

# Kvarterní prostředí (podzimní semestr 2019)

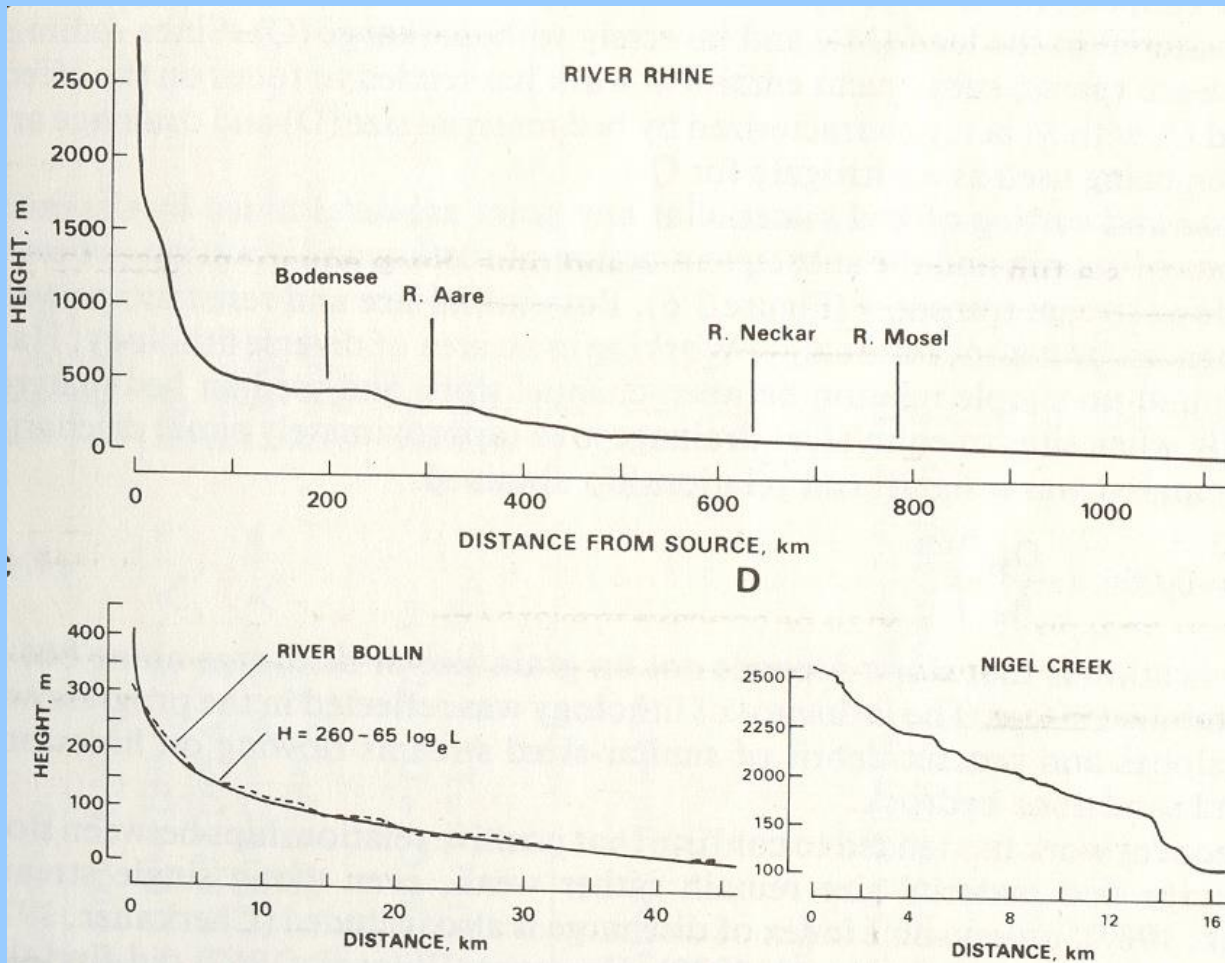
## Řeky v kvartéru

**MUNI**

*Daniel Nývlt ([daniel.nyvlt@sci.muni.cz](mailto:daniel.nyvlt@sci.muni.cz))*

# Podélný profil řeky

- Konkávní tvar podélného profilu - růst průtoku a zjemňování sedimentů po proudu.
- *Lom spádu* – litologie, pokles erozní báze, tektonické pohyby.



# KORYTA

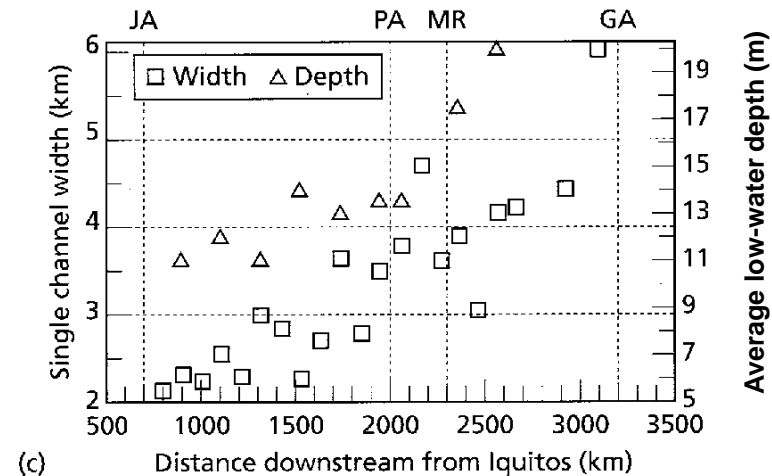
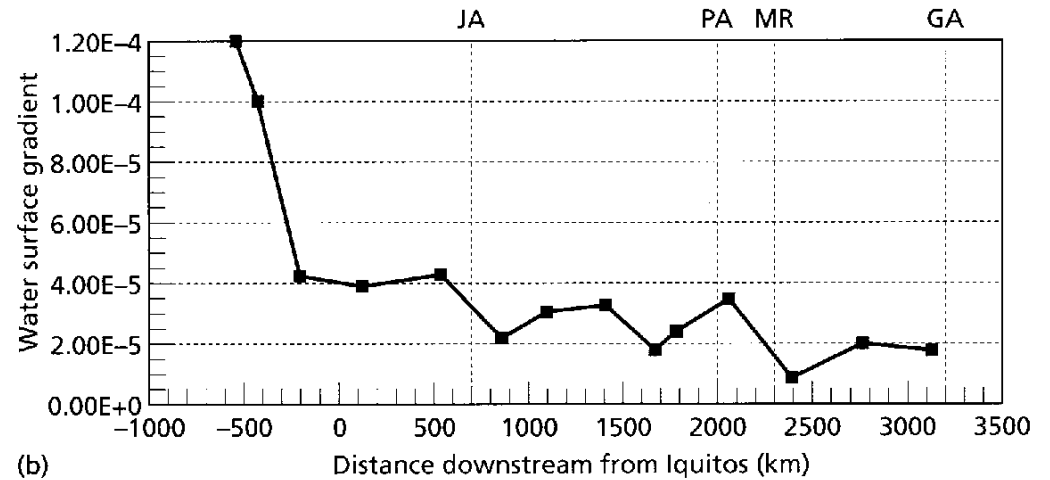
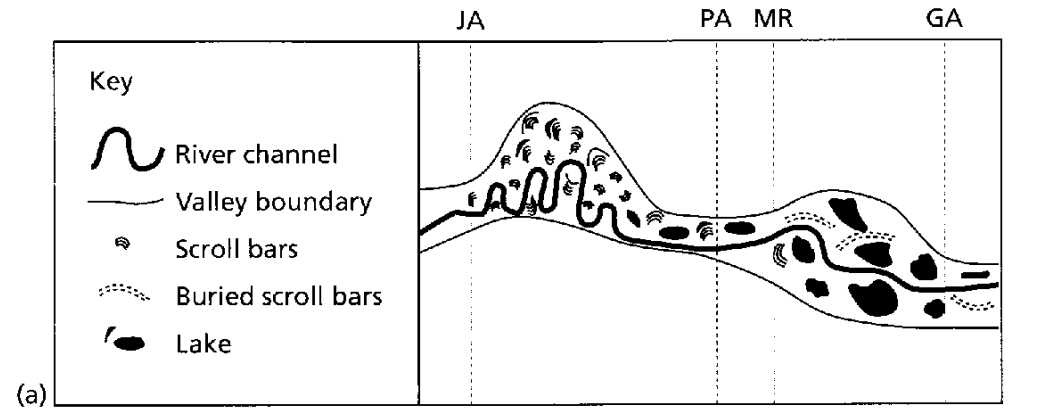
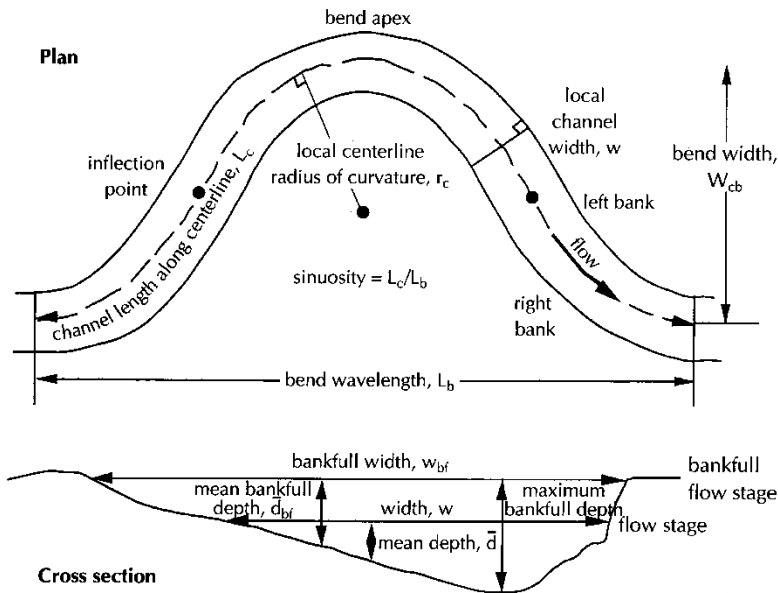
## VELIKOST KORYTA

- šířka koryta ( $w$ )
- hloubka koryta (bankfull) ( $h$ )

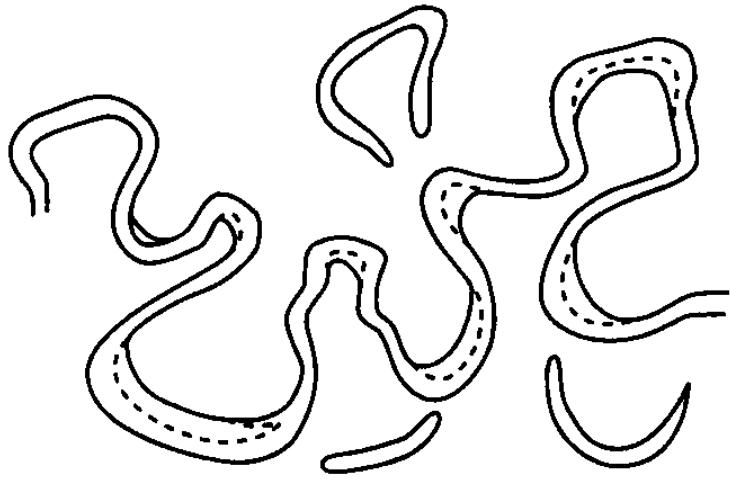
***poměr  $w/h$***

## GRADIENT KORYTA

konkávní profil řeky



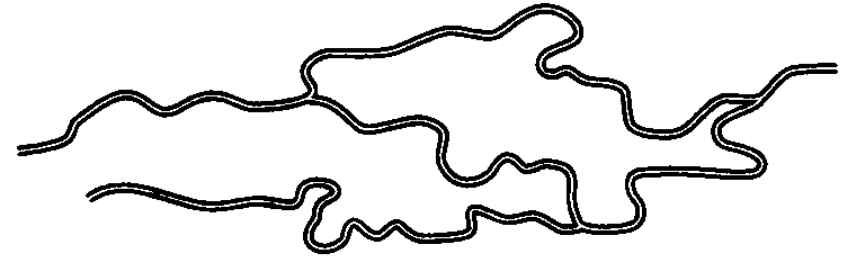
# TVAR KORYTA – říční styly



meandering




straight



anastomosing



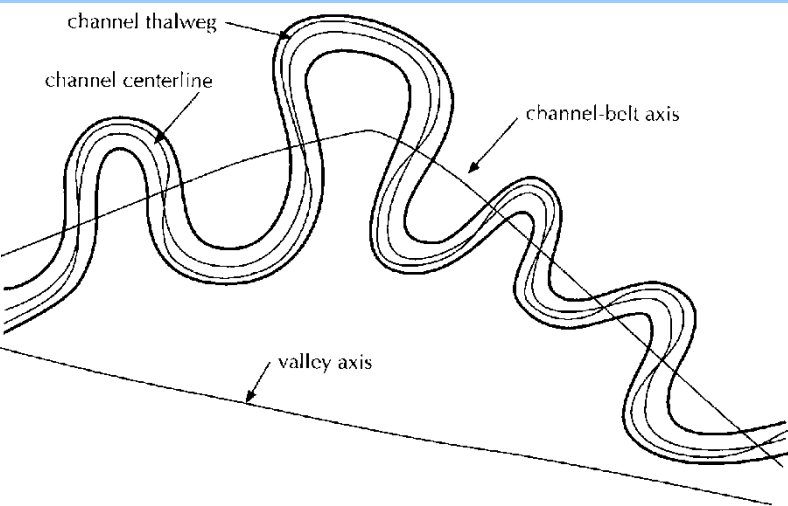
braided

 *bar surfaces covered during flood stages*



# PARAMETRY DEFINUJÍCÍ TVAR KORYTA

## ▪ Sinuosita (P)



## ▪ Stupeň divočení

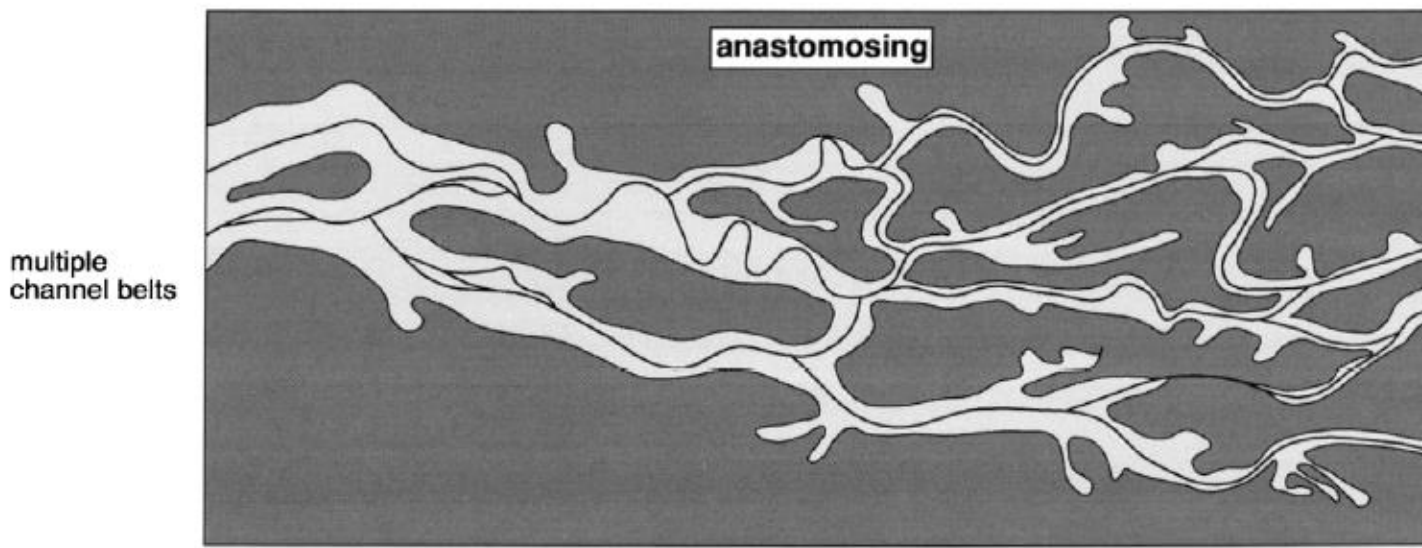
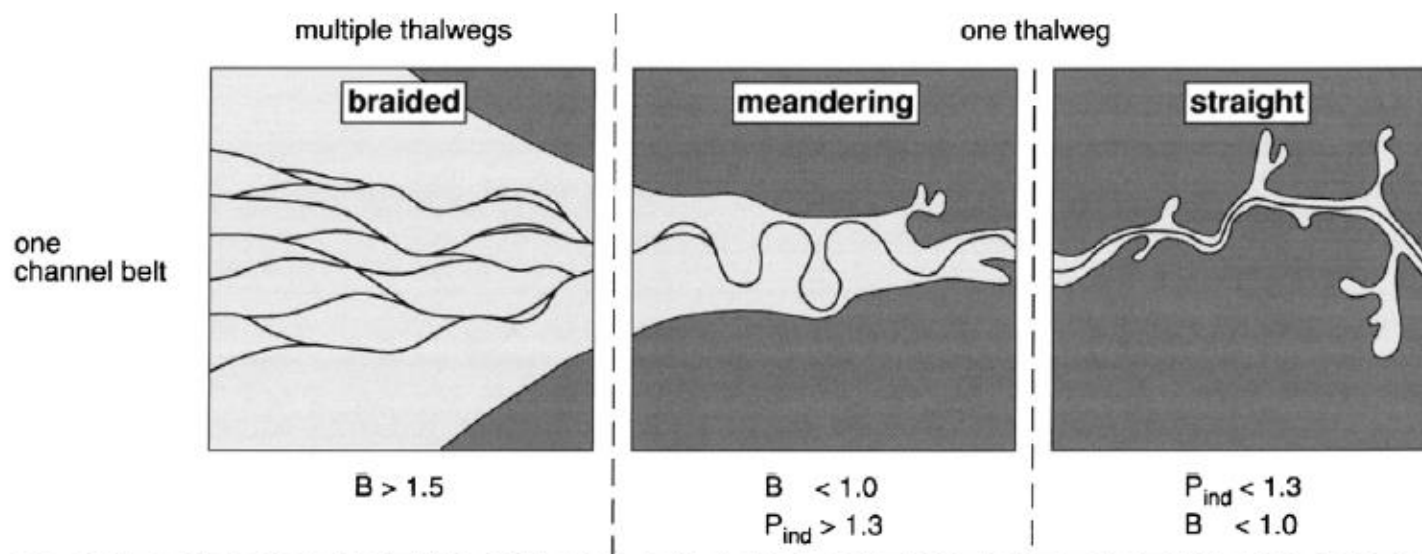
- je míra rozdělení koryta říčními bary

## ▪ Stupeň anastomozování

- míra rozvětvení koryta na dílčí kanály oddělené nivou

Degree of sinuosity	Degree of braiding	Degree of anastomosing
(1) 1-1.05	(0) <5%	(0) <5%
(2) 1.06-1.25	(1) 5-34%	(1) 5-34%
(3) >1.26	(2) 35-65%	(2) 35-65%
	(3) >65%	(3) >65%

Character of sinuosity	Character of braiding	Character of anastomosing
(a) Single phase, equiwidth channel, deep	(a) Mostly bars	(a) Sinuous side channels mainly
(b) Single phase, wider at bends, chutes common	(b) Bars and islands	(b) Cutoff loops mainly
(c) Single phase, irregular width variation		(c) Split channel, sinuous anabranches
(d) Two phase, underfit low-water sinuosity		(d) Split channel, sub-parallel anabranches



