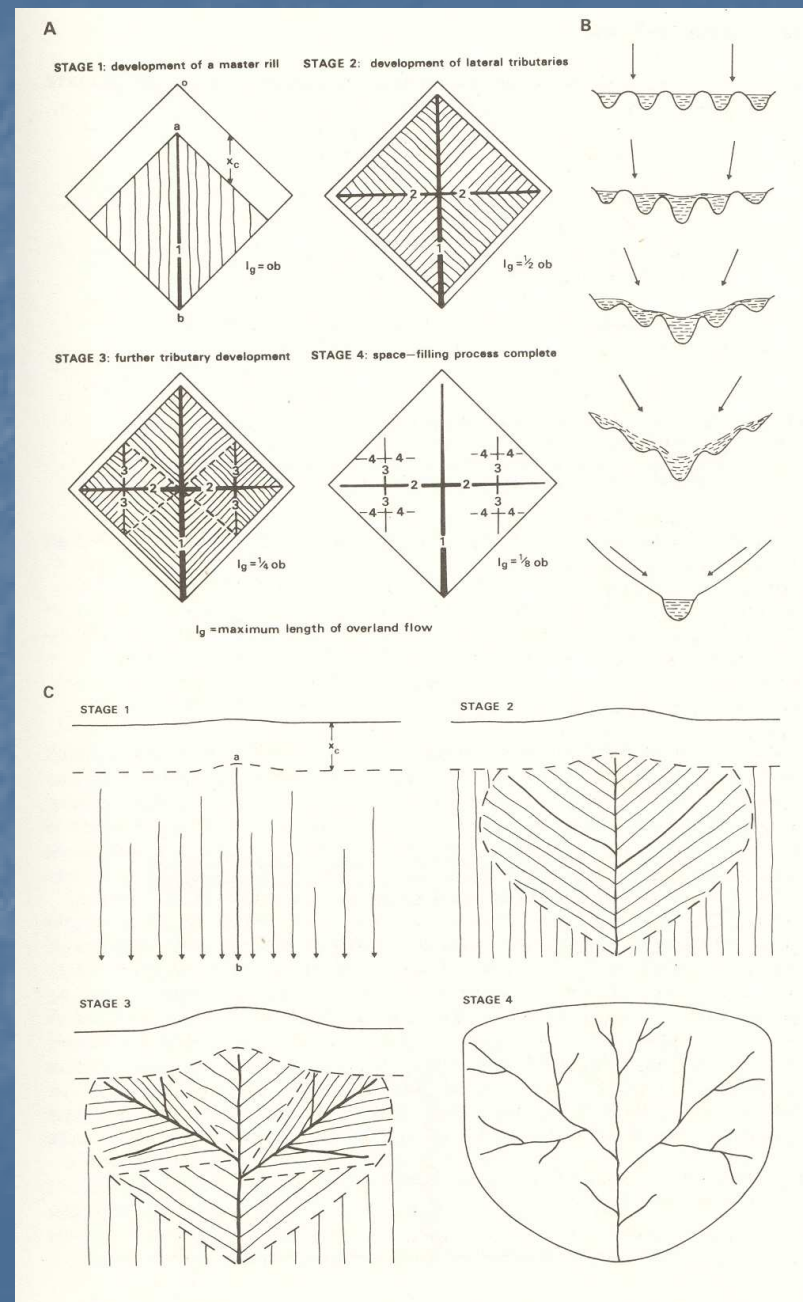
# Srovnávání existujících údolních sítí

- Ruhe (1952) – srovnání údolní sítě a jejich hustoty na površích budovaných glaciálními sedimenty různého stáří.

