

Tektonická geomorfologie – 15. 3. 2012, Brno

- Odras tektonických procesů v říčním systému, následná zvýšená eroze a akumulace, asymetrie povodí, analýza údolní sítě
- Analýza fluviálních tvarů reliéfu porušených tektonickými pohyby - říční terasy, analýza podélných a příčných profilů vodních toků
- Analýza okrajových zlomových svahů pohoří
- Zlomové svahy, jejich vývoj, degradace, možnosti jejich datování

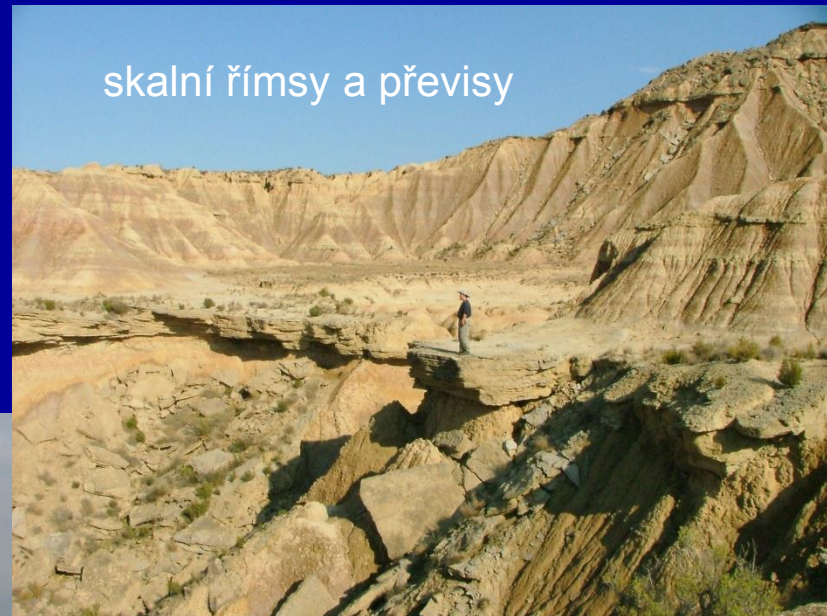
Morfostrukturní analýza

- Tektonická geomorfologie používá metody **morfostrukturní analýzy**:
- Analýza vztahu mezi **geologickou strukturou** (litologie, struktura - zlomy, vrásy) a **reliéfem** => vliv podloží

Strukturní reliéf podmíněný úložnými poměry a selektivním zvětráváním a erozí



strukturní hřbet,
skalní stěna



skalní římsy a převisy



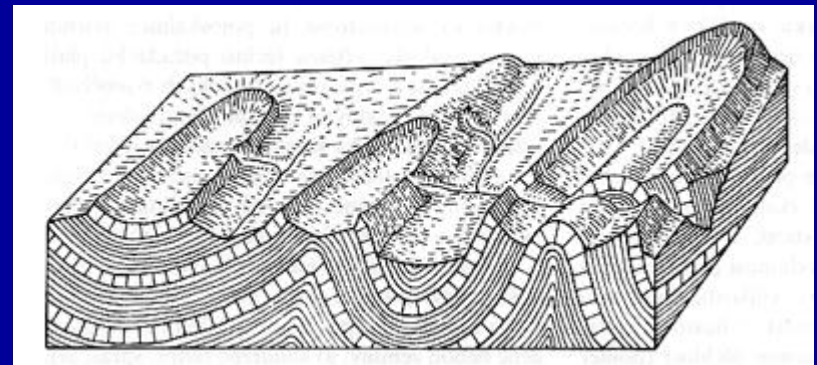
strukturní plošiny a
stolové hory - mesa (šp.
stůl)

Morfostrukturní analýza

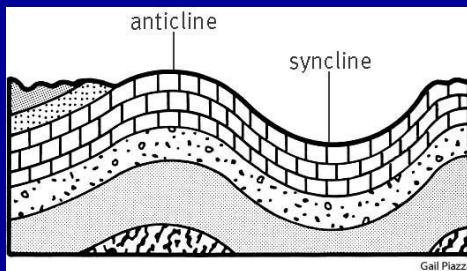
- Tektonická geomorfologie používá metody **morfostrukturní analýzy**:
- Analýza vztahu mezi geologickou strukturou (litologie, struktura - zlomy, vrásy) a reliéfem

- **Strukturní reliéf** podmíněný tektonickými pohyby – tektonický reliéf

- Konformní vrásový reliéf – synklinální údolí, antiklinální hřbety



Inverzní reliéf



= celkové zhodnocení vztahů mezi geologickými strukturami a reliéfem



Morfostruktura - část horninového prostředí s jednotným vývojem a strukturními vlastnostmi, maximálně homogenní uvnitř a odlišná od okolí (např. část pohoří se stejnou rychlostí výzdvihu.....)



pasivní morfostruktura - horninová stavba a starší tektonika



aktivní morfostruktura - mladá a současná tektonika všeho druhu, současný vulkanismus, seismická

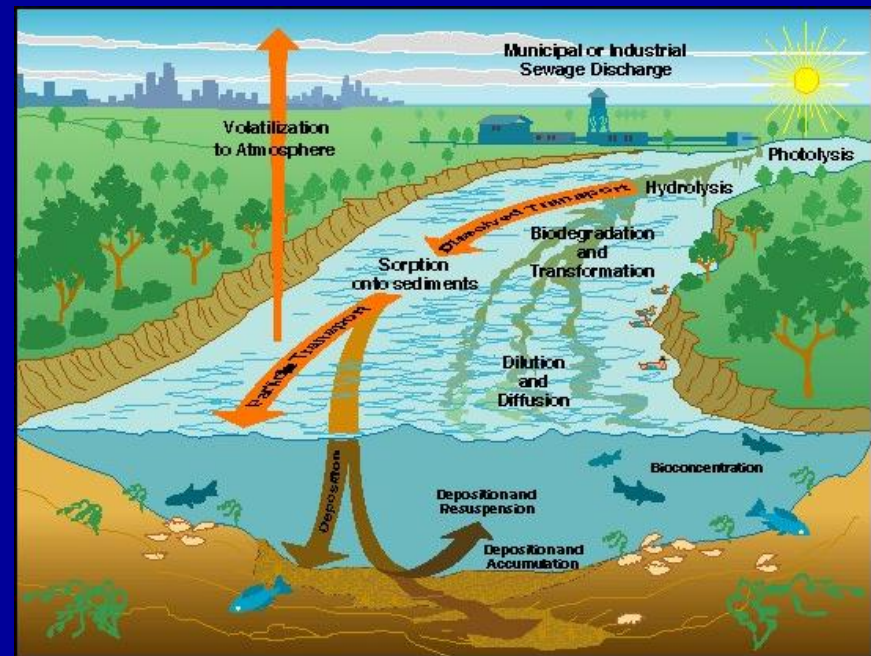
Tektonické tvary reliéfu X tvary tektonikou ovlivněné

➤ Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

➤ Údolní systém **reaguje citlivě** na procesy jak **endogenního**, tak **exogenního** původu - jeho analýza může obsahovat užitečné informace o neotektonické aktivitě (vertikální pohyby) – začátek analýzy

➤ Vodní toky - parametry šířka a hloubka koryta, množství transportovaného materiálu, plaveniny v suspenzi, dnové splaveniny, sklon koryta, sinuosita (křivolakost) koryta, rychlost proudění atd.