- Legend**
- floodbasin
  - channel belt
  - active channel
  - $B$  = braid-channel ratio
  - $P_{ind}$  = sinuosity

# FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ CHARAKTER KORYTA

- **stabilita břehů** – jílovité sedimenty odolnější než písčité
- **druh transportovaného materiálu** – dominance dnových splavenin ⇒ tvorba lavic (barů)
- **vegetace** – ovlivňuje stabilitu břehů
- **změny vodnosti** – závisí na velikosti zdrojové oblasti a klimatu

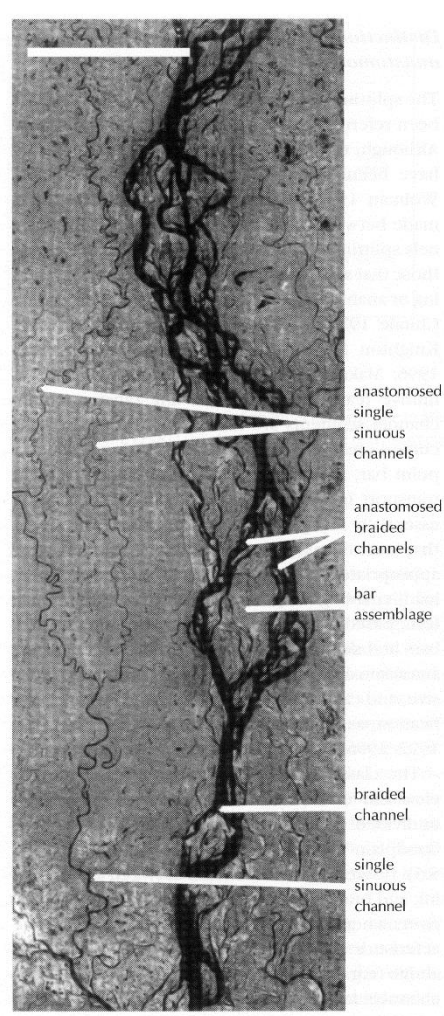
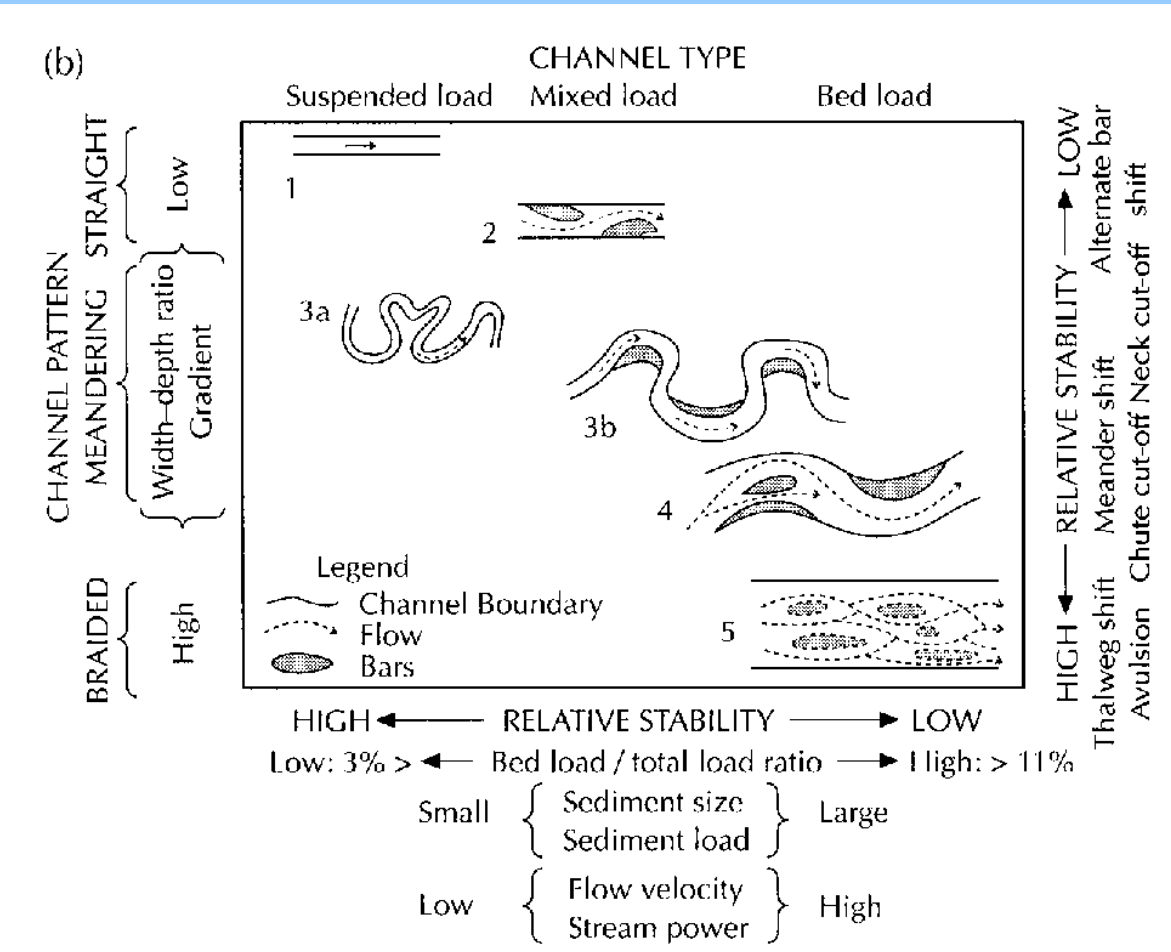


Fig. 5.5 Brahmaputra River immediately north of its confluence with the Ganges River, showing braided channels and undivided sinuous channels that are also anastomosed. Scale bar is 20 km. Photo courtesy of C.S. Bristow, also published in Bridge (1993a).



# CHARAKTER PROUDĚNÍ

- lineární proudění
- turbulentní proudění

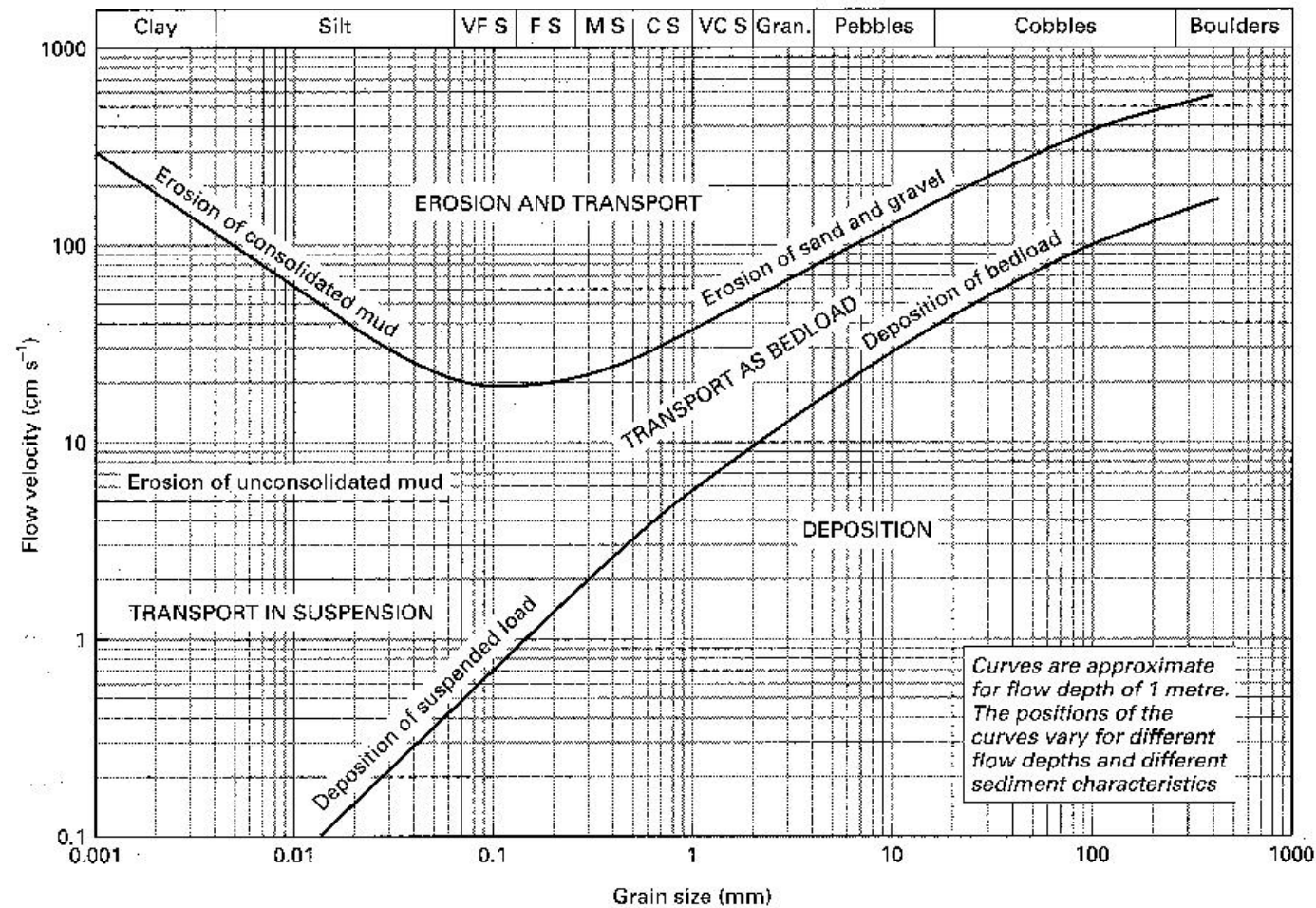
## • Proudnice

- trajektorie proudu s největší rychlostí
- její pozice vůči břehům ovlivňuje sedimentaci a erozi

## • Šroubovitě (helikoidální) chování proudu

- v meandrech

## HJULSTRÖMŮV DIAGRAM

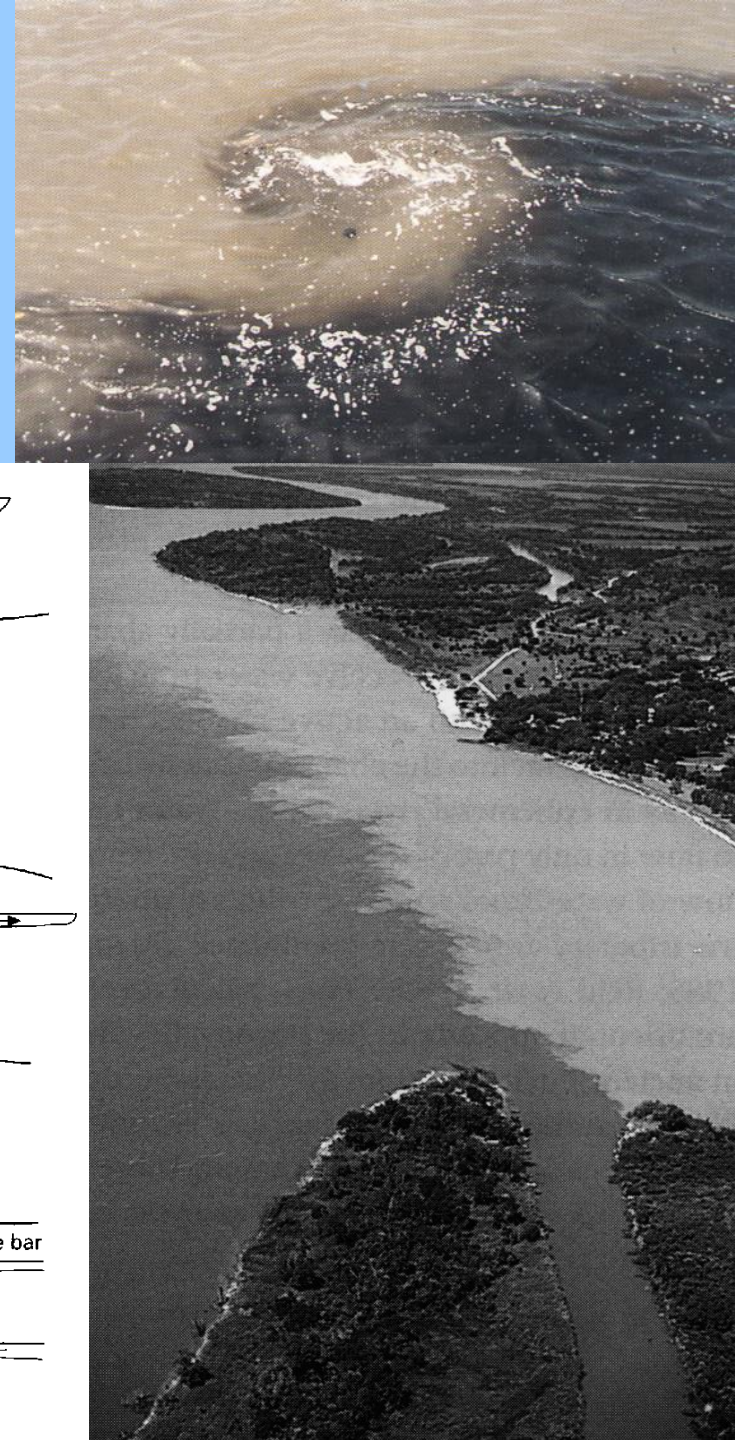
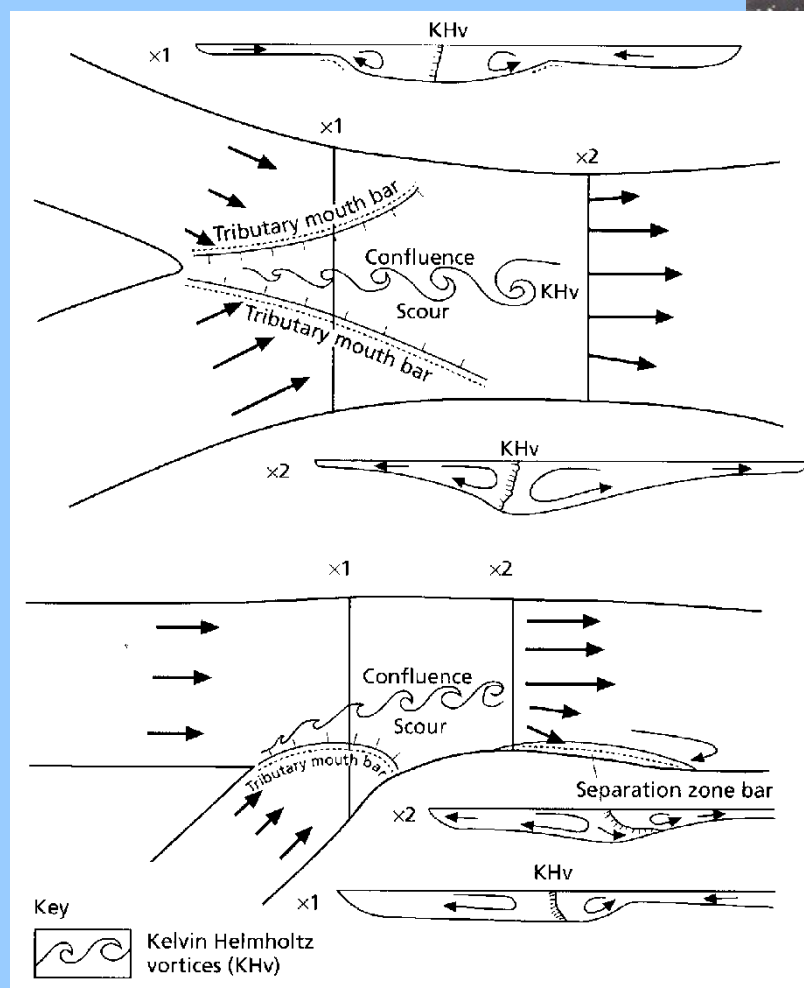


# CHOVÁNÍ PROUDU NA SOUTOKU

## Kelvin-Helmholtzovy víry

Výrazné turbulentní struktury na rozhraní dvou stékajících se proudů se silným erozním účinkem

Vyplňování vzniklých depresí sedimentárními tělesy se strmými spádovými stranami.





# SEDIMENTACE Z PROUDU

## DYNAMIKA PROUDU

Froudovo číslo:  $Fr = u / \sqrt{hg}$

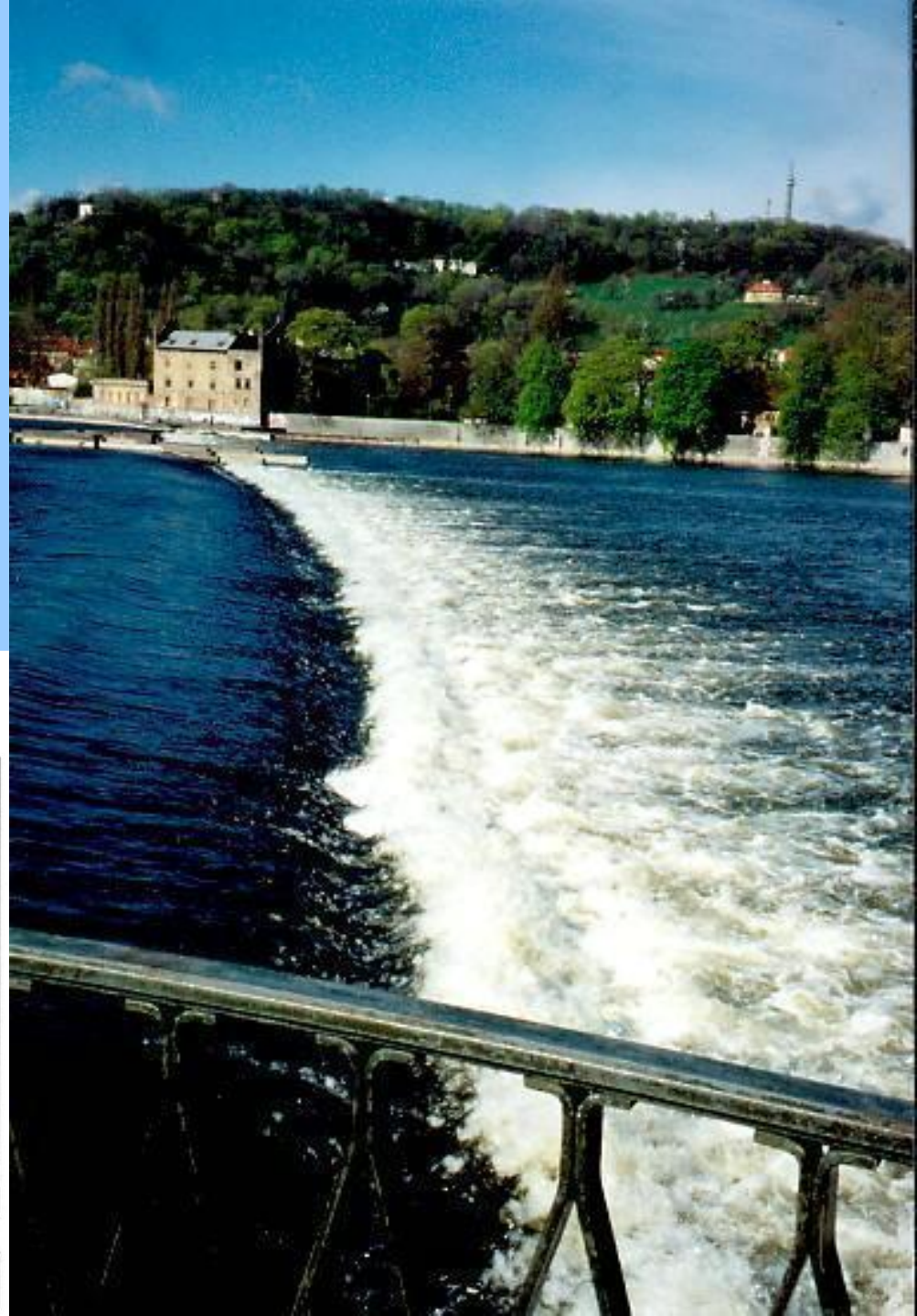
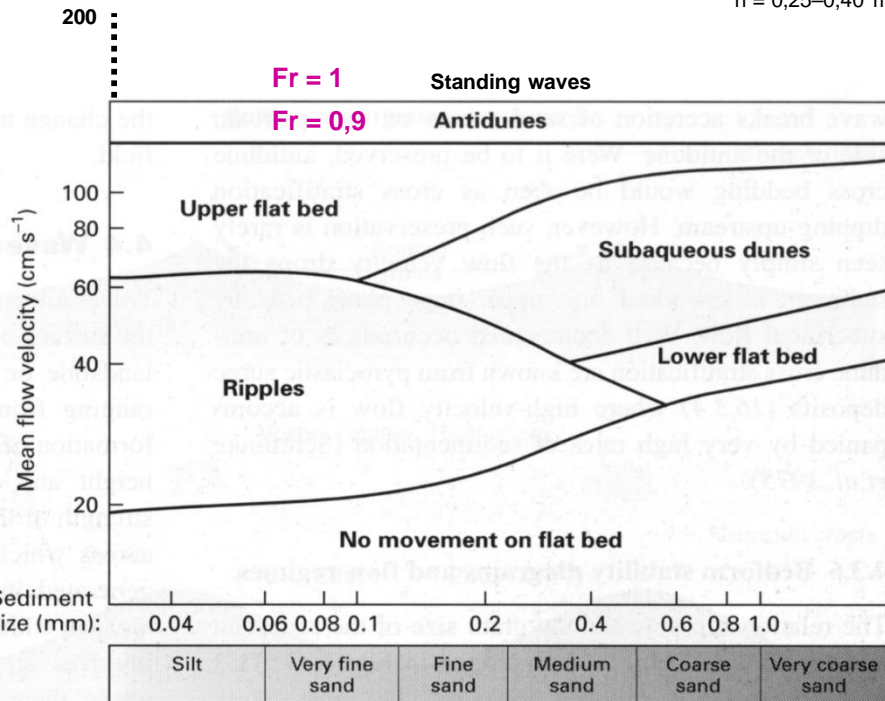
$Fr < 0,9$  PODKRITICKÝ TOK