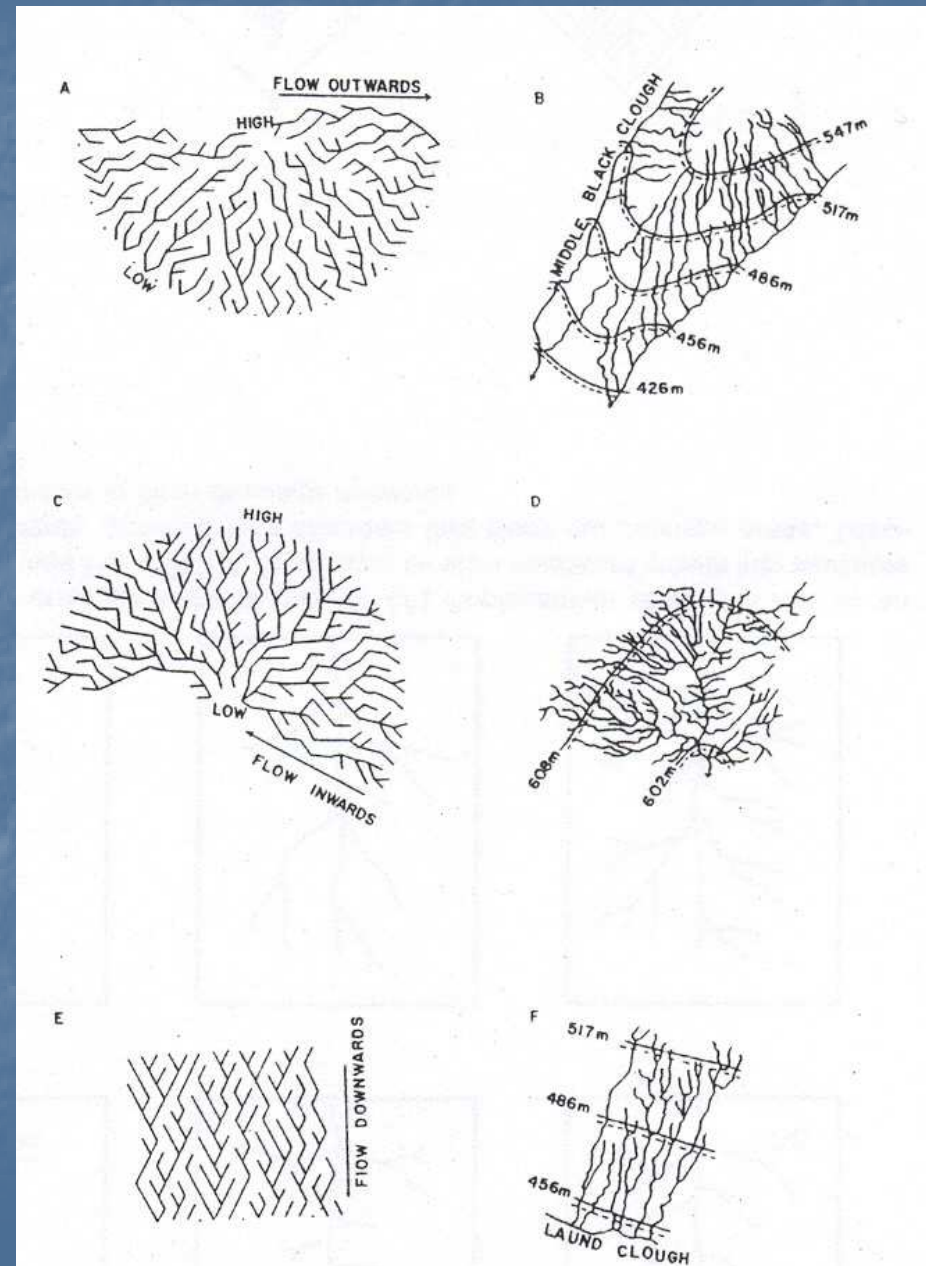
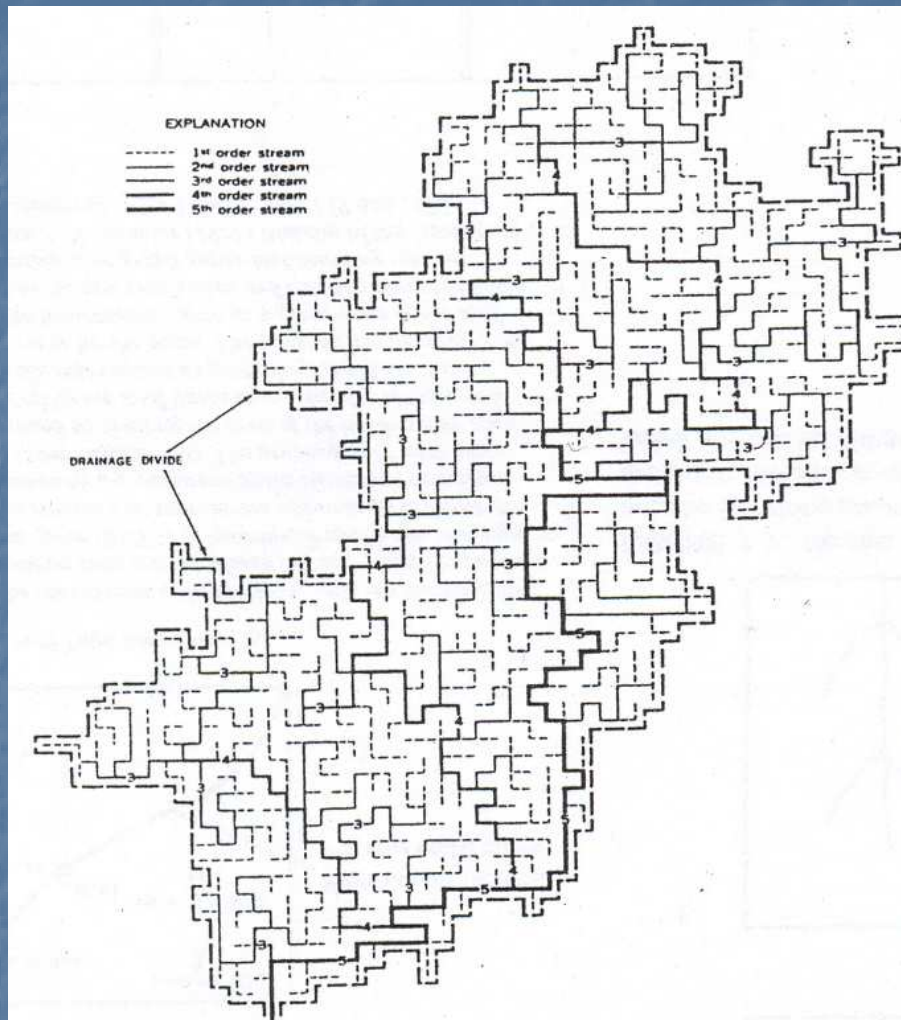