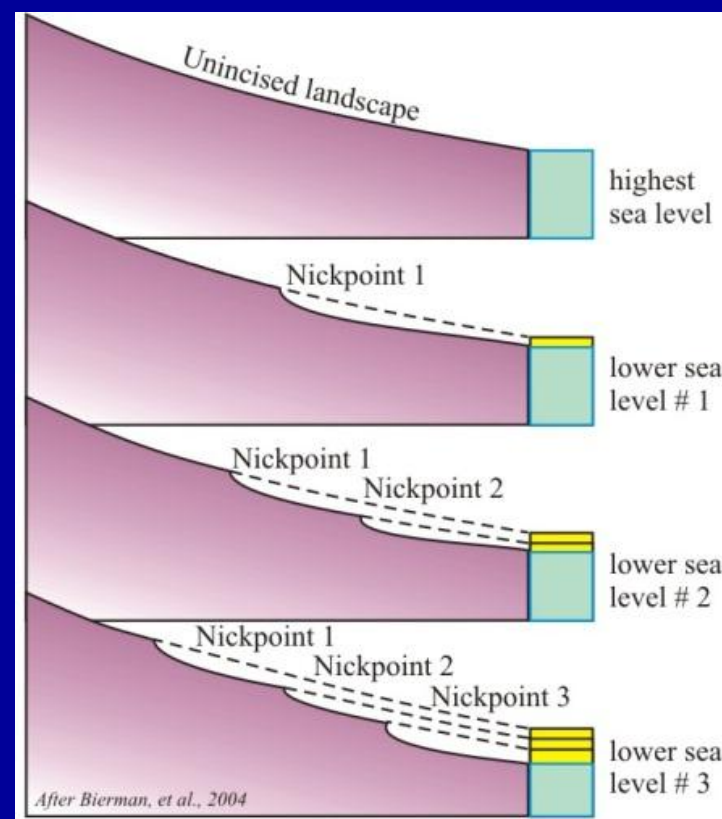
– tyto parametry jsou v rovnováze v říčním systému – citlivé na jakoukoliv změnu



Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

⇒ **Klimatické změny** v kvartéru (2,6 mil let) – hluboký efekt na říční systém – globální **změny hladiny světového oceánu** způsobily ve velkém měřítku cykly agradace (akumulace) a degradace (eroze)

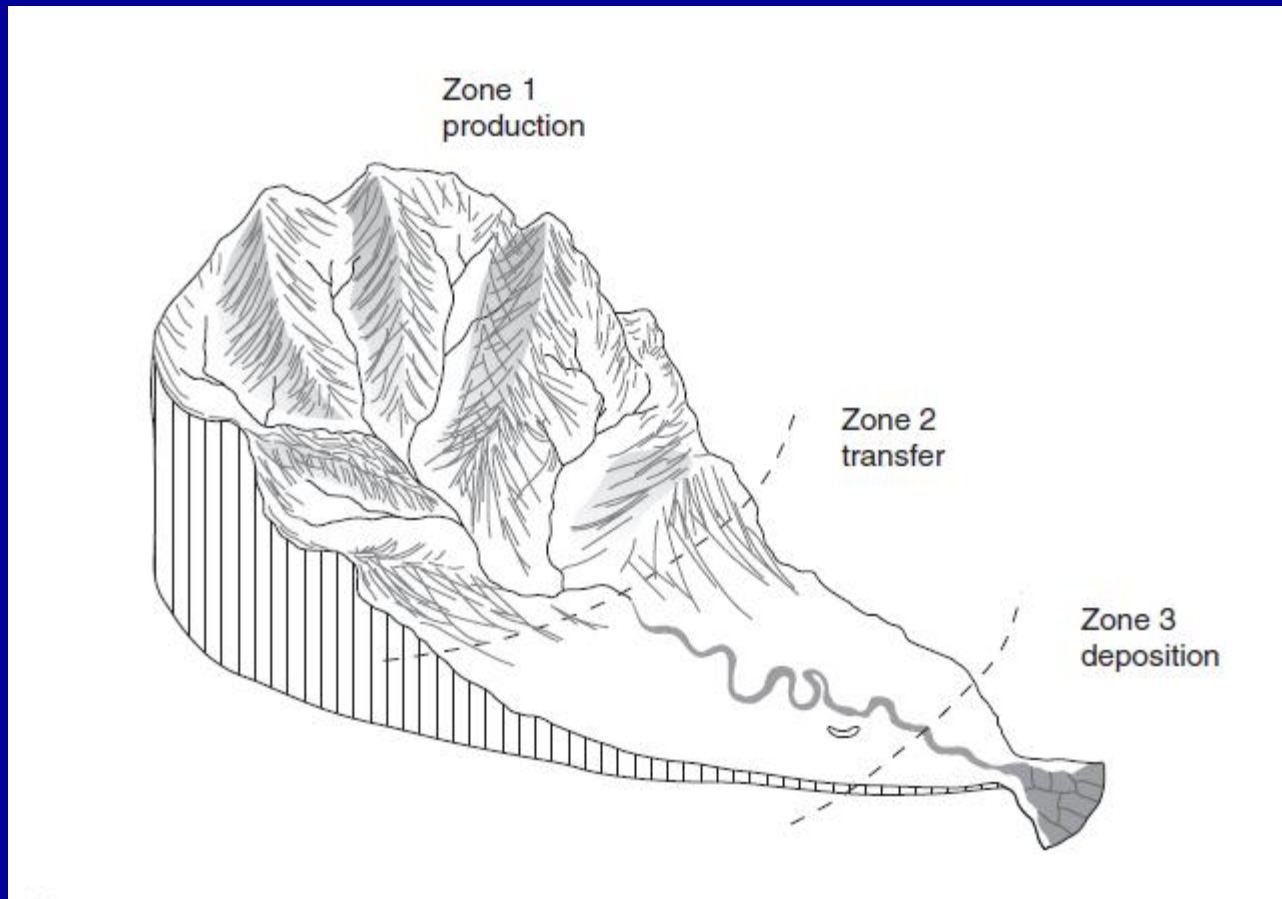
⇒ = **změna erozní báze** - nejnižší bod říčního toku, pod kterým již řeka nemůže erodovat (lokální erozní báze – na toku; mořská hladina)



Odraz tektonických procesů v říčním systému



Fluviální procesy: eroze, transport, akumulace



Odraz tektonických procesů v říčním systému

Typy řek podle množství unášeného materiálu

⇒ **Alluvial rivers** – parametry jako drsnost koryta, viskozita, tření, sklon koryta atd. nedovolují odnášet materiál, řeky tečou ve svých náplavech

- citlivější k tektonickým pohybům

⇒ **Bedrock rivers** – materiál je transportován pryč, řeky tečou v obnaženém skalním podkladu

- méně citlivé na tektoniku, trvá to dlouho než se takový tok přizpůsobí, projevy tektoniky jsou maskovány lokálními rozdíly v odolnosti hornin a struktuře

⇒ **Graded river** (řeka s vyrovnanou spádovou křivkou) – ve stavu dynamické rovnováhy, pouze transportuje materiál, neeroduje ani neakumuluje

Alluvial rivers – citlivé na jakoukoliv změnu parametrů a reagují rychle, může v nich být zaznamenána aktivní tektonika z nedávné minulosti

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

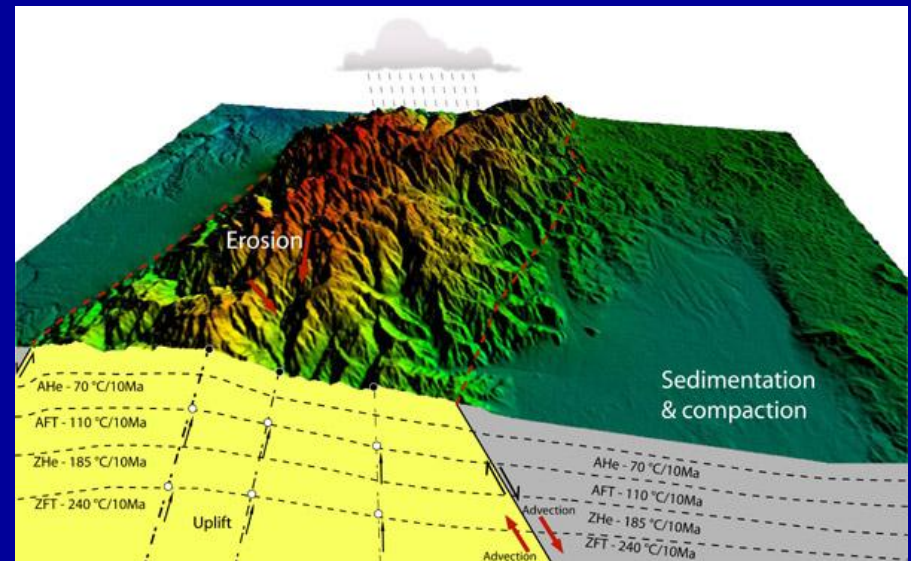
Akumulace a eroze

⇒ **Tektonický výzdvih** – vyvolává zvýšenou erozi, nebo redukce ukládání

- vyšší eroze = větší množství dostupného materiálu, náhlé zhrubnutí sedimentů v sekvencích náplavových kuželů