$Fr > 0,9$  NADKRITICKÝ TOK

**HYDRAULICKÝ SKOK** – náhlý  
přechod nadkritického toku do  
podkritického

## BEDFORMY

$h = 0,25-0,40$  m



# SEDIMENTACE V KORYTECH – z hlediska zachování většina fluviálních sedimentů ukládaných v **glaciálních** podmínkách.

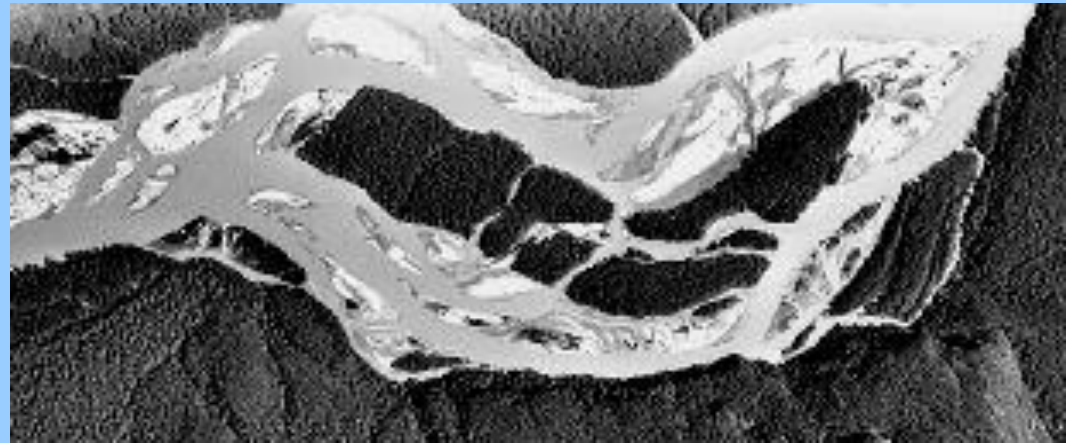
## SEDIMENTÁRNÍ TĚLESA

ŘÍČNÍ LAVICE (BARY) – sedimentární makroformy

**Jesep** (poinbar)



**Vnitrokorytové lavice** (channel bars)



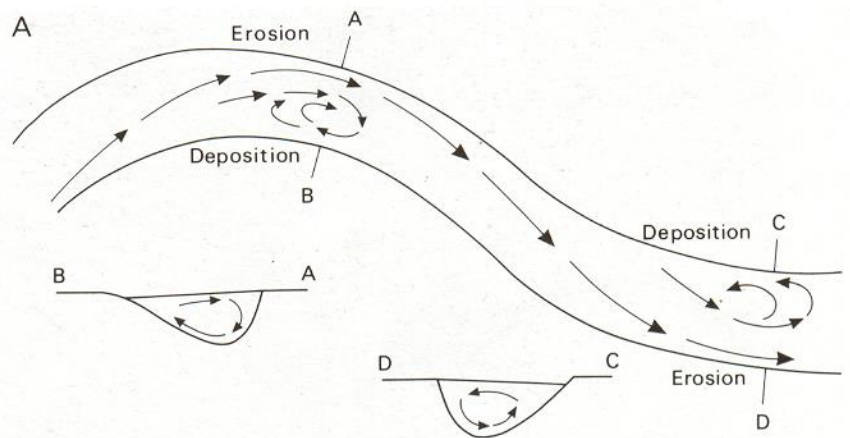
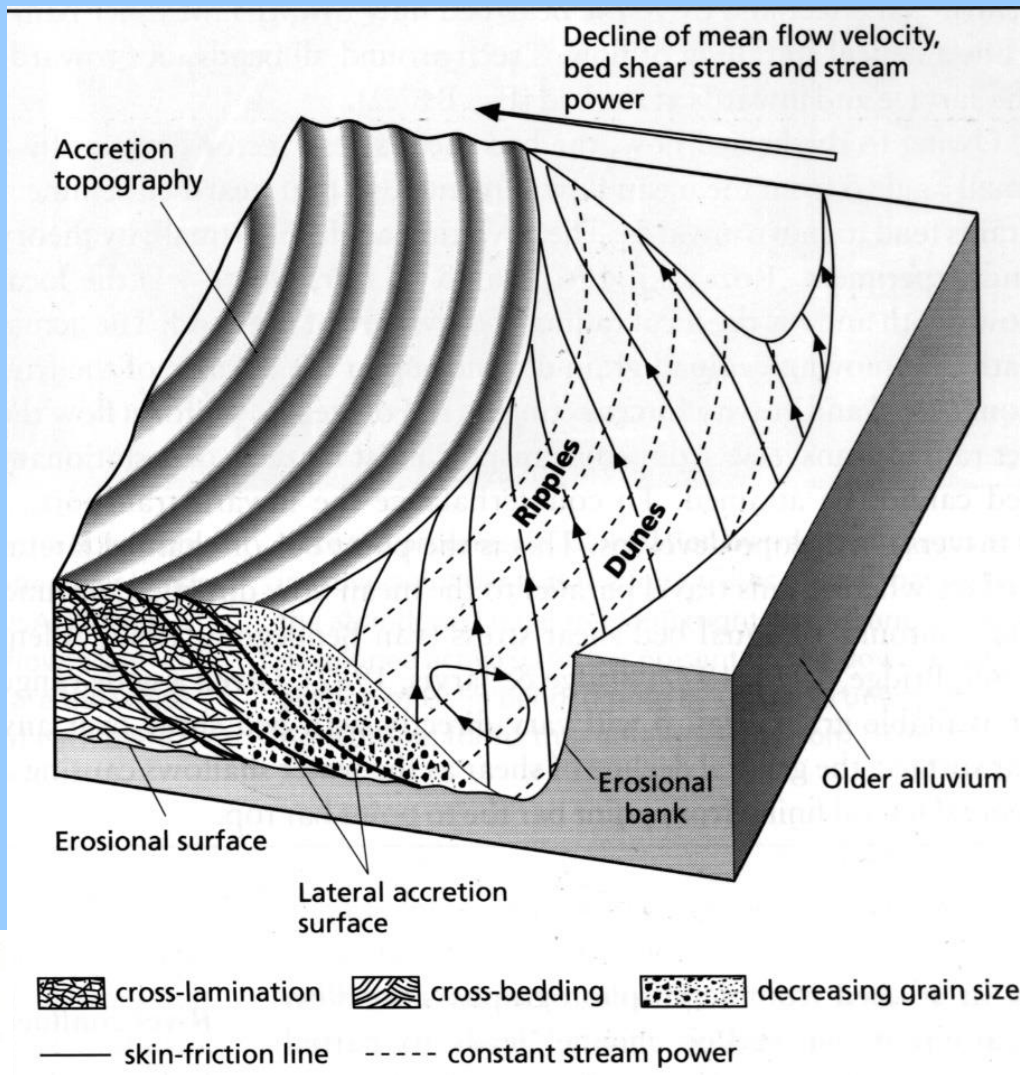


# JESEPY

(chápáno jako sedimentární tělesa)

- **Boční akrece (LA – lateral accretion)**  
sklon do 15°, směr sklonu kolmý na směr proudu
- **Zjemňování** sedimentu směrem k břehu a po proudu
- **Zmenšování** velikosti bedforem  
duny, čeřiny

“**scroll bars**“ – typická topografie jesepu; periodické opakování migrace a agradace jesepu











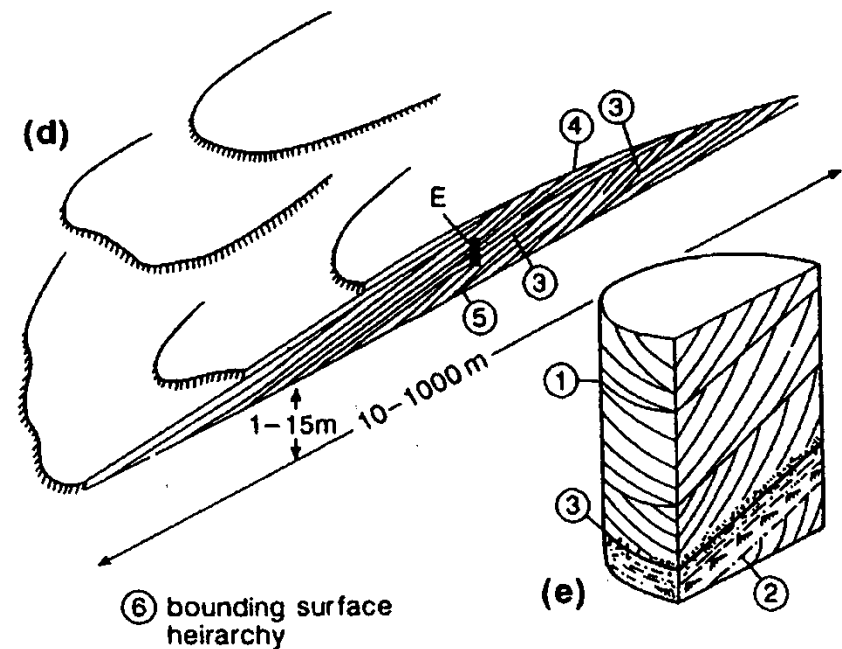
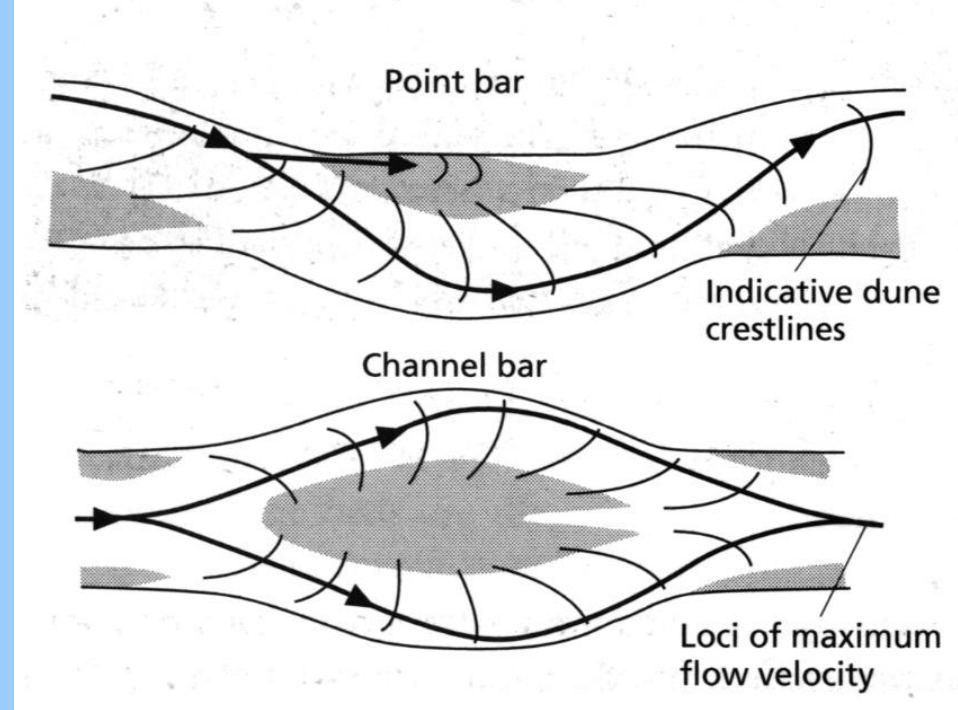


# VNITROKORYTOVÉ LAVICE (BARY)

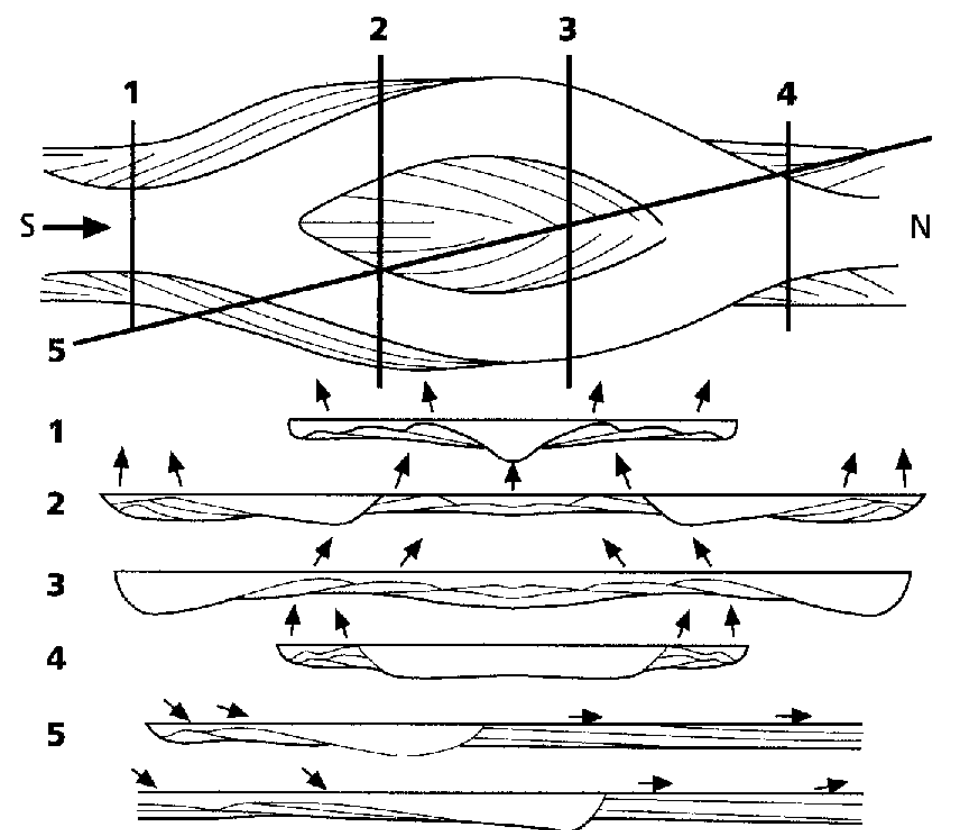
-“dvojstranný jesep“, generelně však migruje po proudu  $\Rightarrow$  **poproudová akrece** (DA – downstream accretion)

Specifika:

- dochází k rozvětvení a spojení proudu
- laterální akrece na obou stranách (za vysoké a padající hladiny)
- zařezávání nových kanálů do povrchu lavic při klesání hladiny