# Teoretické modely

- Typy modelů:
  - deterministické = vývoj údolní sítě se řídí určitými pravidly.
  - pravděpodobnostní = vývoj údolní sítě je náhodný proces.
- Hortonův model vývoje údolní sítě:
  - mikripirátství,
  - křížová gradace.



# Pravděpodobnostní modely



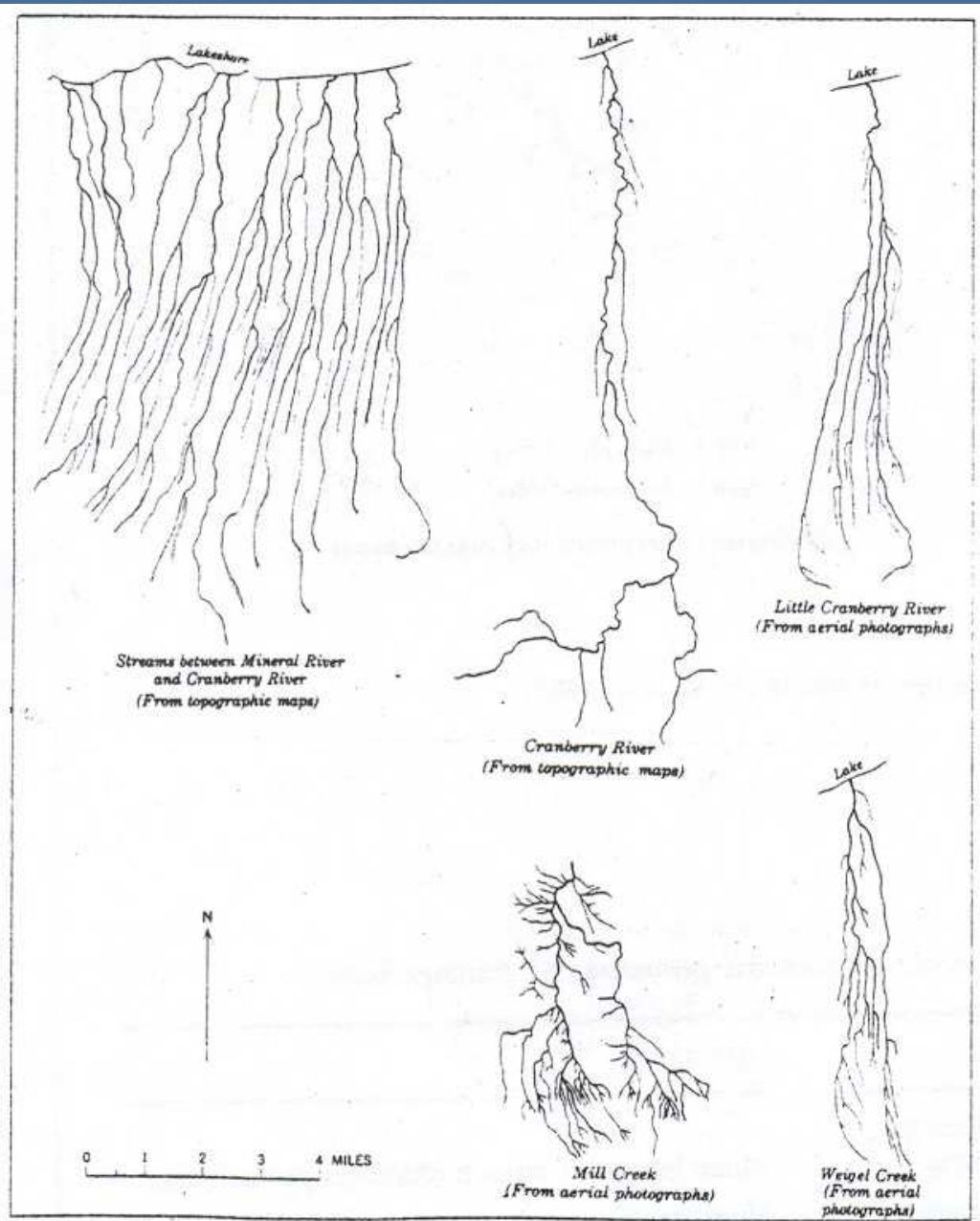


FIGURE 6.—Examples of drainage systems on the Ontonagon Plain.