V oblastech s vysokou topografií (hory) – ostatní parametry jsou stejné, ale přínos materiálu je největší

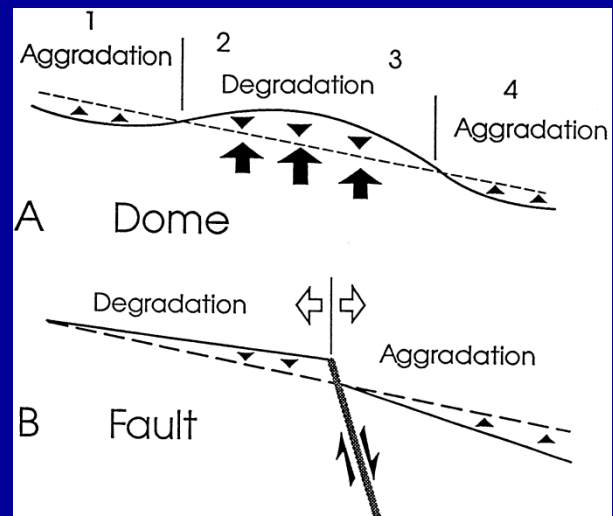
V částech s normálními úložnými poměry – ztenčování mocnosti sedimentů poukazuje na výzdvih



Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



Subsidence, pokles – podporuje sedimentaci nebo přinejmenším již zvyšuje existující akumulaci

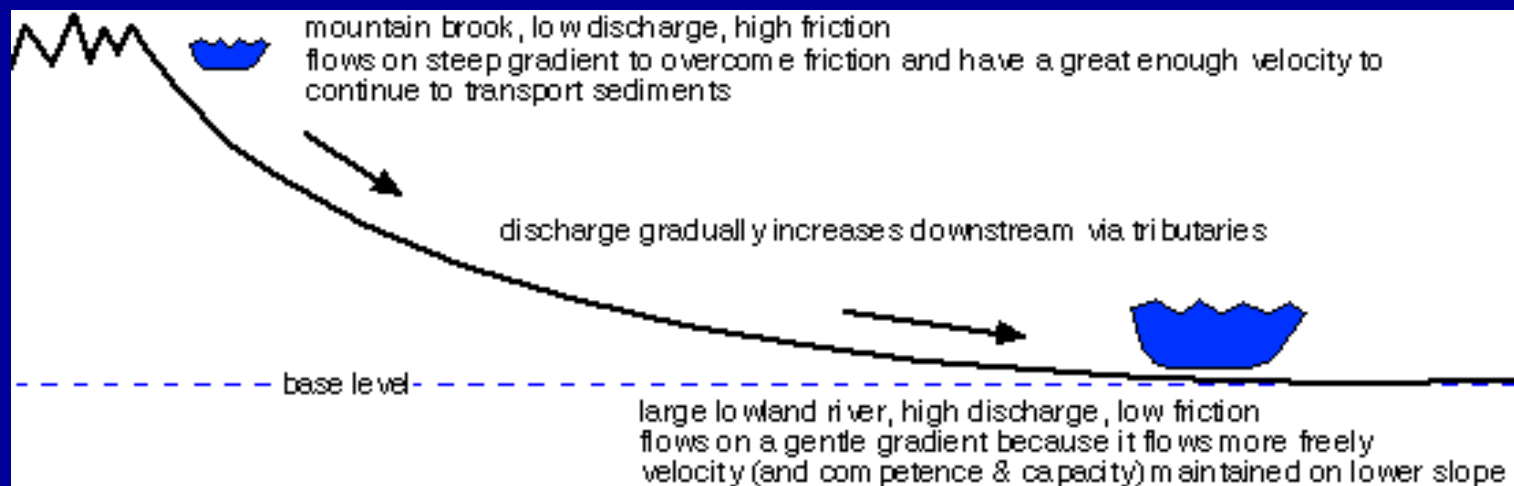


Změny se projeví obvykle v podélném profilu toku – **spádové křivce**

Tektonika v regionálním měřítku - tvar křivky

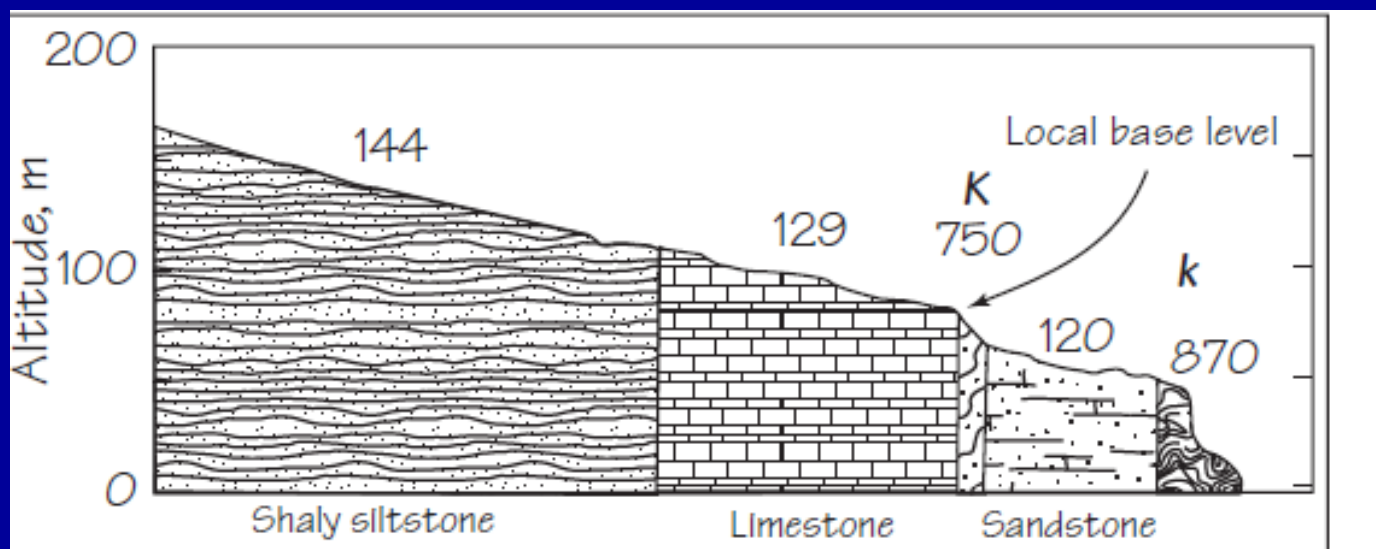
lokální měřítko – anomálie, lomy ve spádu