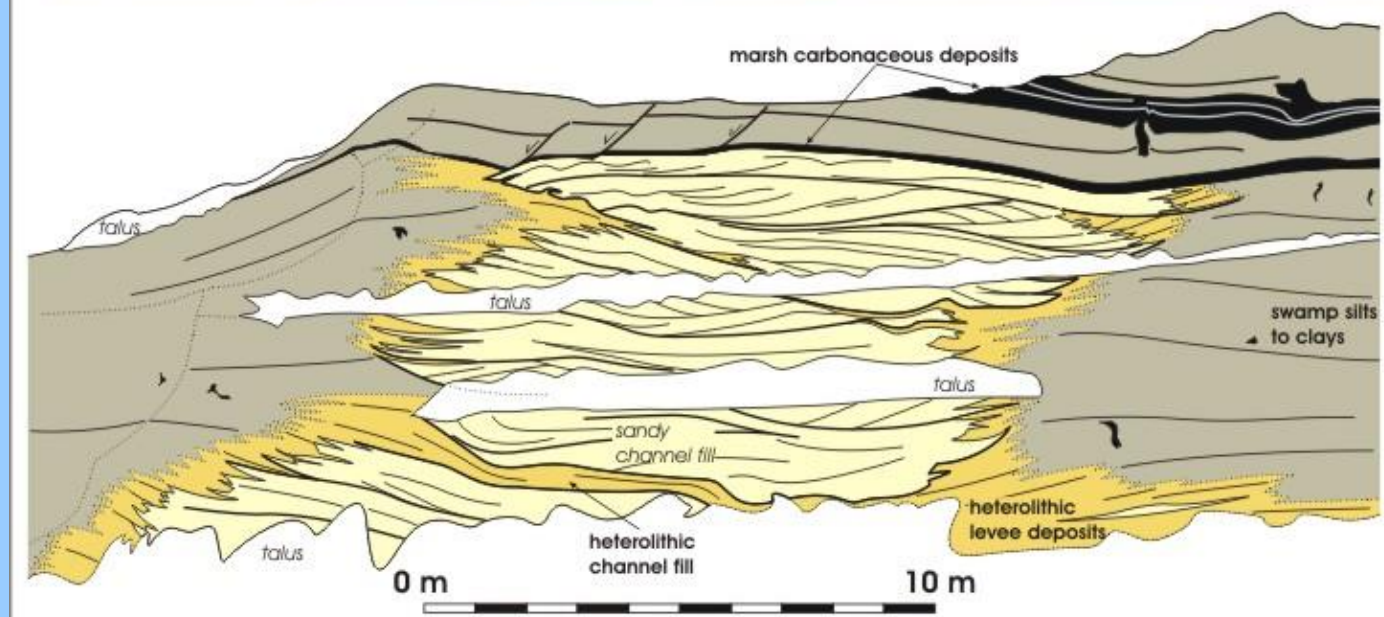


# VERTIKÁLNÍ AKRECE

- ukládání sedimentu na dně koryta ve svislém směru

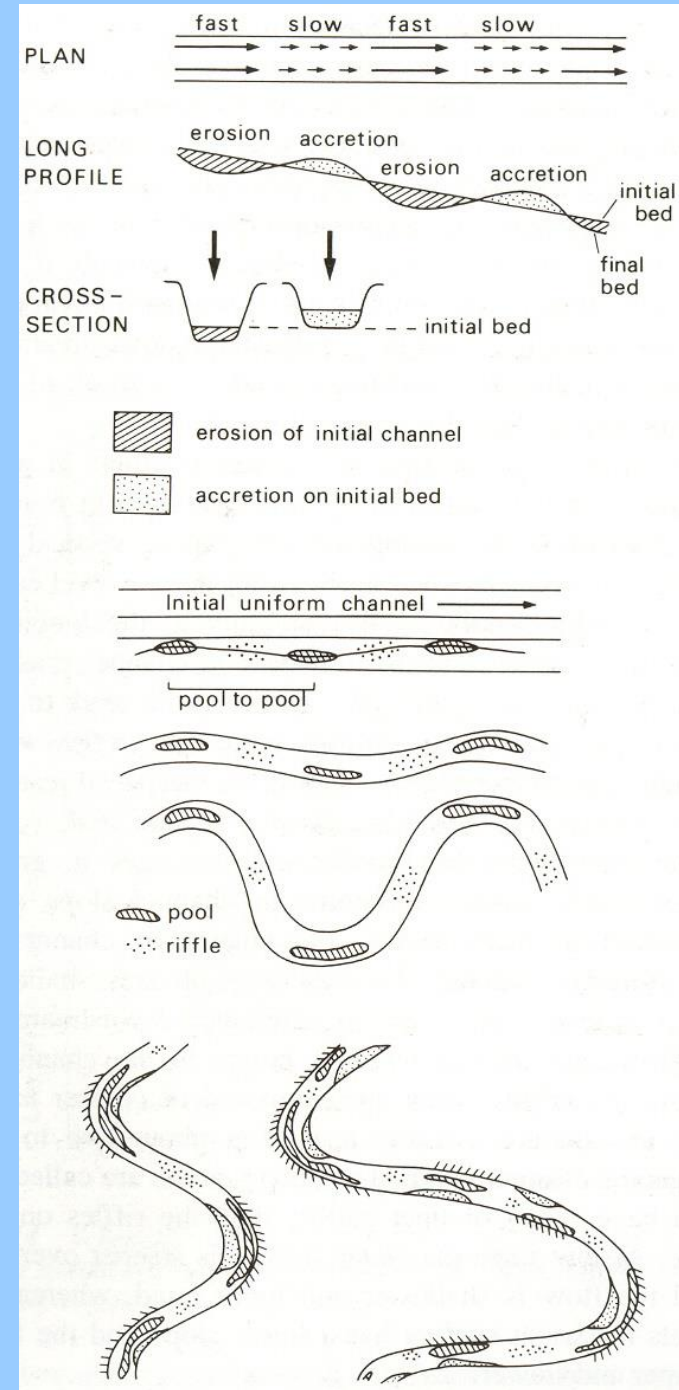
Předpoklad:

- nízký gradient dna
- výrazný růst akomodace nutící fluviální systém ukládat (agradovat)



# Střídání mělčin a tůní v řekách

- **Mělčiny (riffles)** – mělká voda, hrubší sedimenty, větší rychlost proudění (peřeje)
- **Tůně (pools)** – jemnozrnnější sedimenty, hluboká voda, pomalejší proudění
- Vyšší vodních stavy – reverze → voda proudí rychleji v tůních, intenzivnější eroze
- Rozestupy mělčin – 5 až 7 násobek šířky koryta





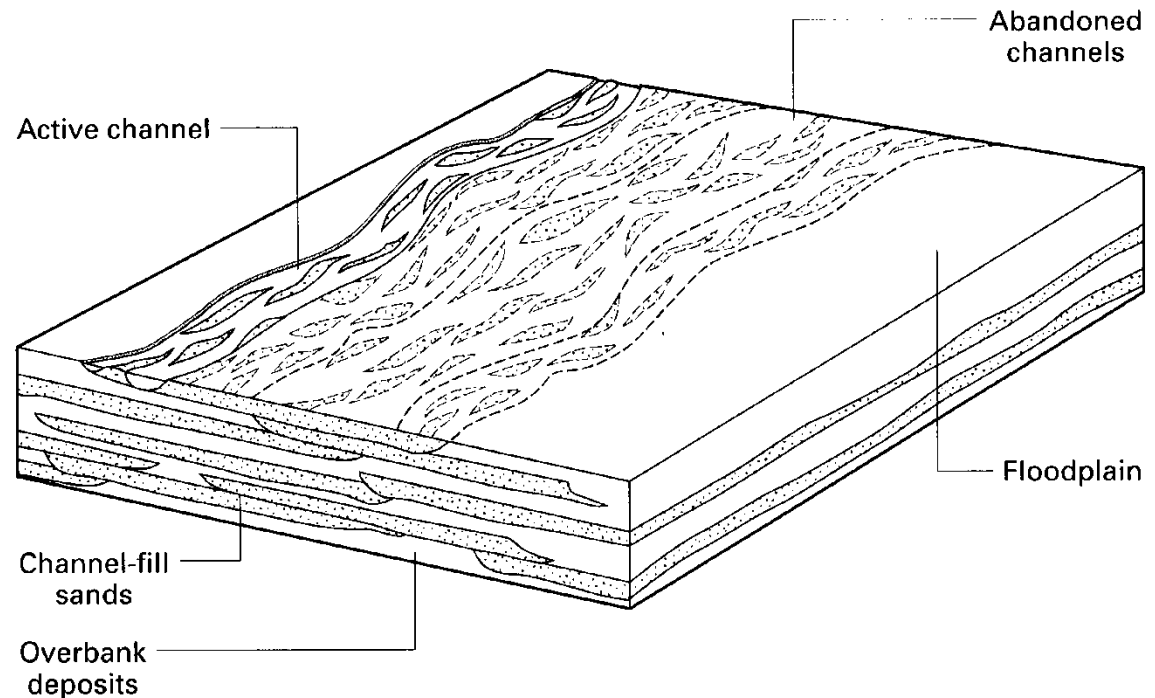
# Říční styly

## DIVOČÍCI ŘEKY

- gradient  $< 0,5^\circ$
- dominuje “bedload“
- výrazné výkyvy ve vodnosti
- malá stabilita břehů

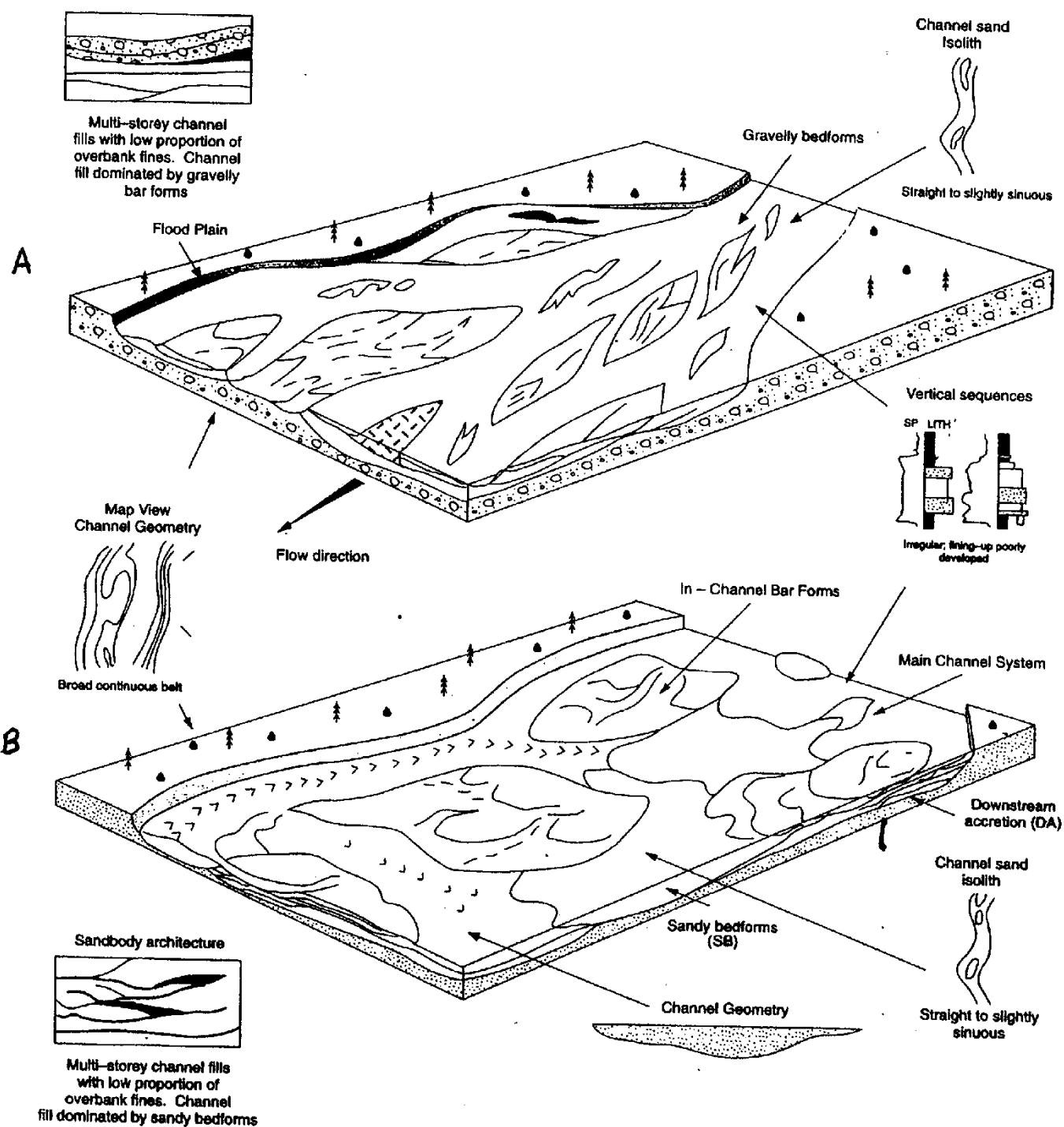
Sedimentace v podobě lavic (barů) při okraji nebo uvnitř koryta (podélné, příčné a jazykovité lavice). Značné zrnitostní rozdíly díky rozkolísanosti průtoku.

Typické např. pro **proglaciální** **glacifluviální** sedimentaci.



Dominuje štěrky

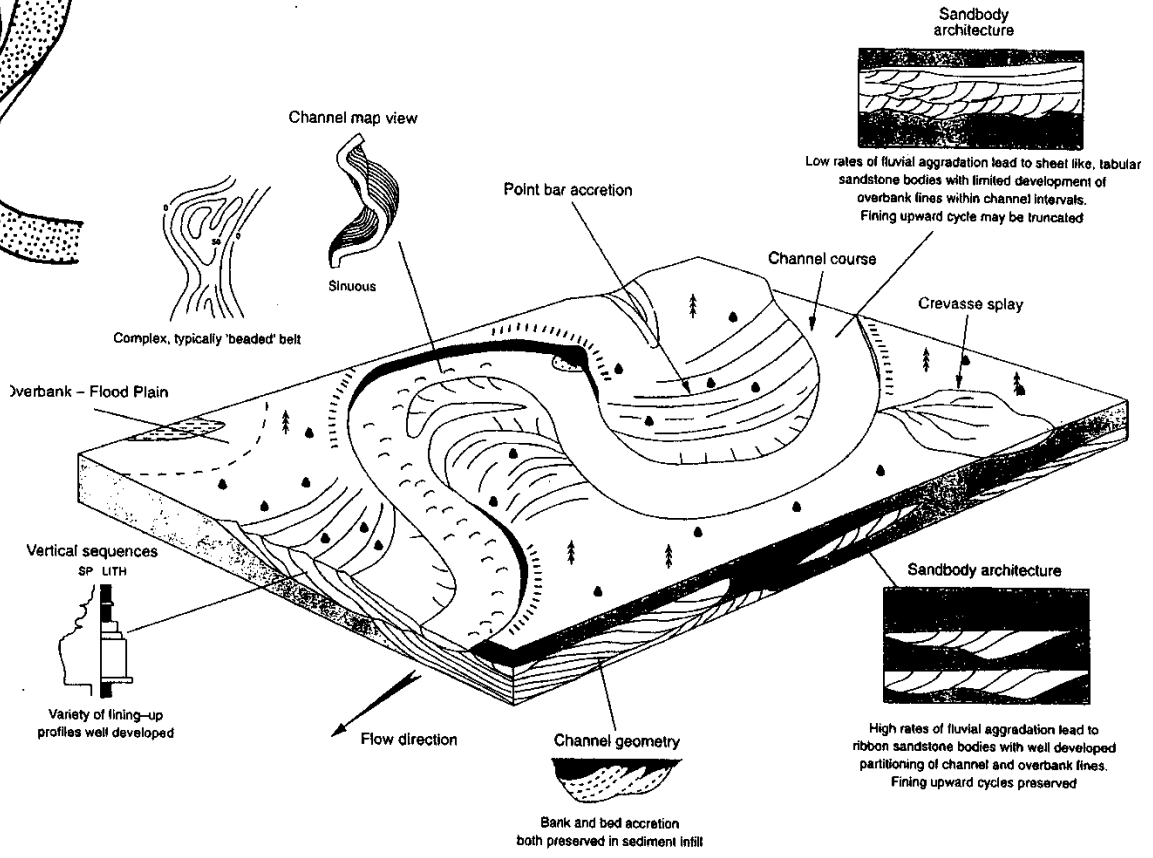
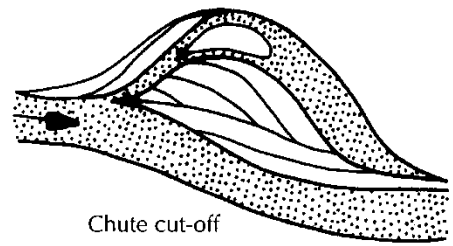
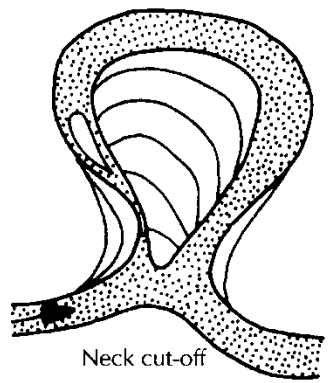
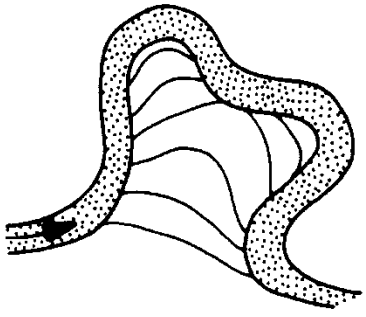
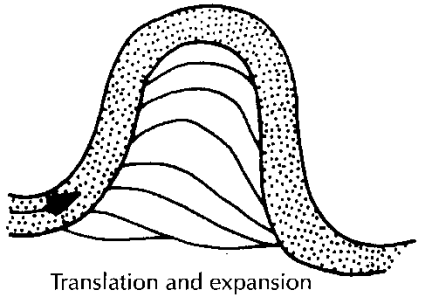
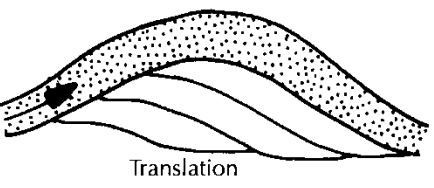
Dominuje písek





# MEANDRUJÍCÍ ŘEKY

- gradient  $\sim 0,01^\circ$
- vysoká sinuosita  $P > 1,3$  (1,5)
- “suspended load“, “mixed load“
- sedimentace na jesepe – laterální akrece (sklon akrečních ploch do  $15^\circ$ )



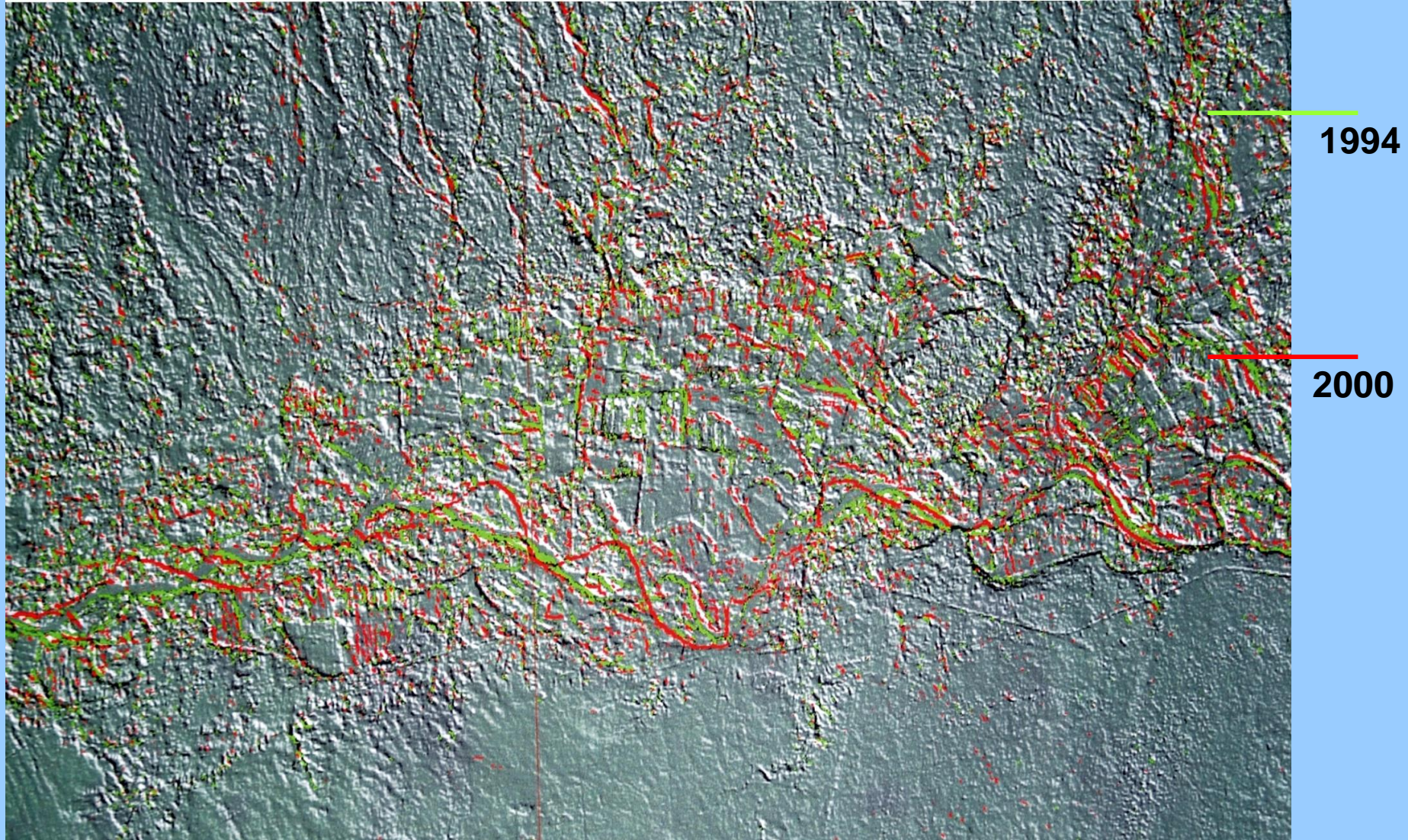






# Příklady laterální migrace meandrů

změna toku řeky Chiry během posledního fenoménu El Niño





# ANASTOMOZNÍ ŘEKY

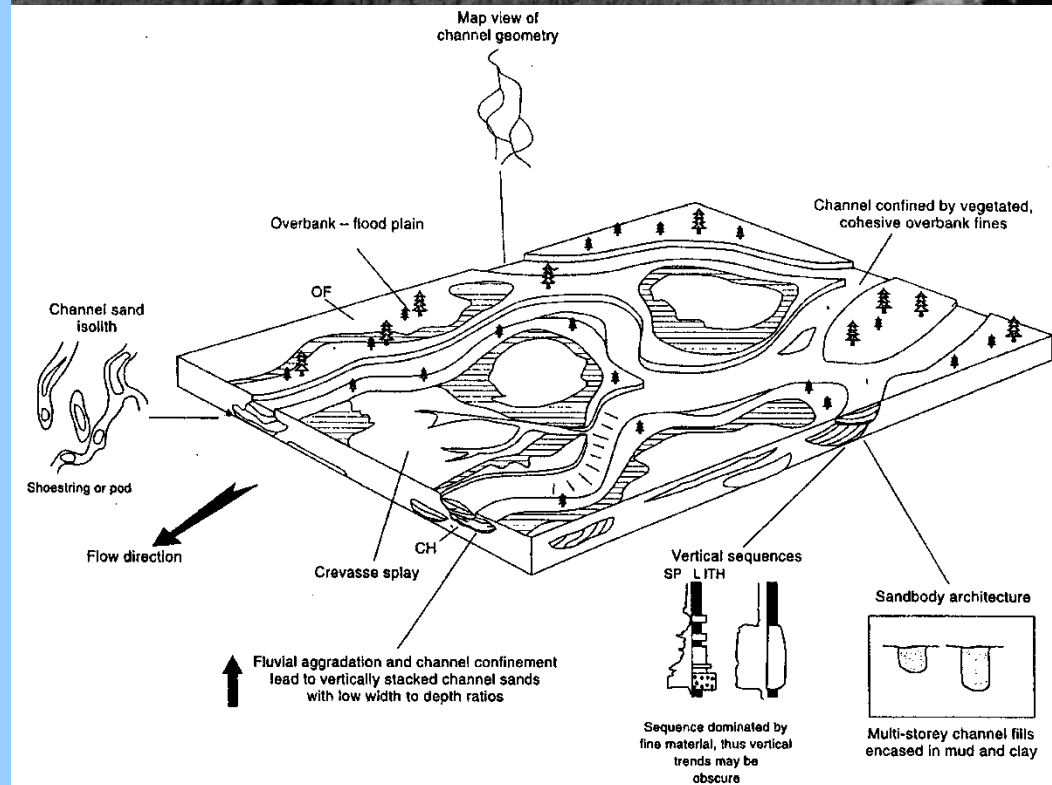
soustava větvičích se a spojujících se koryt oddělených nivou

- gradient  $< 0,01^\circ$
- “suspended load“ a “mixed load“
- laterálně stálé břehy
- sedimentace vertikální akrecí na dně koryt
- **avulze** - rychlé přeložení říčního toku do nového koryta.

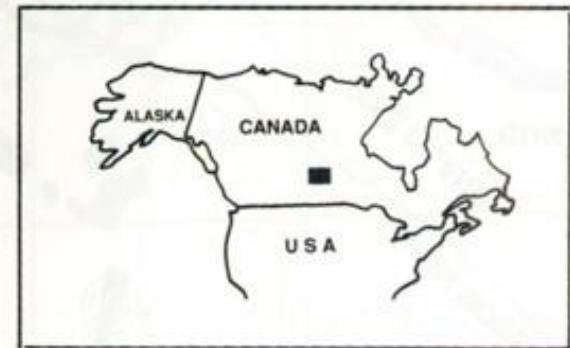
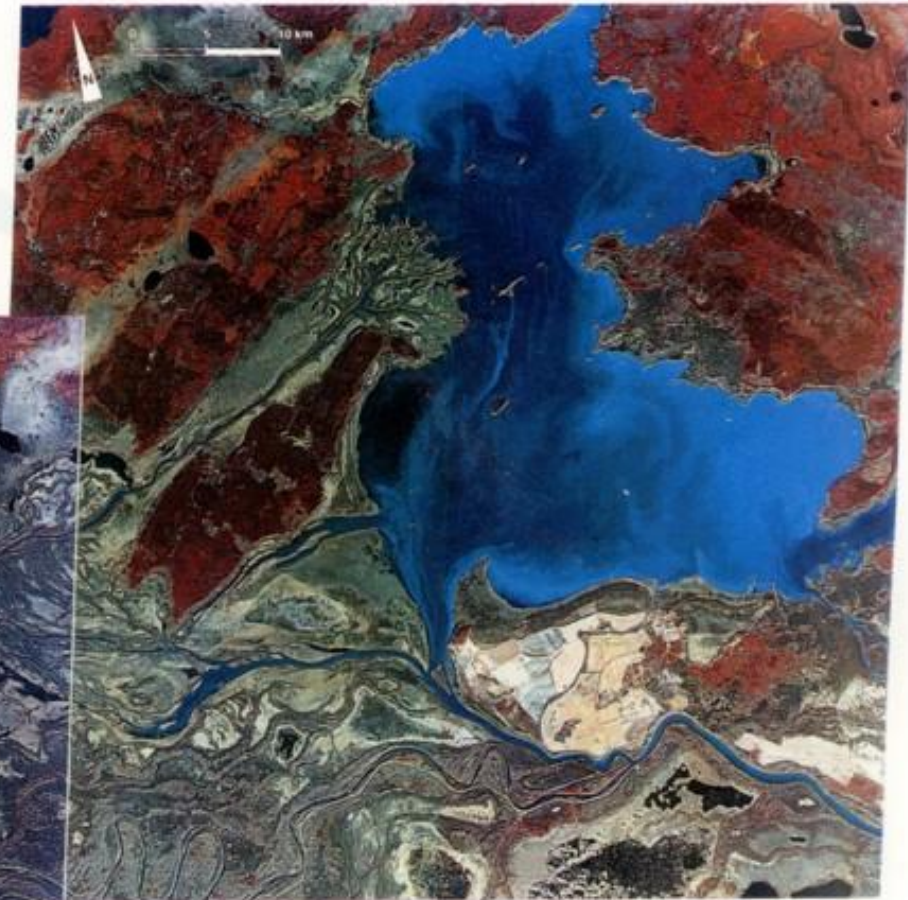
Základní předpoklad pro vyvolání avulze je zvýšení vodnosti vedoucí k plošné záplavě. Hlavními faktory jsou snižování sklonu aktivního koryta, zvyšování výškového rozdílu mezi korytem a nivou a snížení kapacity koryta pro transport vody.

## Styly avulzí:

- vytvoření průvalových vějířů
- reokupace starších koryt
- avulze s. s.



# LOWER SASKATCHEWAN RIVER









# FACIÁLNI MODELÝ

# ARCHITEKTURNÍ PRVKY

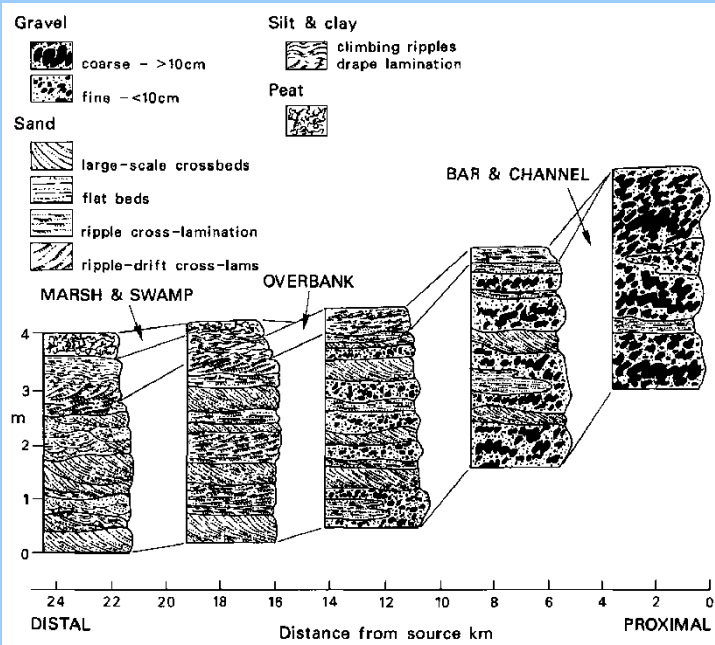
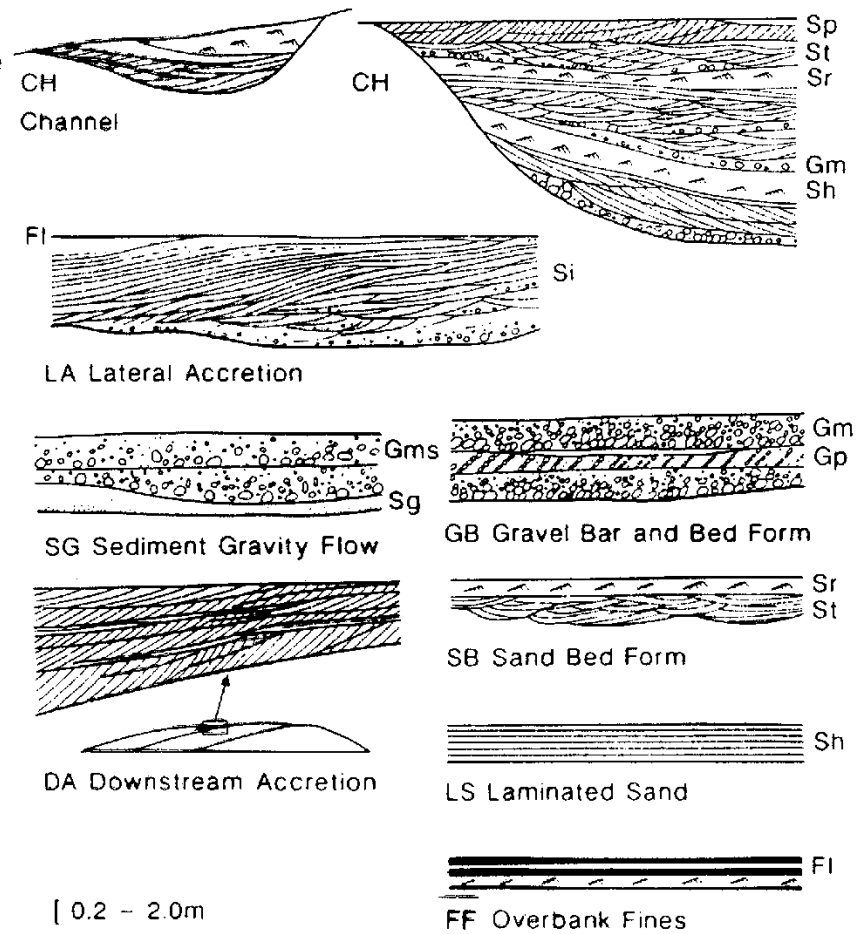
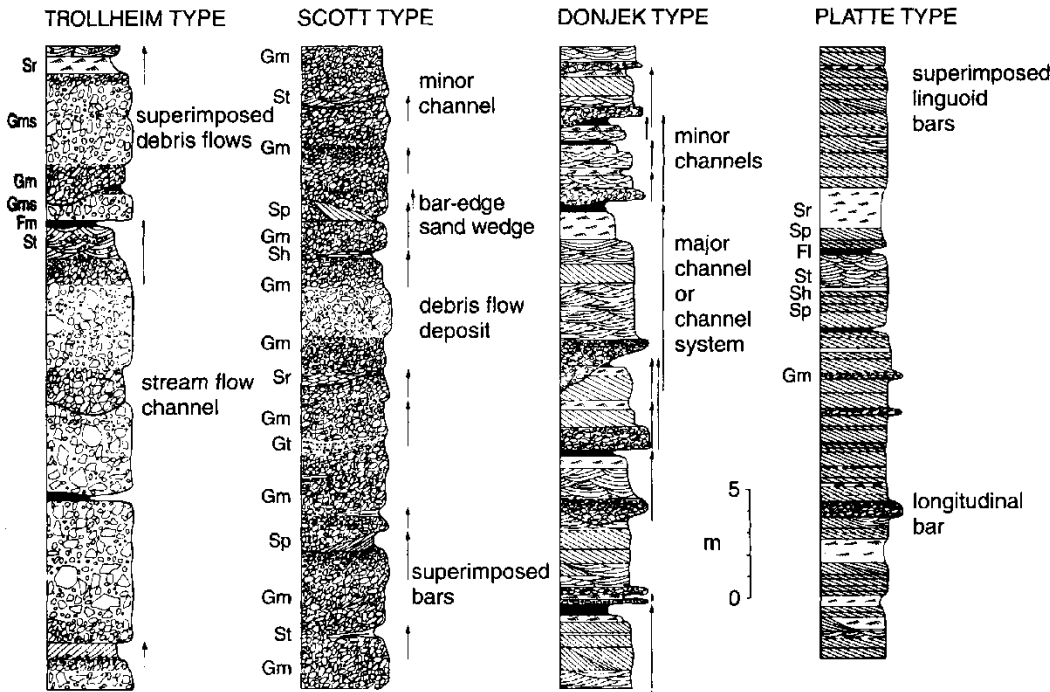


Fig. 4.13. The eight basic architectural elements in fluvial deposits. (Miall 1988a,b; modified from Miall 1985)

# Sedimentace různých typů fluviálních sedimentů během kvartéru

Klimatická a tektonická podmíněnost fluviální eroze/agradace v mírných zeměpisných šířkách.

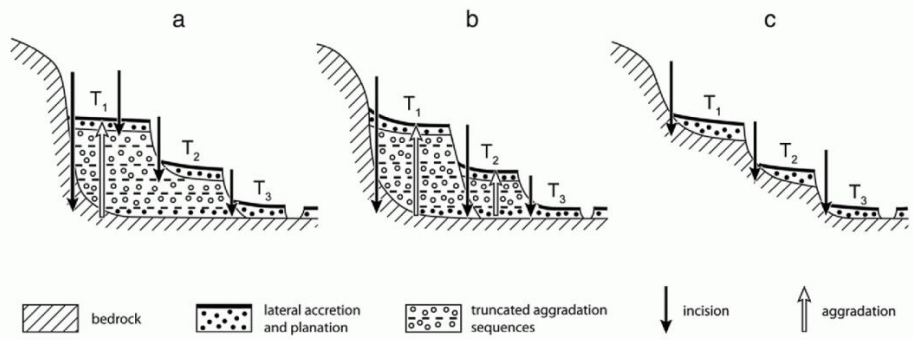
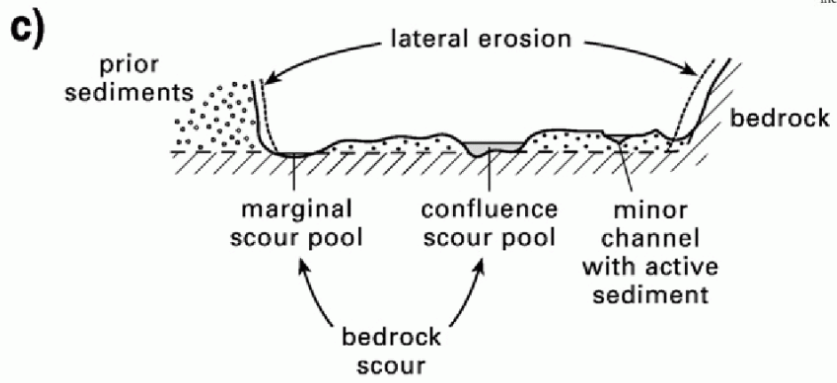
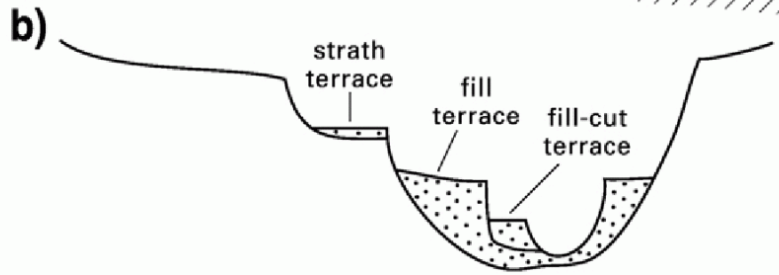
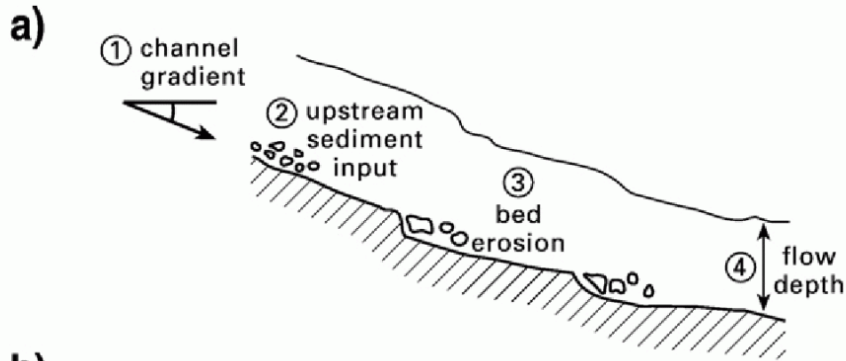


Fig. 1. Terrace formation sequences producing the same surface appearance: (a) by a set of incisions into prior valley fill, (b) by coupled cut-and-fill episodes, and (c) by progressive incision into bedrock to produce strath terraces.

Fig. 5. a) Variables affecting river incision potential, b) types of terrace (based on concepts from Bull, 1991), and c) a bedrock strath-cutting system.