Graded river –
konkávní tvar



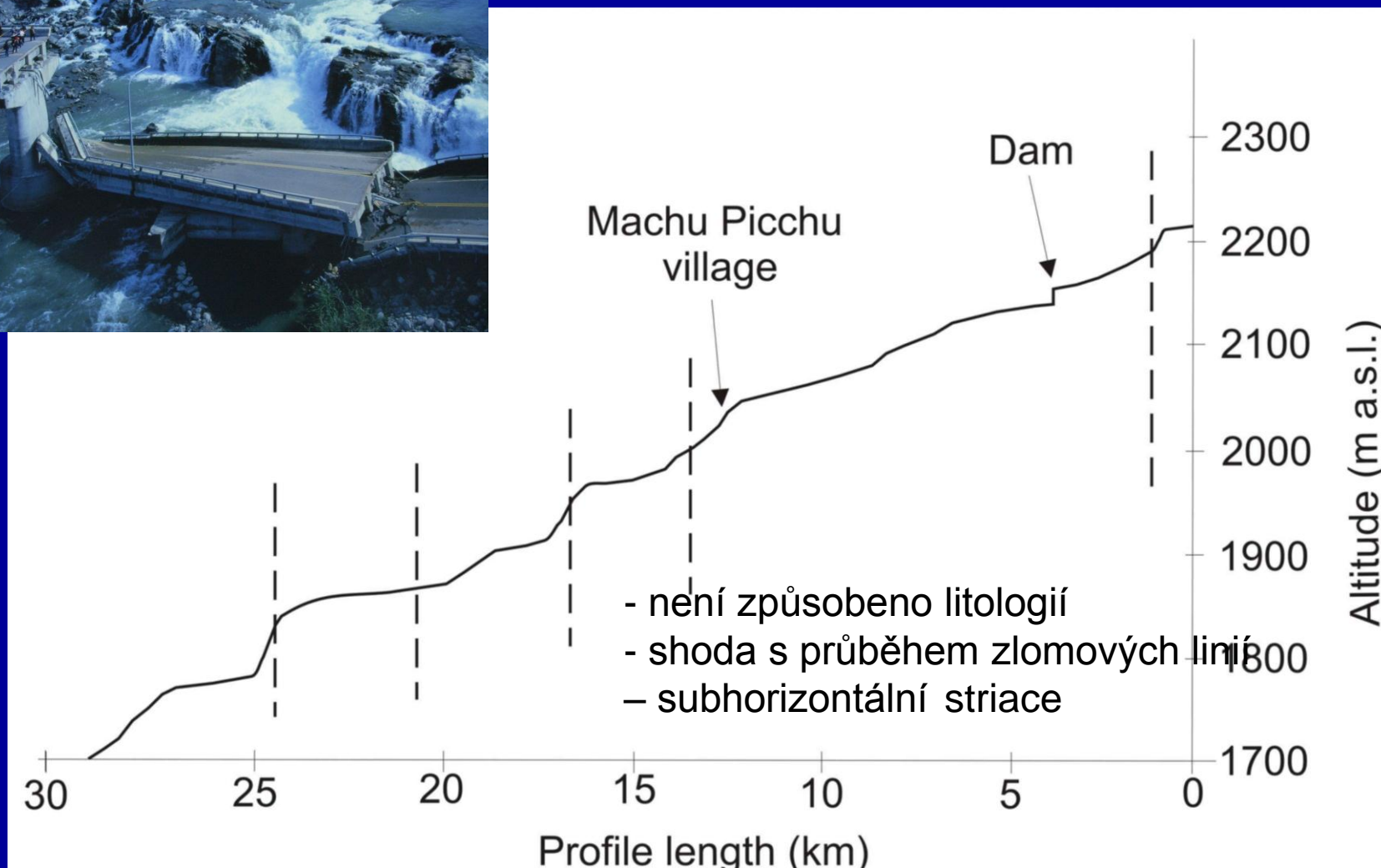
Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

- ⇒ !! příčiny anomálií (**knickpoint**) na spádové křivce různého původu:
- odolnější souvrství / hornina
 - zahlubování hlavního toku (až zavěšené údolí)
- ⇒
- dosah zpětné eroze
 - tektonické pohyby
 - změna vodnosti (např. přítok)
 - změna množství unášeného materiálu (sesuv, břehová eroze)
 - antropogenní vlivy



Lom ve spádu litologicky podmíněný

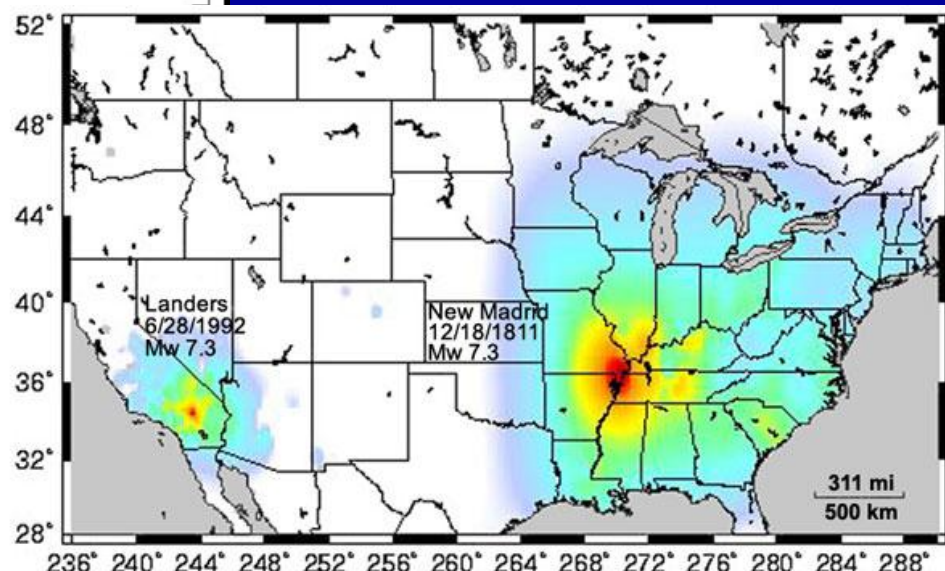
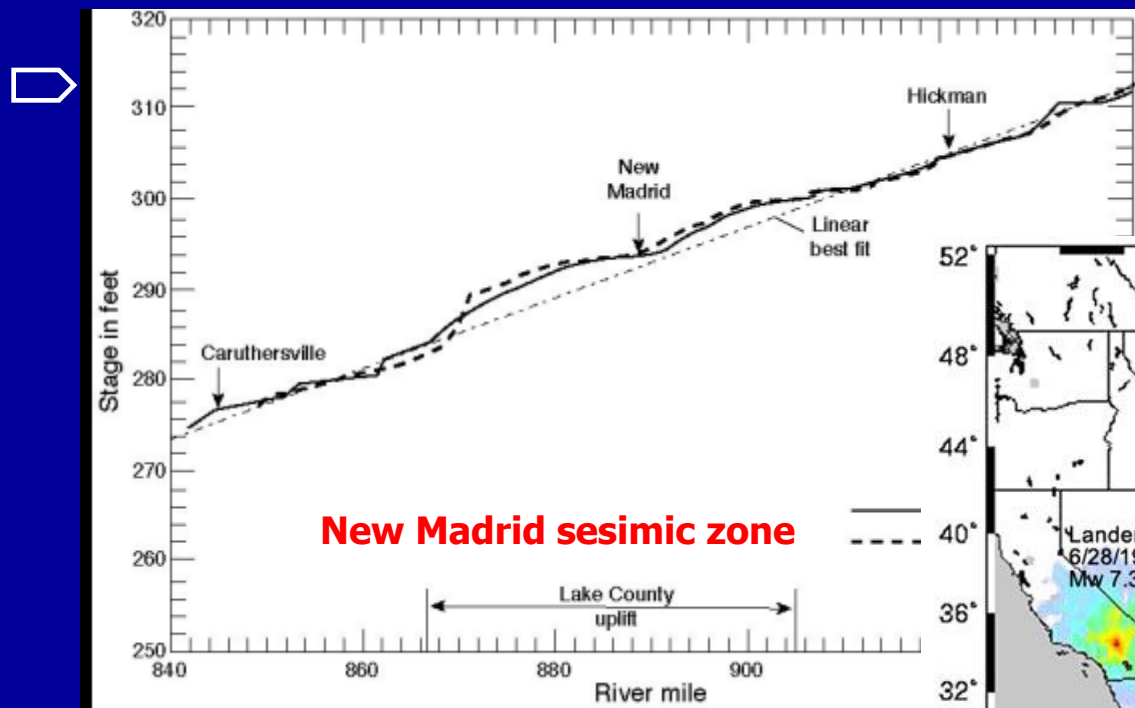
Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