# Vznik fluviální terasy během kvartérního klimatického cyklu

**Fáze 1: zářez** (přechod glaciál-interglaciál, vysoké průtoky díky tání permafrostu)

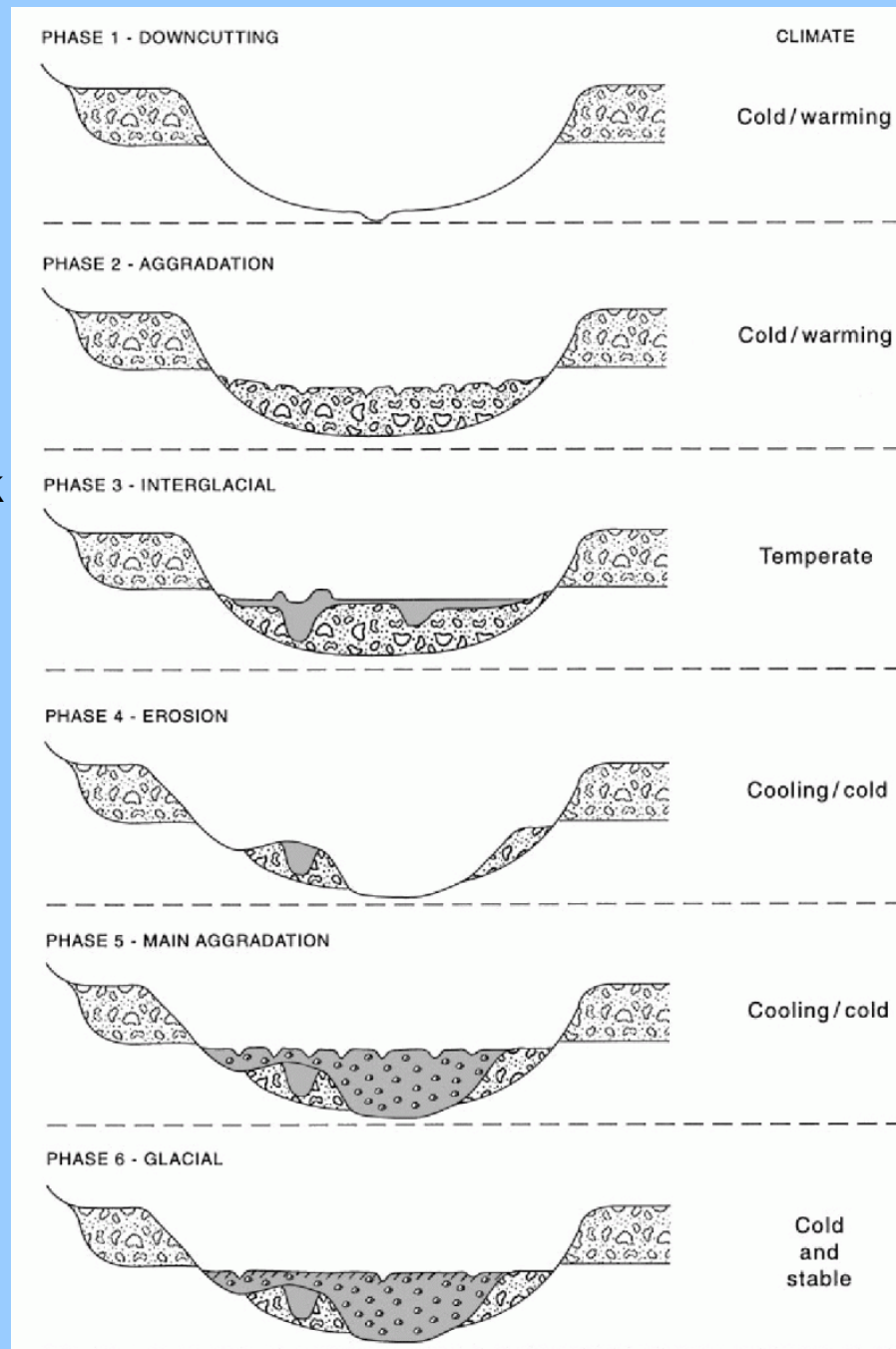
**Fáze 2: agradace** (přechod glaciál-interglaciál, především na dolních tocích, **převážně meandrující toky**)

**Fáze 3: přelivová sedimentace** (interglaciál, tvorba nivy, stabilizace údolních den, přelivové sedimenty díky srážkám, nedostatek hrubého materiálu, zachovává se výjimečně)

**Fáze 4: eroze** (přechod interglaciál-glaciál, díky krátkému trvání interglaciálu nedostatečný čas pro tektonický výzdvih, proto nedochází k sedimentaci)

**Fáze 5: hlavní agradace** (přechod interglaciál-glaciál, anaglaciální fáze, množství materiálu, snížení vegetačního krytu, **divočící toky**)

**Fáze 6: minimální aktivita** (glaciál, pleniglaciál, malá fluviální aktivita díky nedostatku vody - vázána v permafrostu, regolit fixován)



# Říční terasy

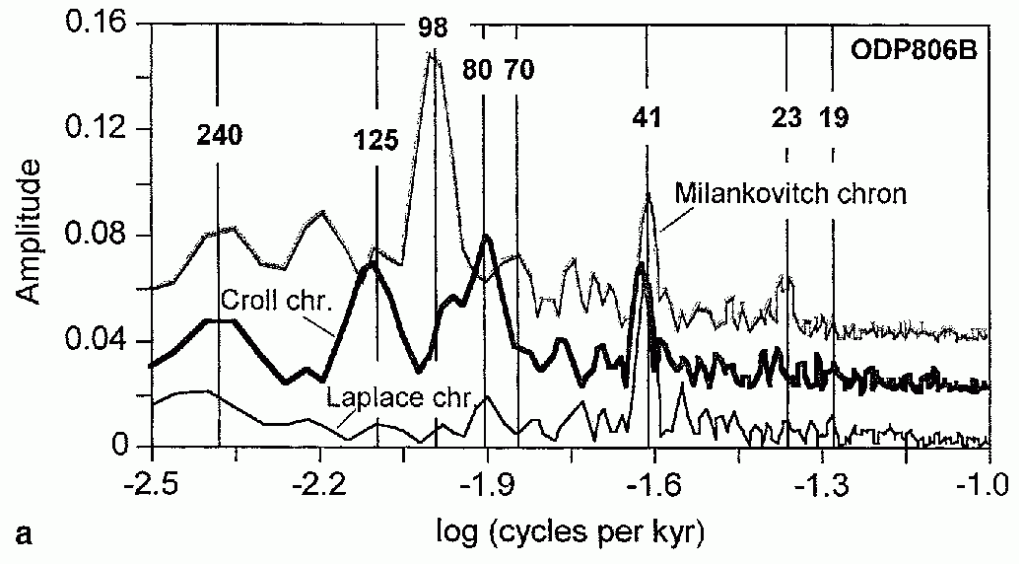
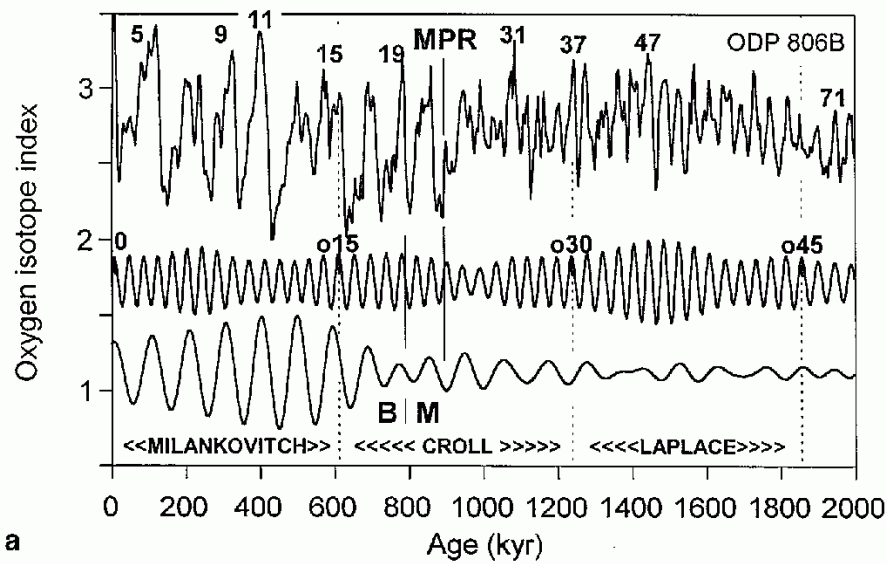
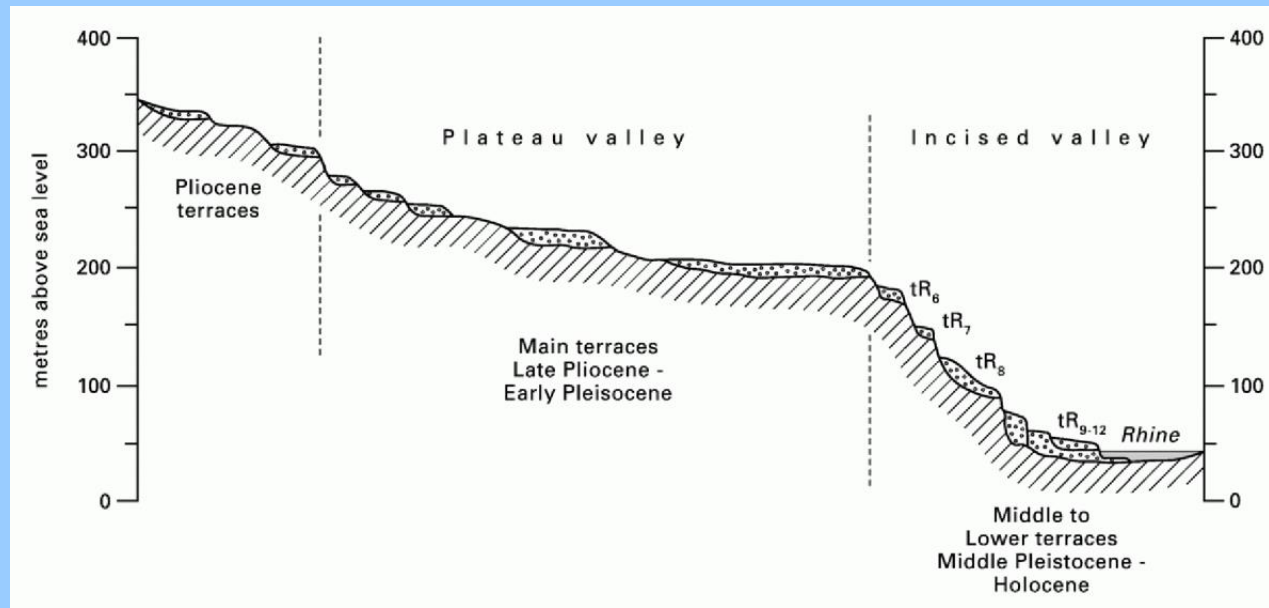
Každá akumulace představuje původní údolní dno dřívějšího toku. Terasa vznikne teprve hloubkovým zářezem po uložení předchozího štěrkového tělesa. Termín říční terasa používat pouze v morfologickém smyslu, je tvořena říčními písky a štěrky. Každá akumulace má svoji bázi a povrch – důležité pro morfostratigrafii. U nás používané termíny: **údolní terasa** – těleso uložené během viselského glaciálu, do něhož je zařiznutá holocenní říční niva s přelivovými sedimenty; **hlavní terasa** – těleso uložené během staršího sálského období (zřejmě více méně výrazných cyklů), dobře mapovatelné na většině našich řek; **vysoké terasy** – terasy starší než hlavní terasa.

- Terasy** – **akumulační**  
– **erozní** (skalní, snížené akumulační)



# Terasové systémy

U evropských řek se vyvíjejí od pliocénu. Jejich vývoj je kontrolován změnou globální erozní báze, tektonicky a klimaticky. K zásadní změně došlo přibližně na hranici **pliocén/pleistocén** a okolo hranice **spodního a středního pleistocénu**.





# Terasové systémy

Vznikají opakováním erozních a akumulčních fází v daném údolí. Morfostratigrafické členění fluviálních teras. Vztah k jiným kvartérním sedimentům.

Klasicky studované terasové systémy u nás: Vltava (Záruba 1943), Svatka (Kukla 1975), Ohře (Tyráček, 1995). Souborný přehled (Balatka a Sládek 1962, Tyráček 2001, Balatka a Kalvoda 2008, Tyráček a Havlíček 2009).

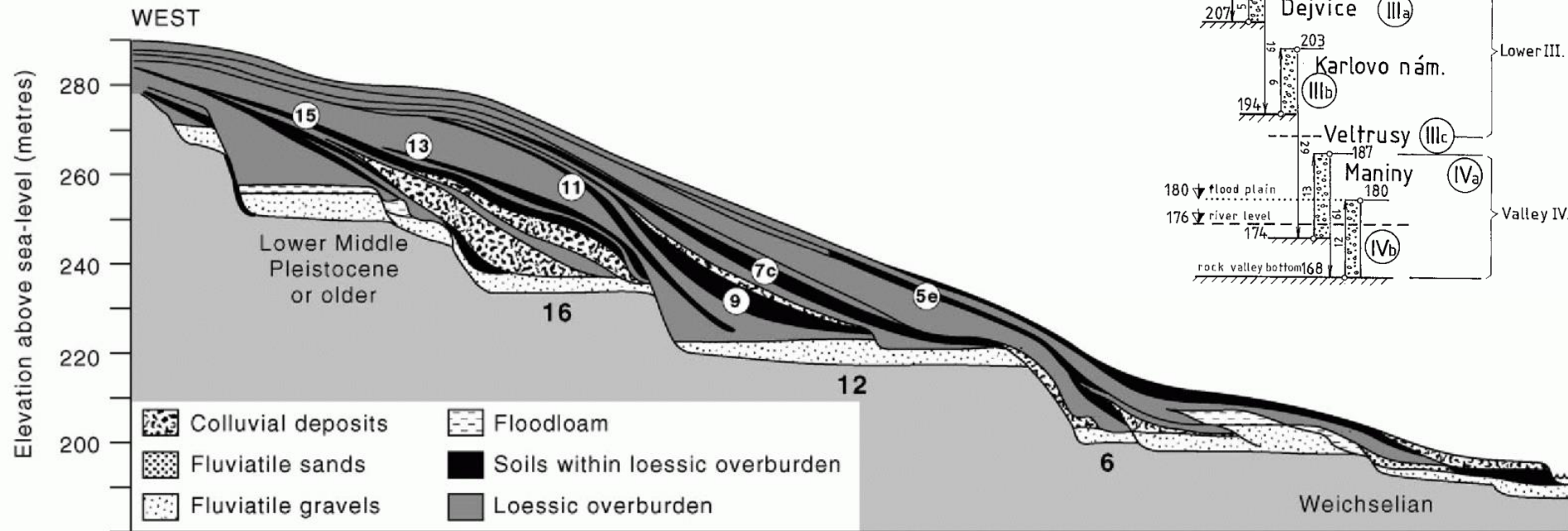
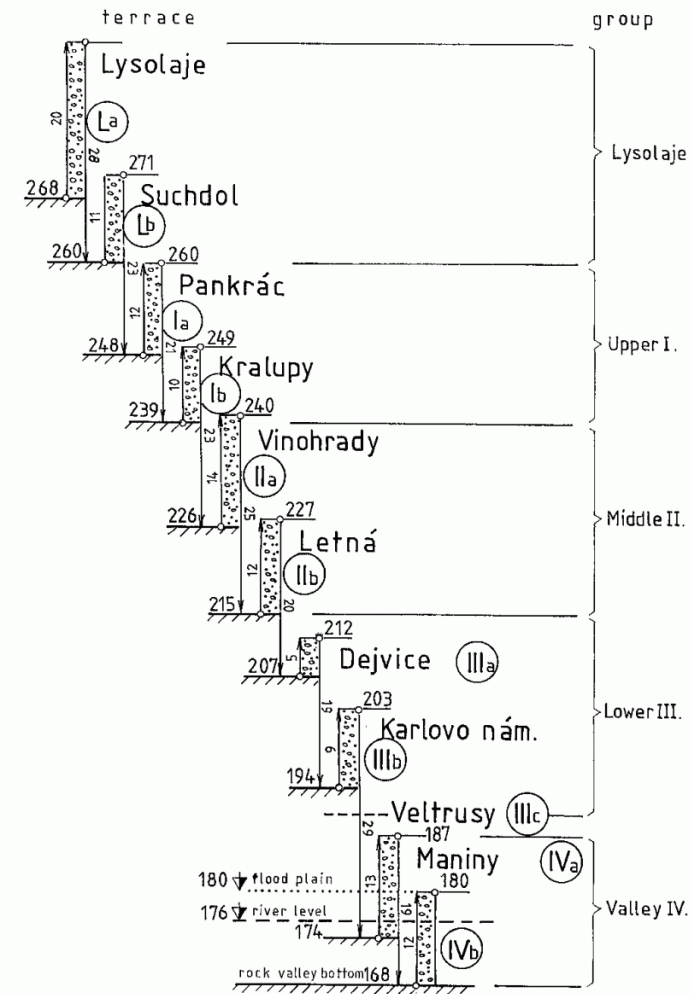


Fig. 4. Kukla's (1975, 1977) transverse section through the terraces of the River Svatka and loessic overburden, the Red Hill, Brno, Czech Republic. Modified in that suggested ages of fluvialite gravels and soils are given, using oxygen isotope stage notation where possible.

# Říční terasy vnitřních Čech

Terraces in "inner part" of the Bohemian Massif

	VLTAVA Záruba 1942	LÁBE		BEROUNKA Balatka–Loučková 1991	ORLICE Balatka–Sládek 1965	JIZERA Balatka–Sládek 1965	METUJE Řezáč 1955	
		WEST (Confluence area with Vltava) Balatka–Sládek 1962	EAST Sekyra 1967					
Würm	3	IVb	d 3–4	0–2/–11	c 3/–10	2/–8	g 3/–7 f 4/–7 c 6/–7	b 0/–11
	2		VI c 5–6/–10 I b 9/–10	3/–7	VII b 8/–10	VII 4/2	VII d 8/–7 c 10/–7	
	1	IVa	a 12/–10	5/–4	a 13/–2	7/5	b 12/–7 a 14/–7	a 6–4
Riss	2 + 3	IIIc	c 18/0 b 21/0 a 26/0	10/(0–2) 18/5	VI 18/–2	VI 24/5	VI 19/–4	V 18/8
	PRERISS + 1		IIIb	b 33/16	20/14	V b 28/19 a 35/33	V 30/20	V 22/16
		IIIa	V a 40/16	24/18	V 36/16			
Mindel	2	IIb	IV 47 54 60/43	38/30 35/30 55/46	IV b 40/37 a 48/33	IV 45/36	IV (45/38) 65/38	III 46/27
	1		IIa	b 71/55	58/52 62/50	III b 67/41	III 58/45	
Günz	2	Ib Ia	a 76/55	77/70 88/80	III a 77/56	III 65/57	II 97/88	II 56/32
	1		II 91/75	90/88	II b 83/71 a 88/73	II 75/68		
Donau	2	Lb La	I 115/106		I b 89/74	90	I 125–130/ 120–125	I 83/71
	1				I a 101/86			
Pliocene		ZDÍBY STADIUM	124/116		B 110/73	P 124/105	B 166/160	168–198
Miocene		KLÍNEC STADIUM	160		A 163/119		A	225–239

# Říční terasy severních a severozápadních Čech

Terraces in "outer part" of the Bohemian Massif

	LABE			PLOUČNICE				OHŘE	
	Grahmann 1933	Šibrava 1972	Balatka-Kalvoda 1995	Gregor-Tesařík 1959	Šibrava 1967	Růžicková-Růžicka 1984	Králík 1989	Balatka-Sládek 1976	
Würm	3	flood-plain 6	youngest gravel	4	flood-plain 3-5	flood-plain gravel		3-4	
	2							VI 0/?	VII <sub>3</sub> 6/2
	1	U 10-12						IV ?/3	VII <sub>2</sub> 8/2
Riss	2 + 3	O 25	LOVOSICE TERRACE	VII <sub>2</sub> 8/-10	III ?/12	8-12	IV	3-7	VI <sub>4</sub> 17/12 VI <sub>3</sub> 20/15 VI <sub>2</sub> 23/17 VI <sub>1</sub> 26/20
	PRERISS + 1	O 55	TRAVČICE TERRACE	VII <sub>1</sub> 12/-2	II ?/18-21	18	III	PERTOLTICE TERRACE	V <sub>2</sub> 33/30 V <sub>1</sub> 37/30
Mindel	2 + 3?	O 60-70	ÚSTÍ TERRACE	VI <sub>1</sub> 24/16	I 57/30-32	MIMOŇ TERRACE 25-30	II MIMOŇ TERRACE	MIMOŇ TERRACE	IV <sub>5</sub> 45/41 IV <sub>4</sub> 48/45 IV <sub>3</sub> 51/45 IV <sub>2</sub> 55/51 IV <sub>1</sub> 60/56
	1	I 80-90/ 40-60	NEBOČADY TERRACE	V <sub>2</sub> 37/27 V <sub>1</sub> 42/27		BOHATICE TERRACE 45-50	I BOHATICE TERRACE	BOHATICE TERRACE	III <sub>2</sub> 66/59
			NEŠTĚMICE TERRACE*	IV 55/46 III <sub>2</sub> 75/62 III <sub>1</sub> 82/62	III <sub>1</sub> 70/63-67				
Günz	2 1	E 110-120	70-90	II 97/81				II <sub>3</sub> 83/79 II <sub>2</sub> 89/84 II <sub>1</sub> 96/90	
Donau (Pregünz)	A <sub>2</sub>	135	100 150	I <sub>2</sub> (123/117)	80			I <sub>3</sub> 103/96 I <sub>2</sub> 116/107 I <sub>1</sub> 124/118	
Pliocene	A <sub>1</sub>	160-200		I <sub>1</sub> 142/132				B	
Miocene		240		I <sub>1</sub> (188/183)				A 197/190	

# Terasové systémy řek západní Evropy

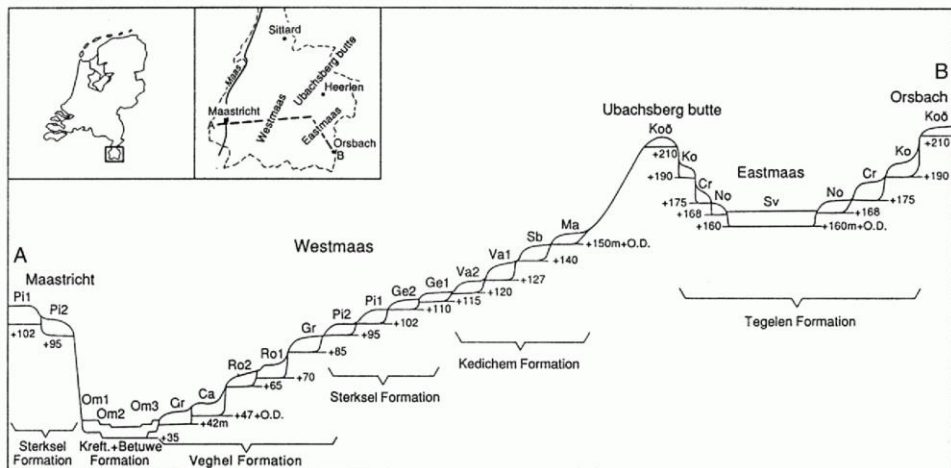


Fig. 1. Late Pliocene and Quaternary terrace staircase of the Maas river around Maastricht, southern Netherlands (Ruegg, 1993).

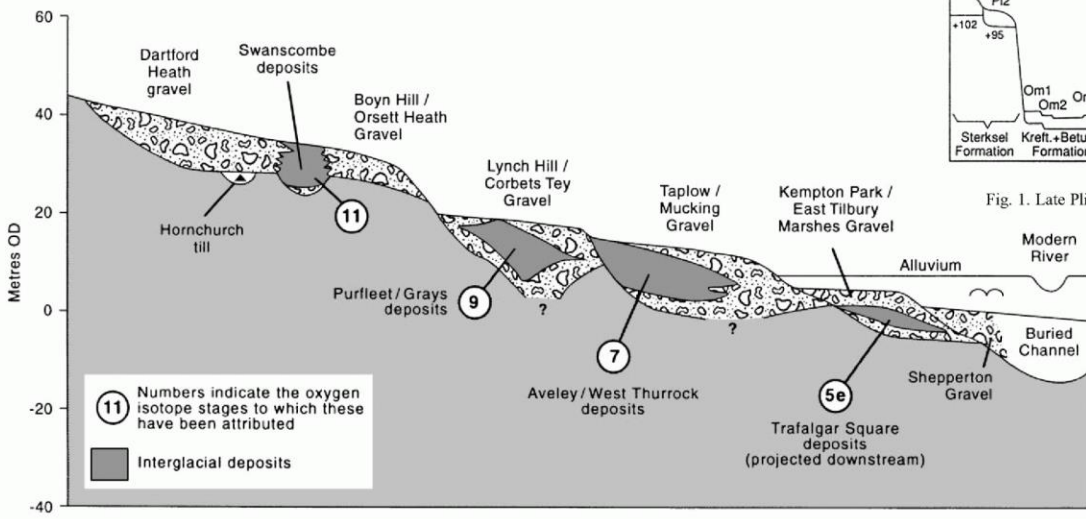
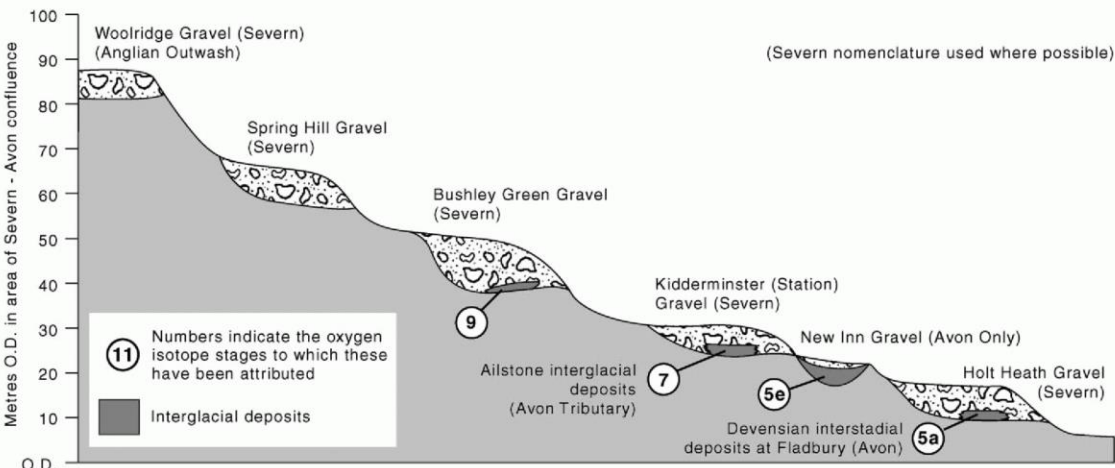


Fig. 2. Idealized transverse section through the Lower Thames terraces (after Bridgland, 1994a). Attribution of interglacial sediments to oxygen isotope stages is based on mammalian and molluscan biostratigraphy (Bridgland, 1994a; Preece, 1995a; Schreve, 1997; Bridgland and Schreve, in press), reinforced by amino acid geochronology (Bowen et al., 1995).



# Terasové systémy řek západní Evropy

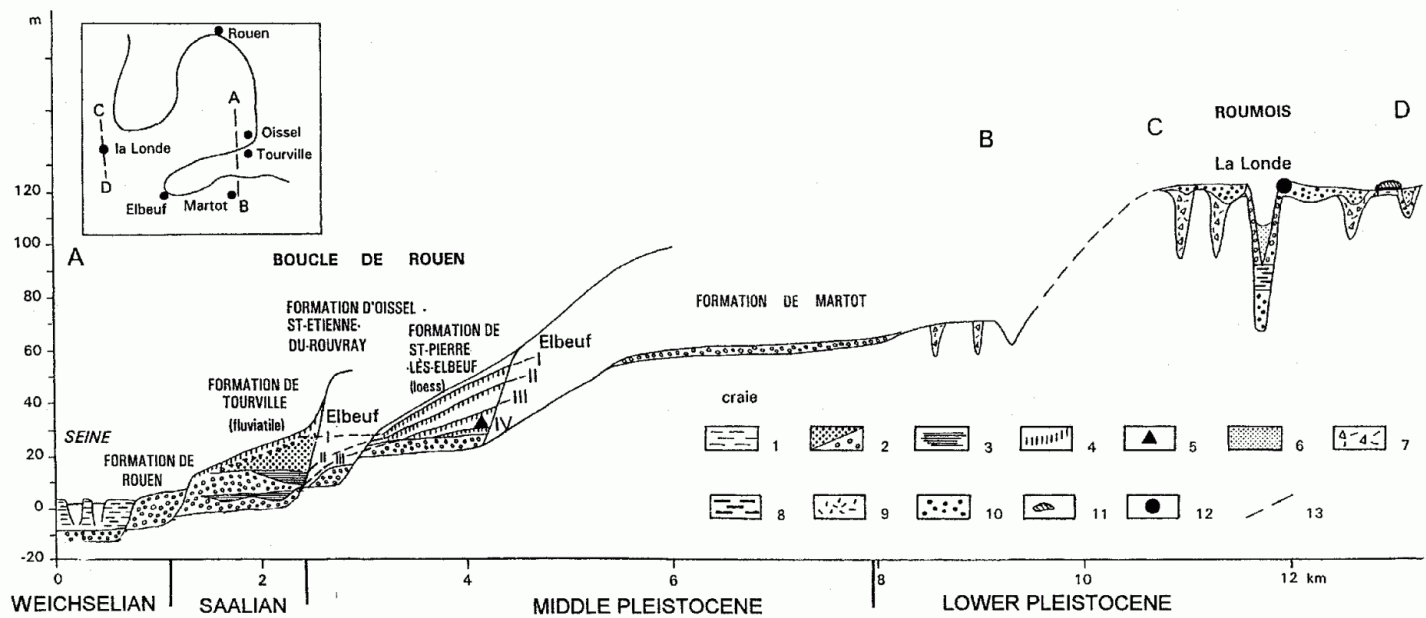


Fig. 3. Synthetic cross-section of the lower Seine terrace system near Rouen. (1) Holocene (2) Periglacial sands and gravels (3) Estuarine beds of Tourville (200 and 300 ky) (4) Brown leached soils (5) Calcareous tufa (Saint-Pierre) (6) Lower Pleistocene loess of La Londe (7) Clay with flints (8) Reuverian clay of La Londe (9) Saint-Eustache Sands (Pliocene) (10) Lozère Sands (11) Oligocene (12) Tertiary sandstone (13) Location of the cross-section.

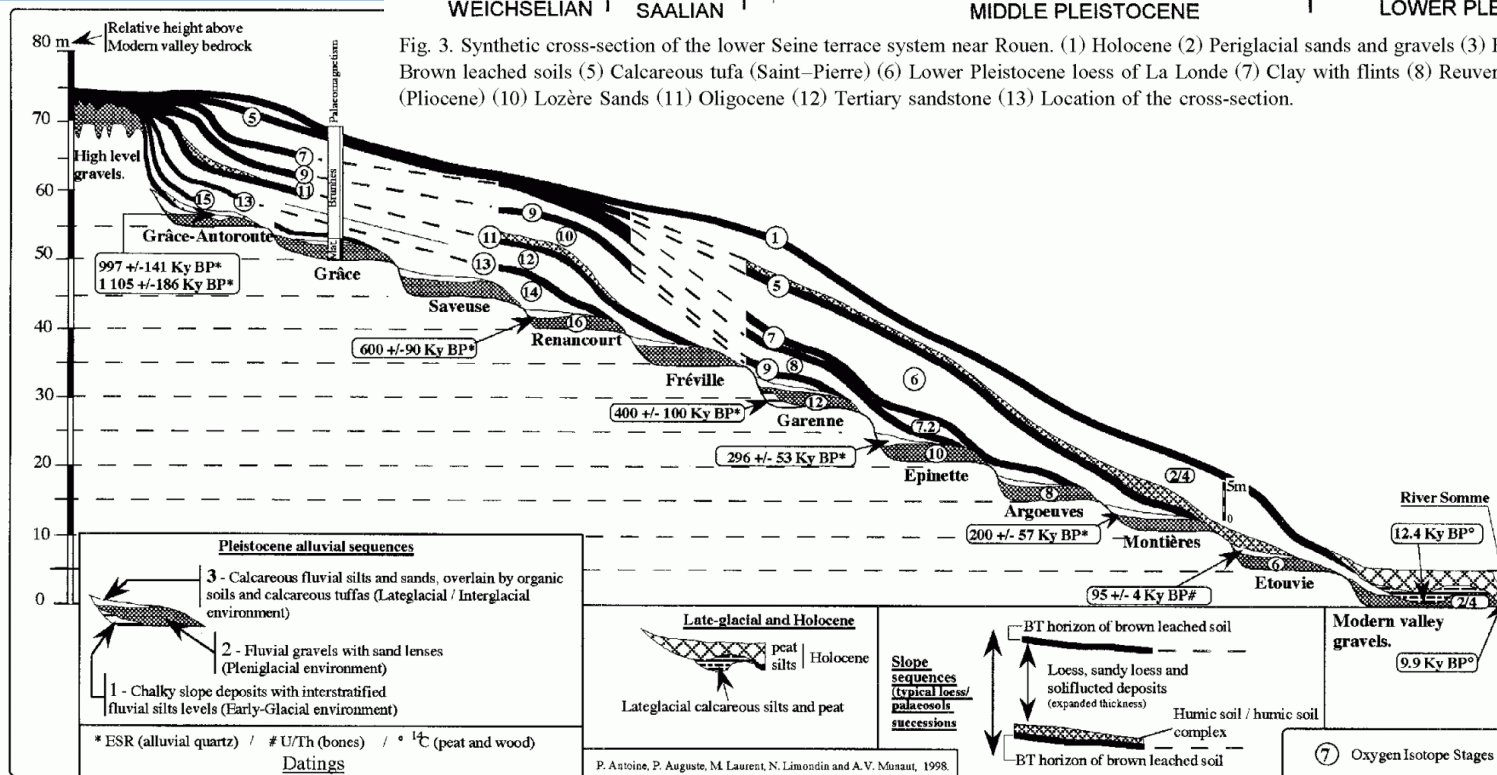


Fig. 7. Synthetic cross-section throughout the middle Somme terrace system (geometry, stratigraphy, geochronology and chronostratigraphical interpretation).



# SEDIMENTACE NA NIVĚ (mimokorytová sedimentace)

**niva** – periodicky zaplavovaná oblast okolo říčních koryt (floodplain, floodbasin), v rámci kvartérního klimatického cyklu se klasická niva u nás vyskytuje v **interglaciálních**, příp. v nejteplejších **interstadiálních** podmínkách.

Dílčí sedimentární prostředí:

- **Agradační valy, břehy (levées)**

(písčité materiály, planární laminace, čeřinové zvrstvení, sedimenty zjemňují směrem od koryta, primární struktury deformovány kořínky)

- **Průvalové vějíře (crevasse splays)**

(písčité materiály překrývající nivní hlíny, poproudová akrece, čeřinové zvrstvení)

- **Niva s.s. - močály, mokřady, slatiniště...**

(sedimentace z plošných pomalých proudů, tenké vrstvy písku až jílu ⇒ nivní hlíny, pozitivní gradace, laminace, čeřiny, často šplhavé, výsušné praskliny, půdy)

- **Příříční jezera**

(odškracené meandry, slepá ramena, sníženiny na nivě, dočasné nebo stálé, jemně laminované silty až jíly)

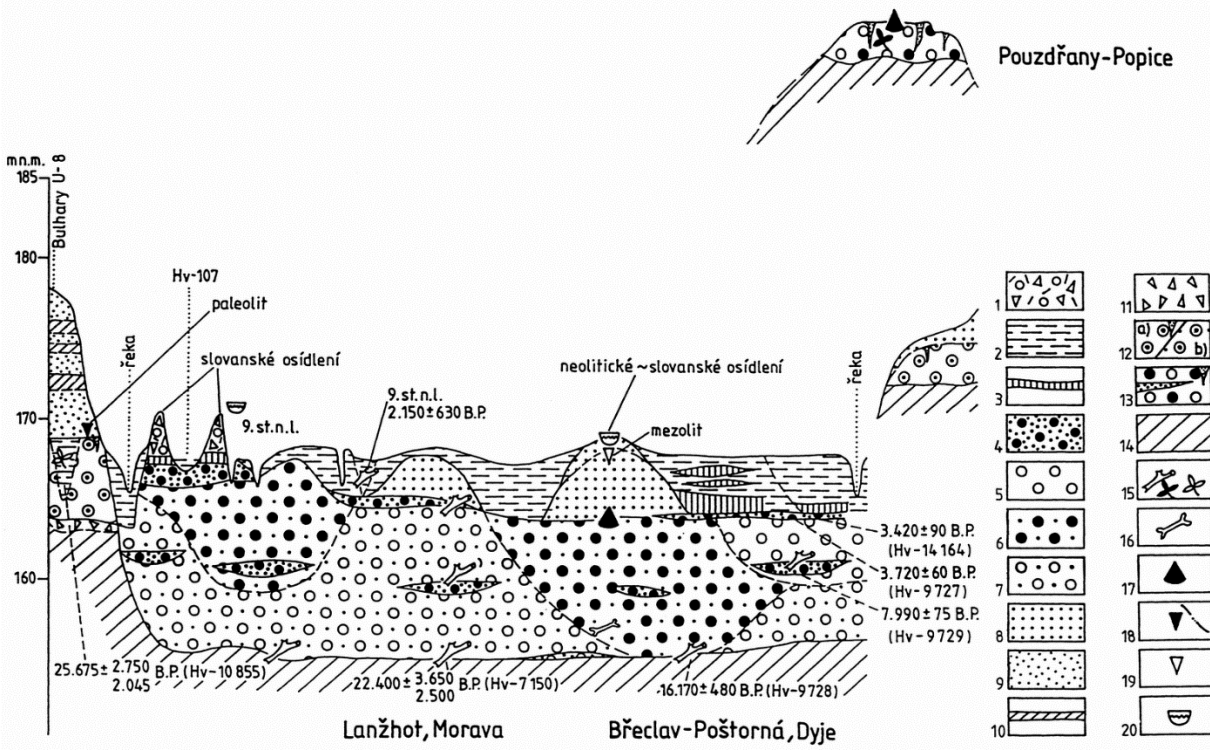




# Niva jako interglaciální fenomén střední Evropy

Dominance přelivové jemnozrnné sedimentace ⇒ **nivní hlíny**, ukládány od staršího holocénu, především ve vlhčích obdobích, během posledních ~1–2 ka nová intenzivní fáze přelivové říční sedimentace vázaná na antropogenně způsobené povodně odlesněním povodí.

Při významných povodních (1997, 2002) časté průvaly do prostoru nivy a ukládání hrubozrnných sedimentů.