Anomálie tektonicky podmíněné

Odraz tektonických procesů v říčním systému

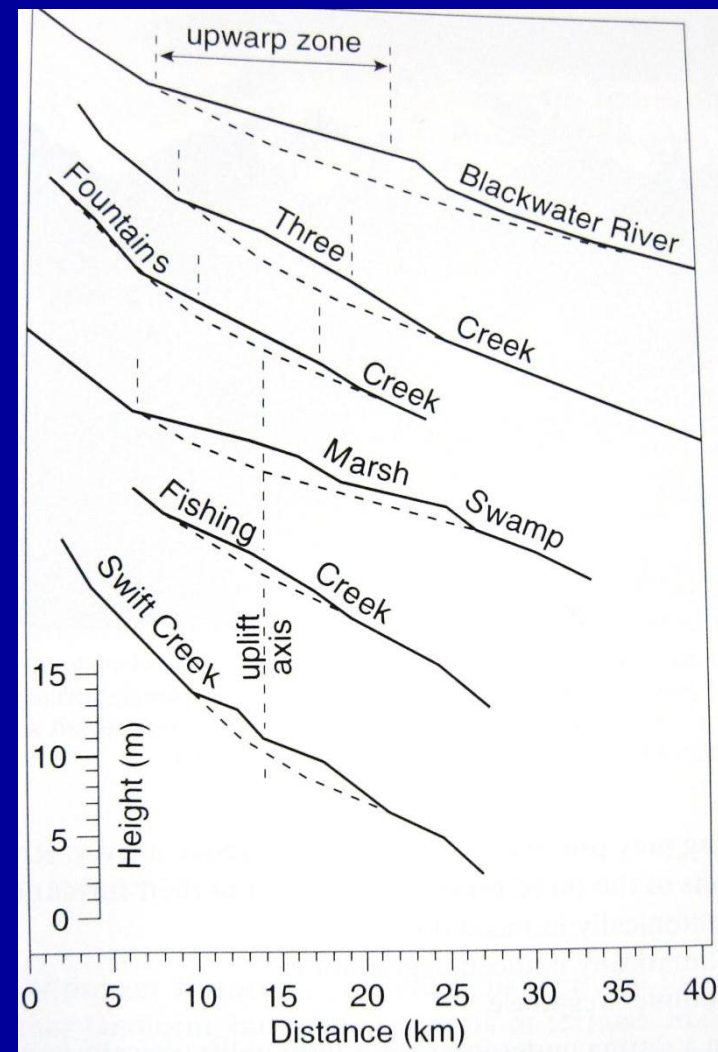
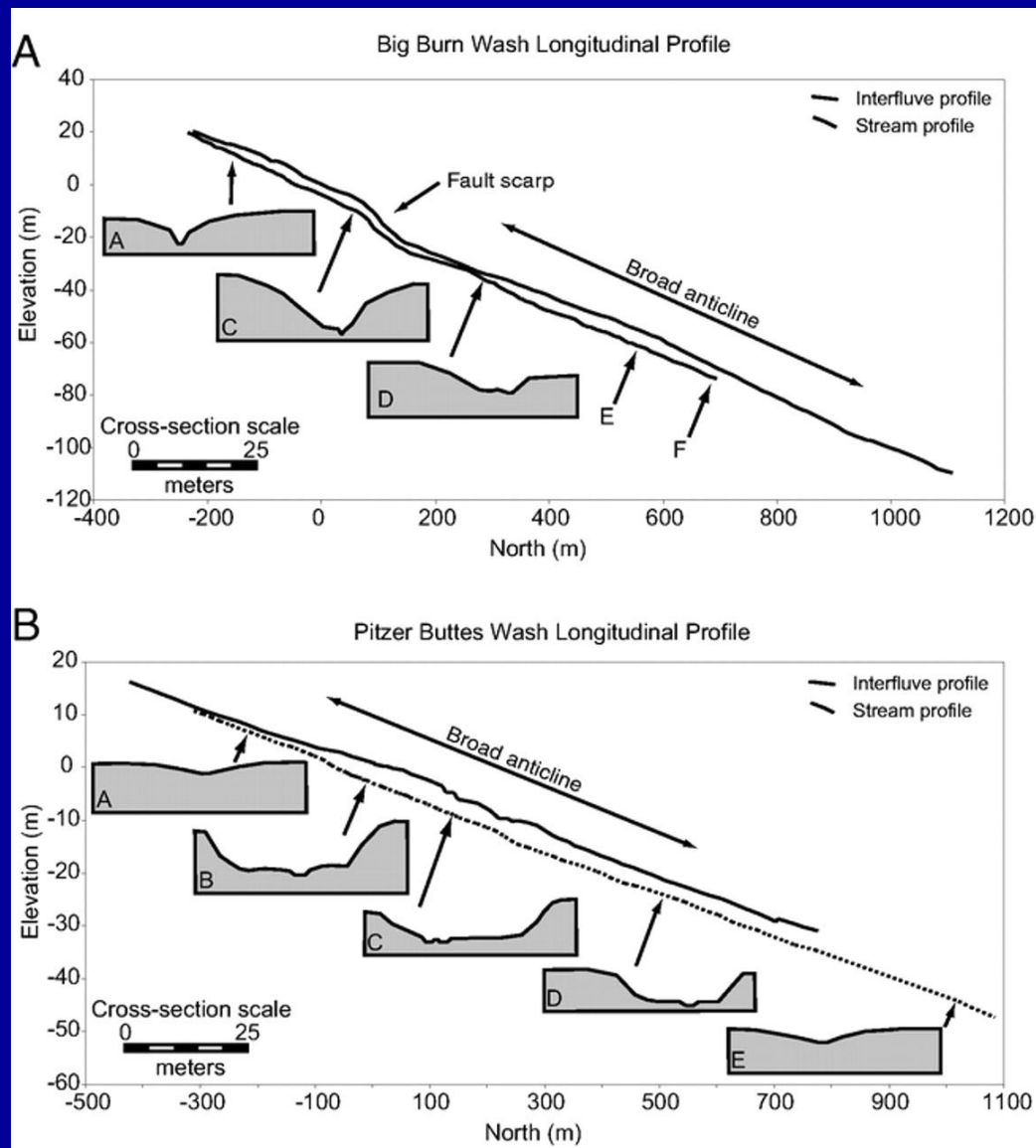
- New Madrid 1811-1812 – během měsíce 4 velká zemětřesení $M = 7-8$
Velké regionální změny v reliéfu – poklesy a výzdvihy území, trhliny, sesuvy...



Současný podélný profil – jako odpověď na výzdvih

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VELOCITY	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Odraz tektonických procesů v říčním systému



Série toků na US atlantickém pobřeží ukazující vyklenování

Odraz tektonických procesů v říčním systému



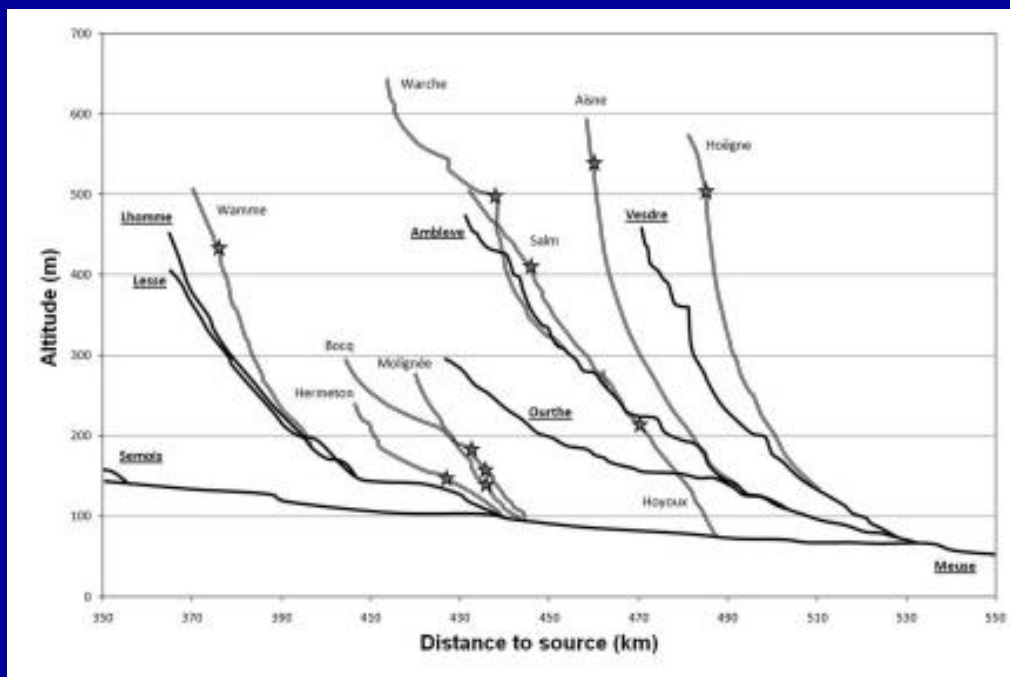
Tvar spádové křivky – odráží regionální tektoniku