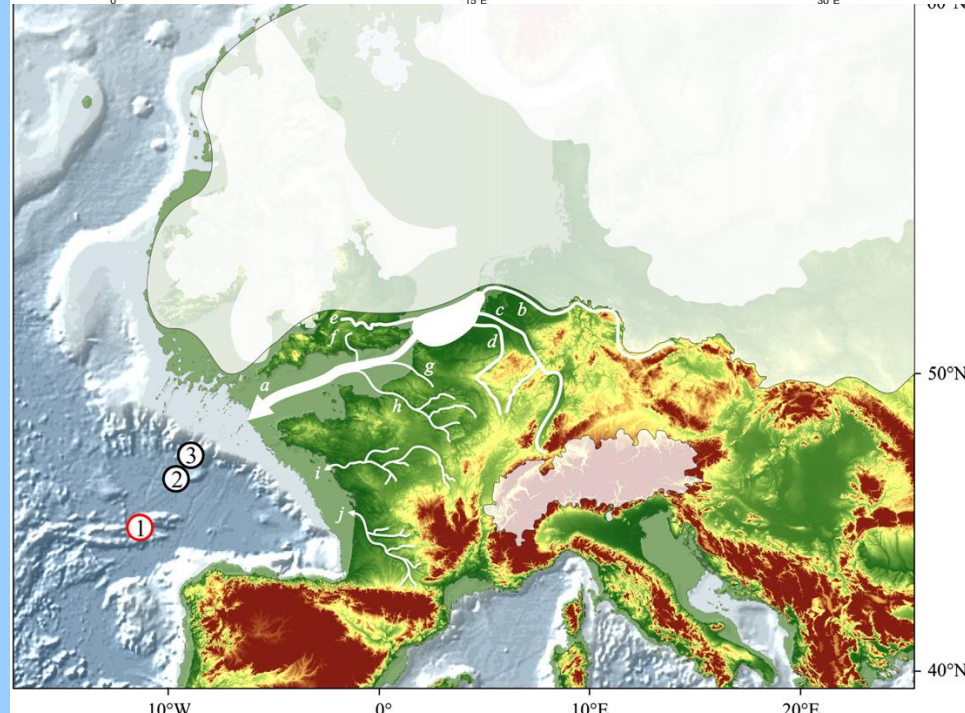
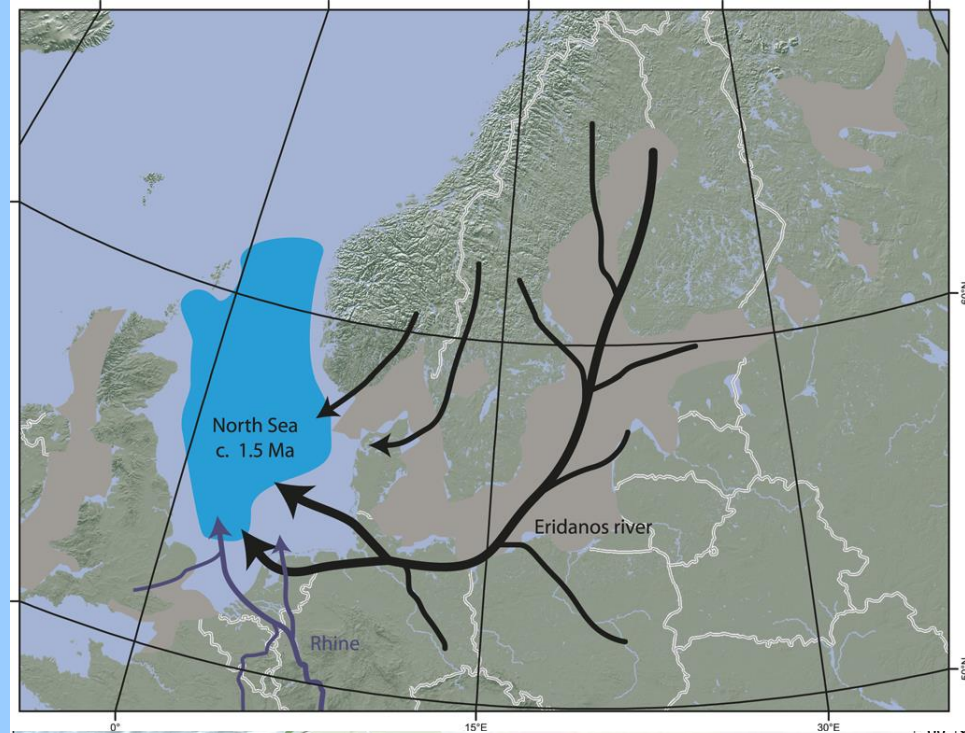




# Kvartérní změny říční sítě Evropy

**Eridanos** – největší evropská řeka pliocénu a spodního pleistocénu odvodňující celé dnešní Baltské moře a ústící do Severního moře rozsáhlou progradující deltou.

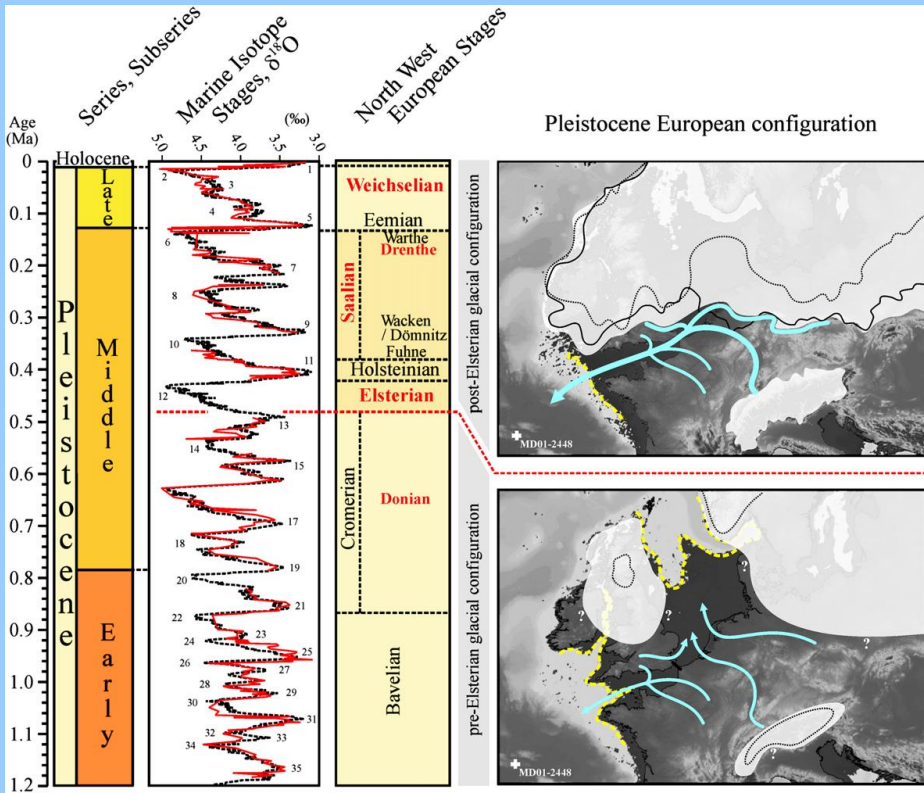
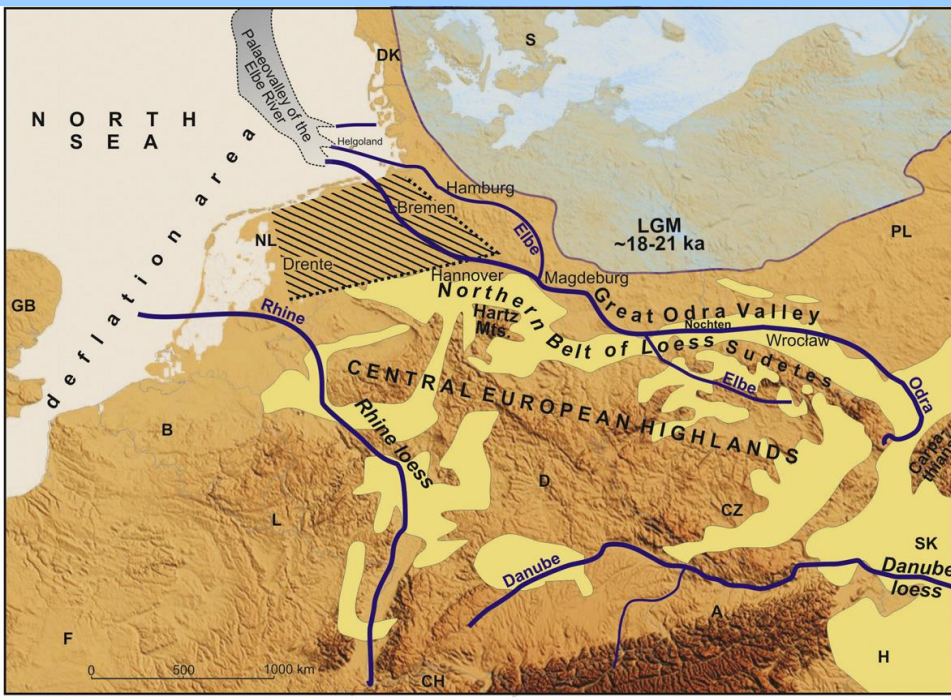
Před 0,8–1,0 Ma přestala fungovat jako hlavní drenáž a největší řekou ústící do severního moře se stával **paleo-Rýn**, s Temží jako přítokem. Zahrazení Rýna spolu s vodou odvodňující Střední Evropu a čelo Severoevropského ledovcového štítu během vrcholných glaciálů středního pleistocénu vytvořilo rozsáhlé **ledovcem hrazené jezero** v prostoru dnešního Severního moře. Opakovaný přetok vody z tohoto jezera do zálivu La Manche způsobil **erozní vznik Doverské úžiny** a převedl drenáž budoucích řek odvodňujících sz. část Evropy směrem do zálivu La Manche a do Biskajského zálivu za vzniku **Channel River (Fleuve Manche)**.





# Kvartérní změny říční sítě Evropy

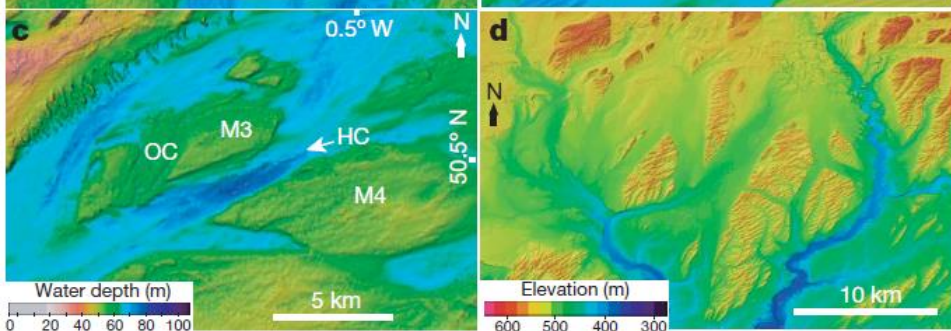
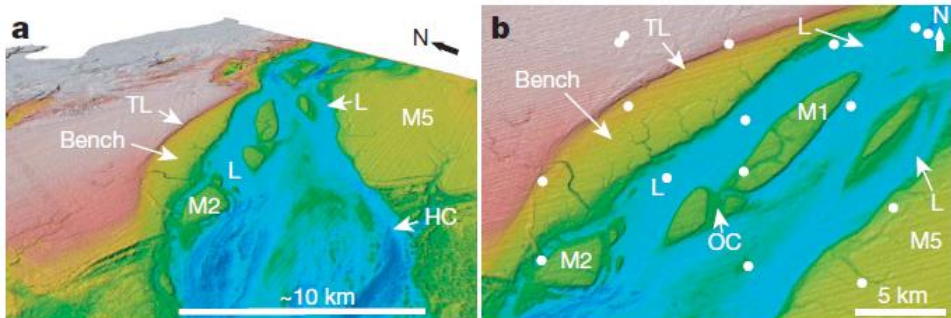
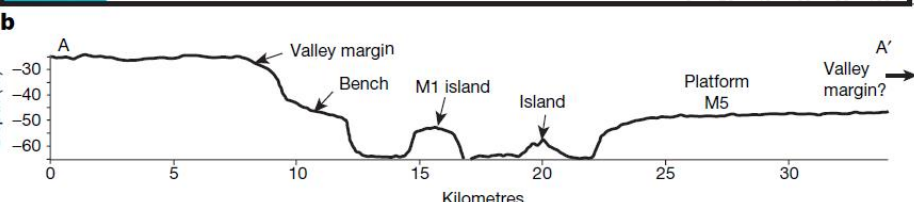
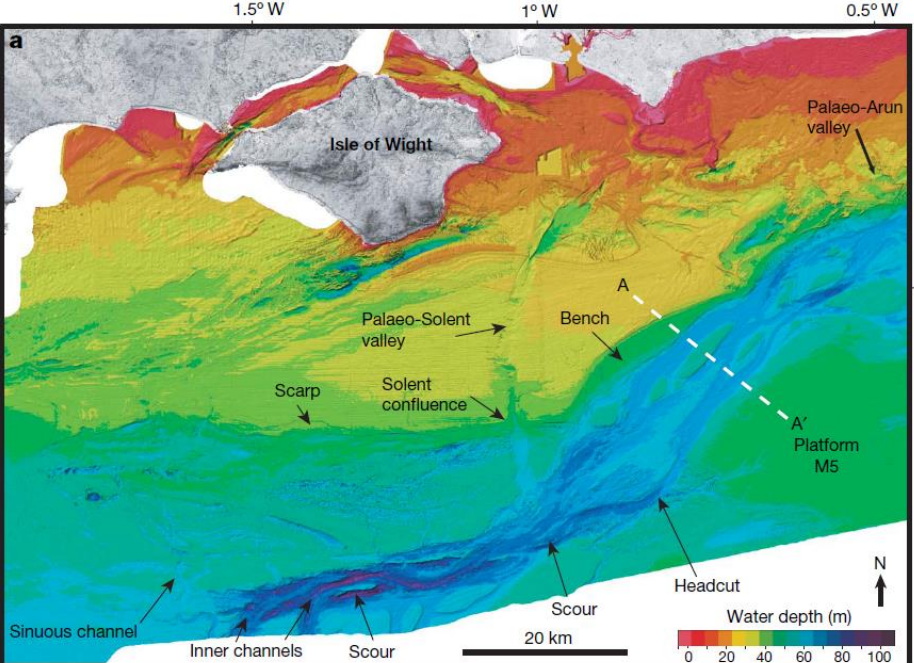
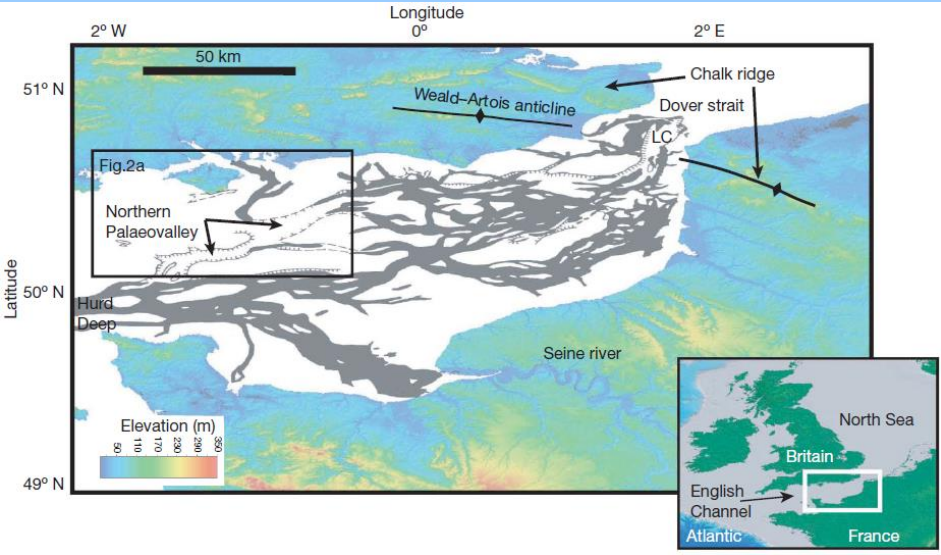
Střední Evropa a čelo Severoevropského ledovcového štítu bylo během vrcholných středopleistocenních glaciálů odvodňováno společnou „Velkou“ řekou za vzniku širokého terminoglaciálního koryta. Její pozůstatky tvoří několik generací východozápadních úseků Visly, Odry a Labe a tato řeka směřovala do prostou dnešní jižní části Severního moře, v mladší části středního pleistocénu do kanálu La Manche.





# Channel River (Fleuve Manche)

Detailní batymetrie průlivu La Manche a okraje Biskajského zálivu jasně prokazuje fluvialní erozně-akumulační původ paleoúdolí na pevninském šelfu. Tato řeka fungovala během většiny glaciálních období od počátku středního pleistocénu s hlavními zdrojnicemi: Visla, Odra, Labe, Rýn, Meuse, Temže, Somme a Seina.



- Antoine P., Lautridou J.-P., Laurent M. (2000): Long-term fluvial archives in NW France: response of the Seine and Somme rivers to tectonic movements, climatic variations and sea-level changes. *Geomorphology* 33, 183–207.
- Badura J., Jary Z., Smalley I. (2013): Sources of loess material for deposits in Poland and parts of Central Europe: The lost Big River. *Quaternary International* 296, 15–22.
- Balatka B., Kalvoda J. (2008): Evolution of Quaternary river terraces related to the uplift of the central part of the Bohemian Massif. *Geografie* 113, 205–222.
- Balatka B., Sládek J. (1962): Říční terasy v Českých zemích. 578 pp. Geofond, Praha.
- Berger W.H. (1999): The 100-kyr ice-age cycle: internal oscillation or inclinational forcing? *International Journal of Earth Sciences* 88, 305–316.
- Bridgland D.R. (2000): River terrace systems in north-west Europe: an archive of environmental change, uplift and early human occupation. *Quaternary Science Reviews* 19, 1293–1303.
- Cohen K.M., Gibbard P.L., Weerts H.J.T. (2014): North Sea palaeogeographical reconstructions for the last 1 Ma. *Netherlands Journal of Geosciences* 93, 7–29.
- Gibbard P.L., Lewin J. (2009): River incision and terrace formation in the Late Cenozoic of Europe. *Tectonophysics* 474, 41–55.
- Gupta S., Collier J.S., Palmer-Felgate A., Potter G. (2007): Catastrophic flooding origin of shelf valley system in the English Channel. *Nature* 448, 342–346.
- Lewin J., Gibbard PL (2010): Quaternary river terraces in England: Forms, sediments and processes. *Geomorphology* 120, 293–311.
- Starkel L. (2003): Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas. *Quaternary Science Reviews* 22, 2189–2198.
- Toucanne S. et al. (2009): A 1.2 Ma record of glaciation and fluvial discharge from the West European Atlantic margin. *Quaternary Science Reviews* 28, 2974–2981.
- Tyráček J. (1995): Stratigraphy of the Ohře River terraces in the Most Basin. *J. Geol. Sci., Anthropozoic* 22, 141–157.
- Tyráček J. (2001): Upper Cenozoic fluvial history in the Bohemian Massif. *Quaternary International* 79, 37–53.
- Tyráček J., Havlíček P. (2009): The fluvial record in the Czech Republic: A review in the context of IGCP 518. *Global and Planetary Change* 68, 311–325.
- Vandenberghe J. (1995): Timescales, climate and river development. *Quaternary Science Reviews* 14, 631–638.
- Vandenberghe J. (2001): A typology of Pleistocene cold-based rivers. *Quaternary International* 79, 111–121.
- Vandenberghe J. (2008): The fluvial cycle at cold–warm–cold transition in lowland regions: A refinement of theory. *Geomorphology* 98, 275–284.
- Záruba Q. (1943): Podélný profil vltavskými terasami mezi Kamýkem a Veltrusy. *Rozpravy České akademie věd, II. třída* 52/1942, 9, 1–39.