Konvexita profilu

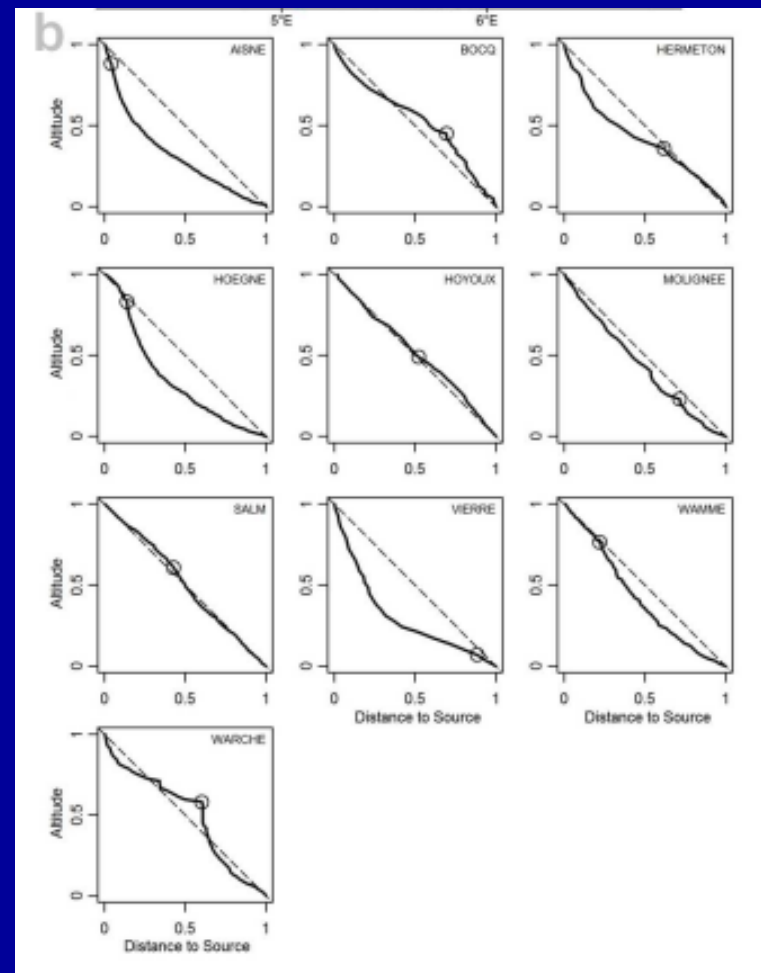


Řeky tektonicky neovlivňované mají konkávní profil

- odchylky: litologie říčního dna, odlišná rychlost výzdvihu



Index konkavity



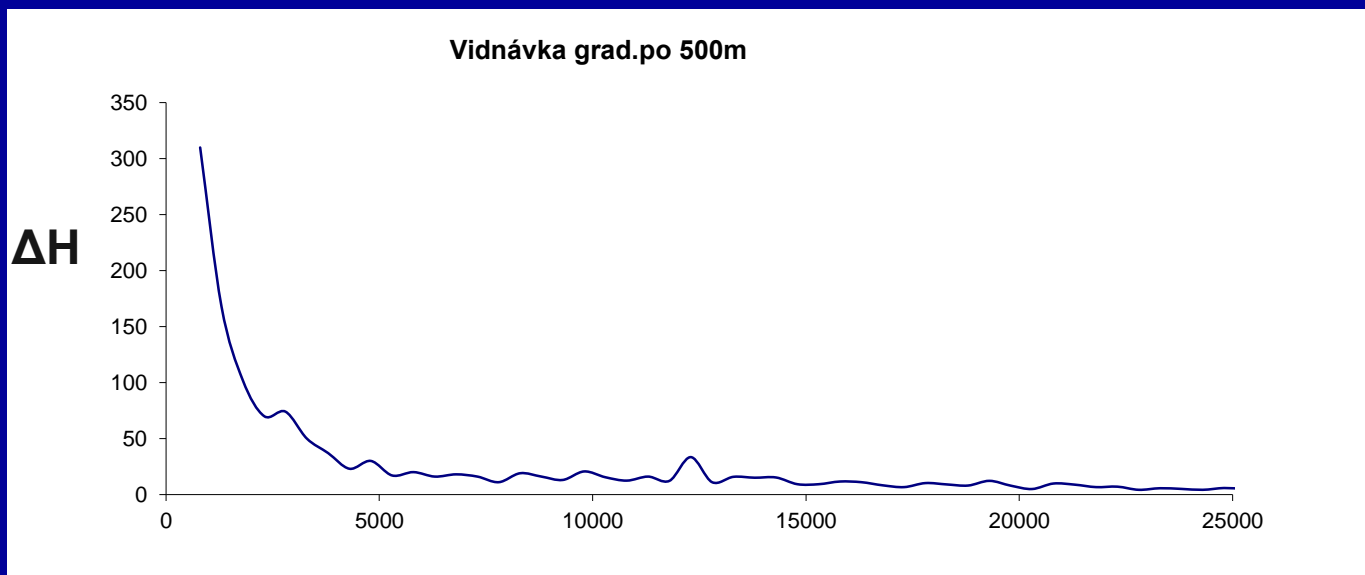
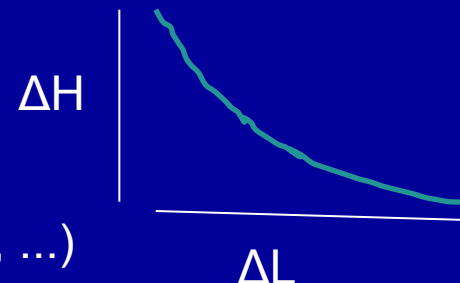
Normalizované podélné profily

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

➤ Analýza toků – několik metod – sestavení podélného profilu, gradient, SL gradient, konvexita

➤ **Gradient** – m/km $= (\Delta H / \Delta L)$

ΔL ... délka úseku (zvoleno konstantně např. 100 m, 500m, ...)



vzdálenost od pramene

Odraz tektonických procesů v říčním systému

➤ SL-index (stream-length gradient) (Hack (1973))

indikátor anomálií v podélném profilu

$$SL = (\Delta H / \Delta L) / L$$

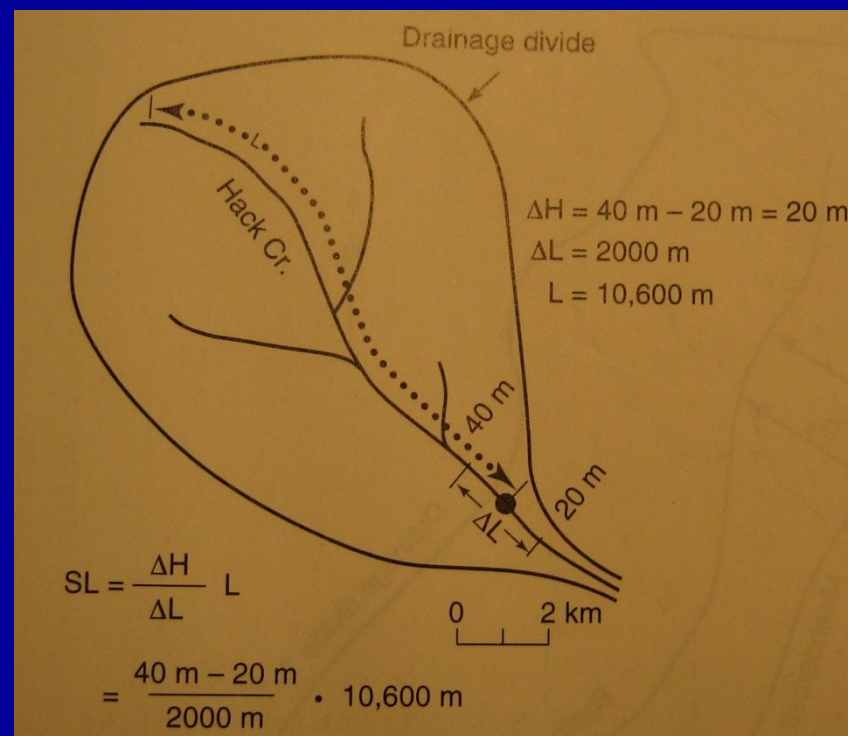
ΔH ... převýšení v rámci jednoho úseku,

ΔL ... délka úseku (zvoleno konstantně např. 100 m)

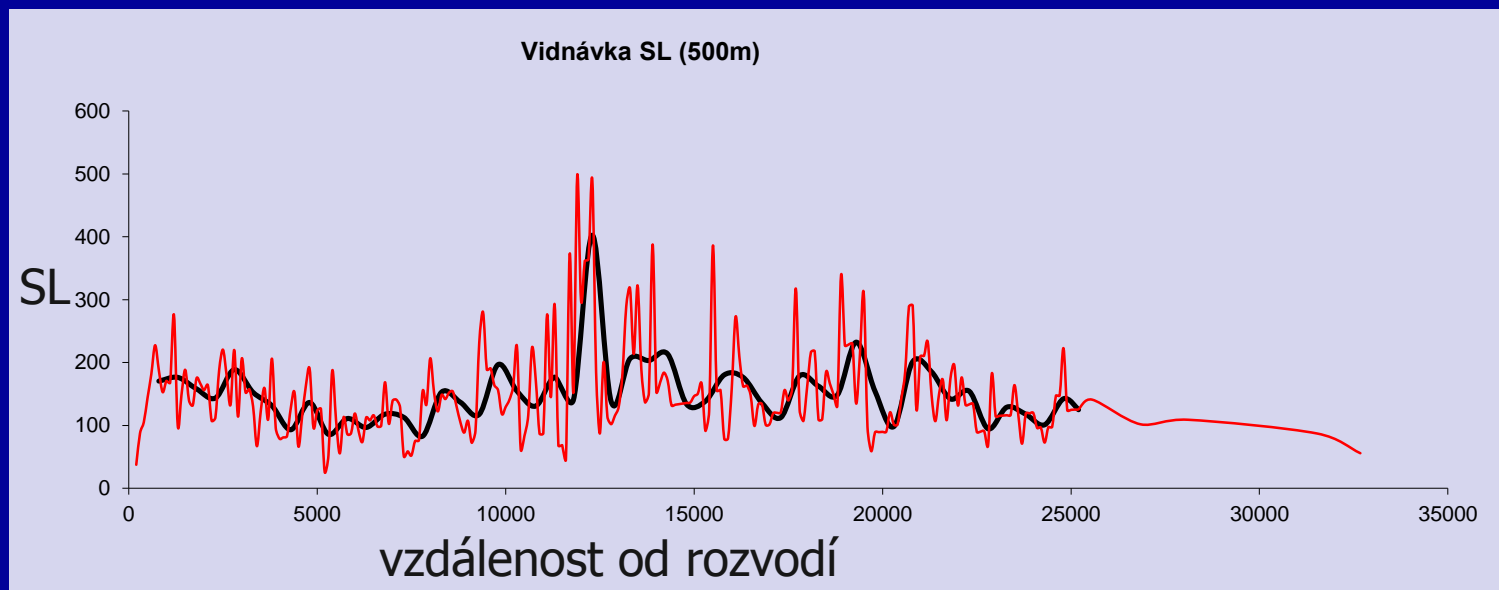
L ... vzdálenost středu úseku od rozvodí

Existuje vztah mezi průtokem, plochou povodí a délkou toku.

Dál od pramene – menší gradient
vtěší průtok – u SL – zohdleněna
vzdálenost od pramene



Odraz tektonických procesů v říčním systému



U řek s vyrovnanou spádovou křivkou SL index podél toku téměř konstatní

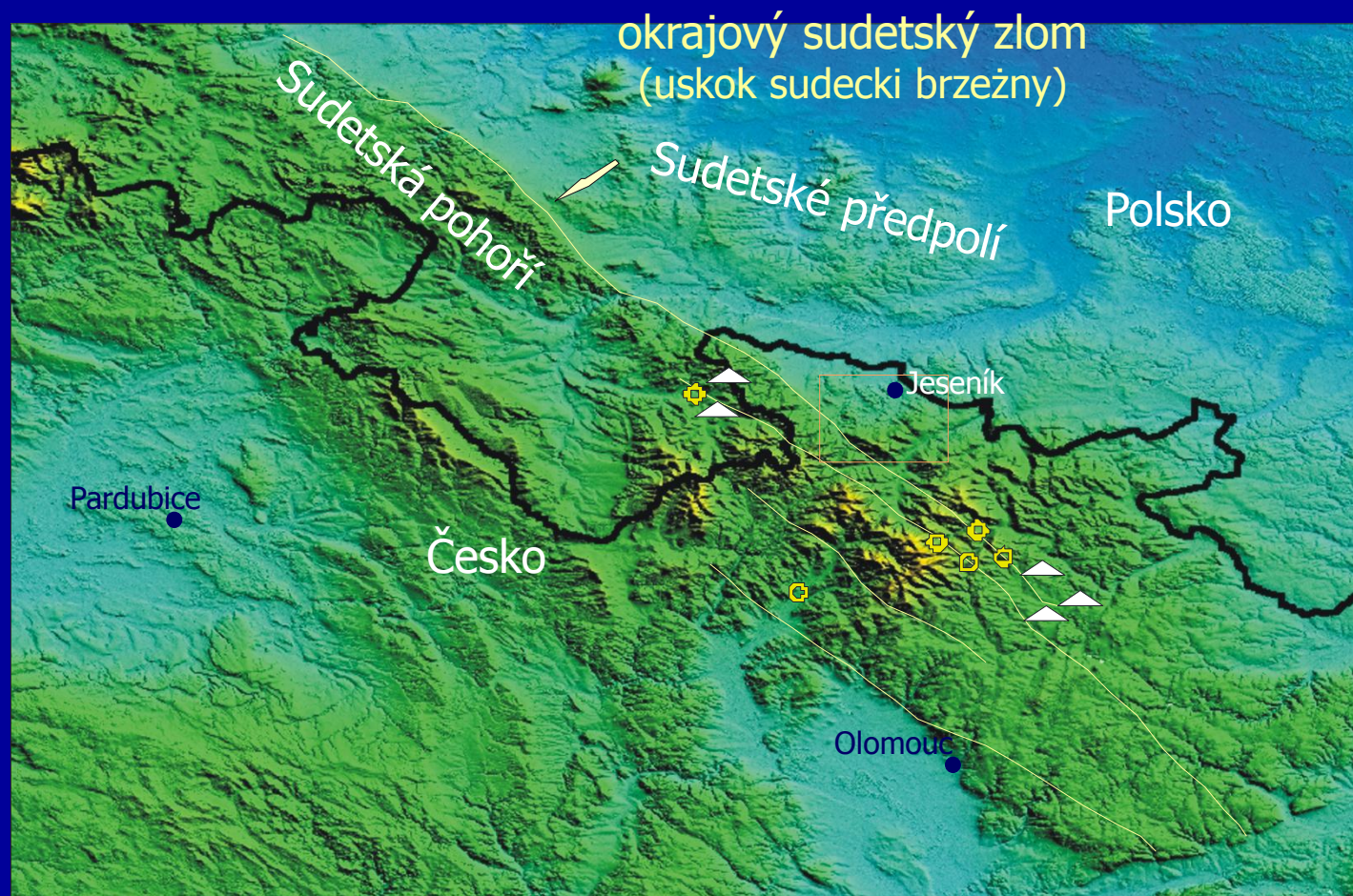


Změny v hodnotách mohou odrážet:

- litologický přechod
- tektonickou aktivitu
- lokální změny - dosah zpětné eroze,
 - soutok podobně vodných vodních toků
 - antropogenní ovlivnění

Citlivost SL indexu na změny ve spádu toku umožňují hodnotit vztah mezi tektonickou aktivitou, odolností podloží a topografií

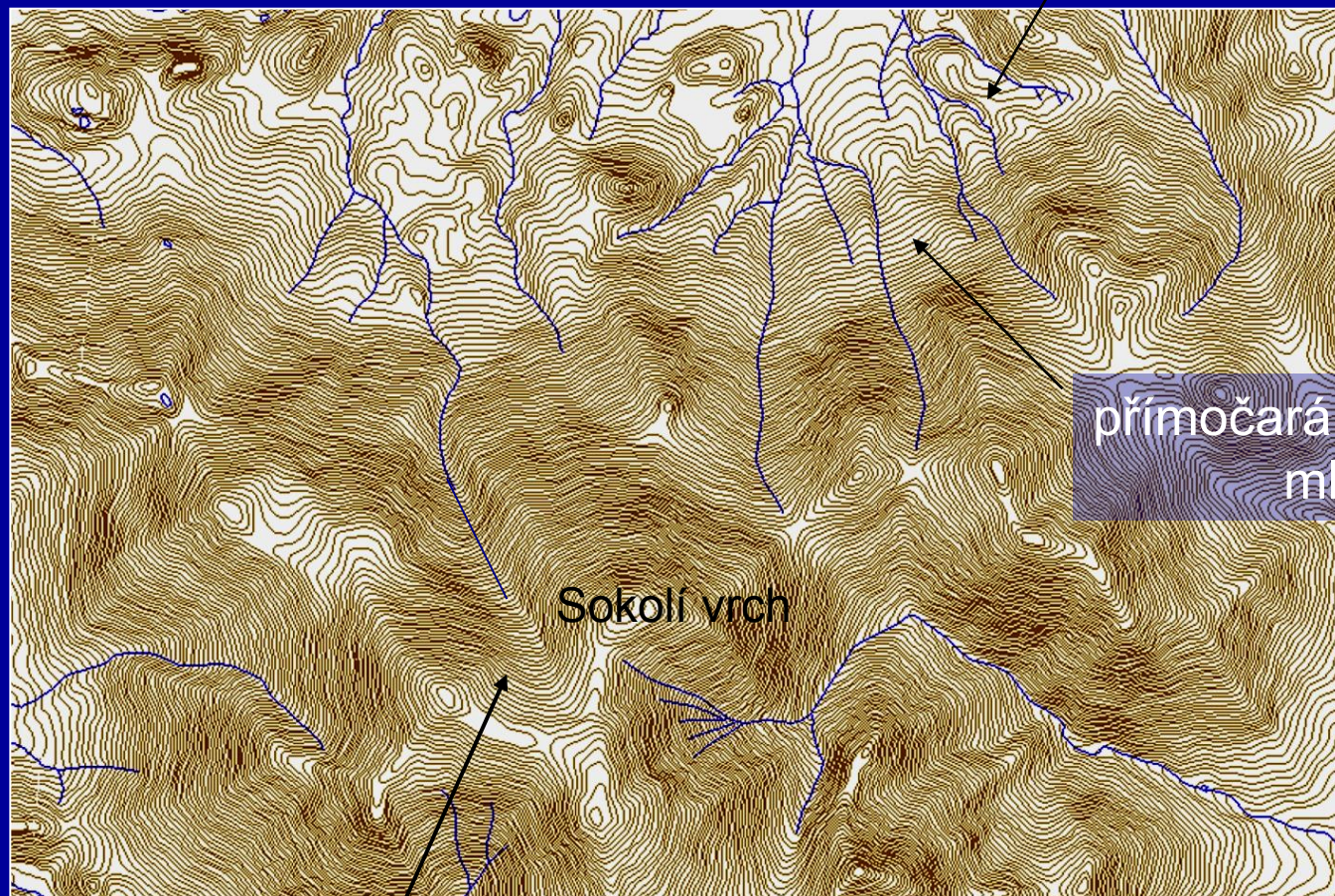
Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



- ▲ neogenní – kvartérní vulkanismus
- minerální prameny s CO₂

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

- analýza údolních tvarů v **Sokolském hřbetu** rozčleněné úpatí



přímočará část svahu –
mladší fáze výzdvihu

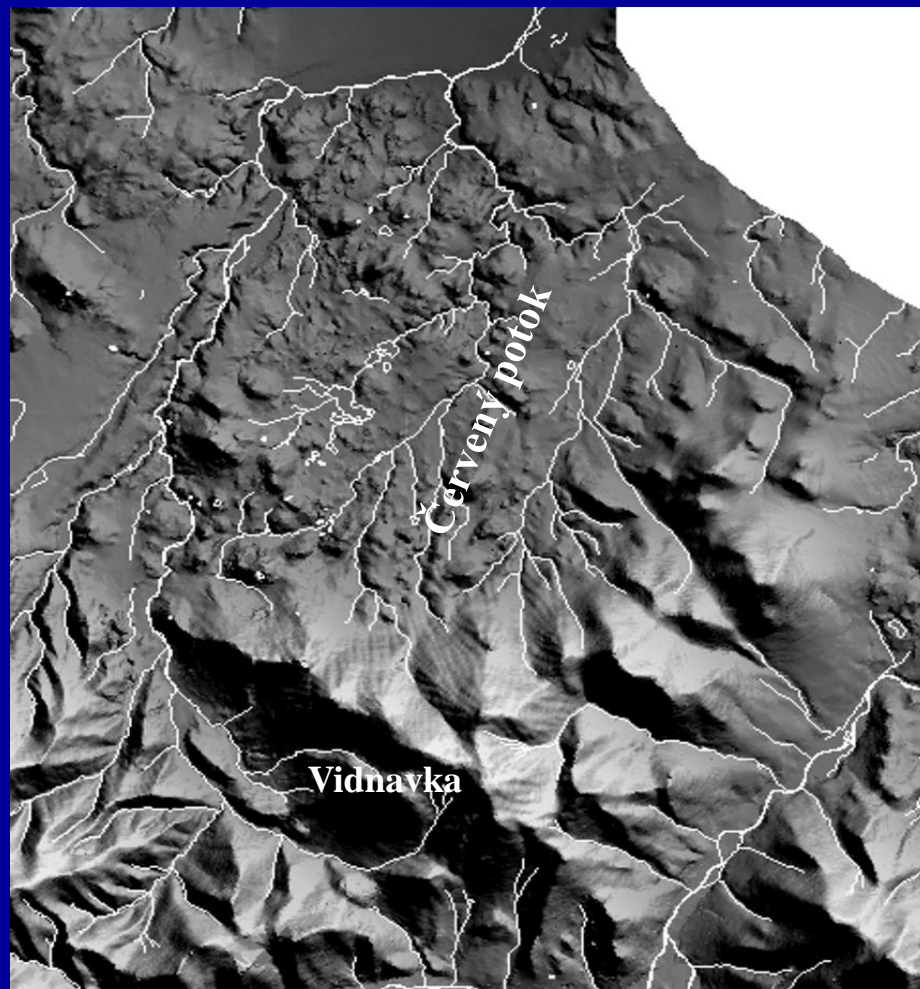
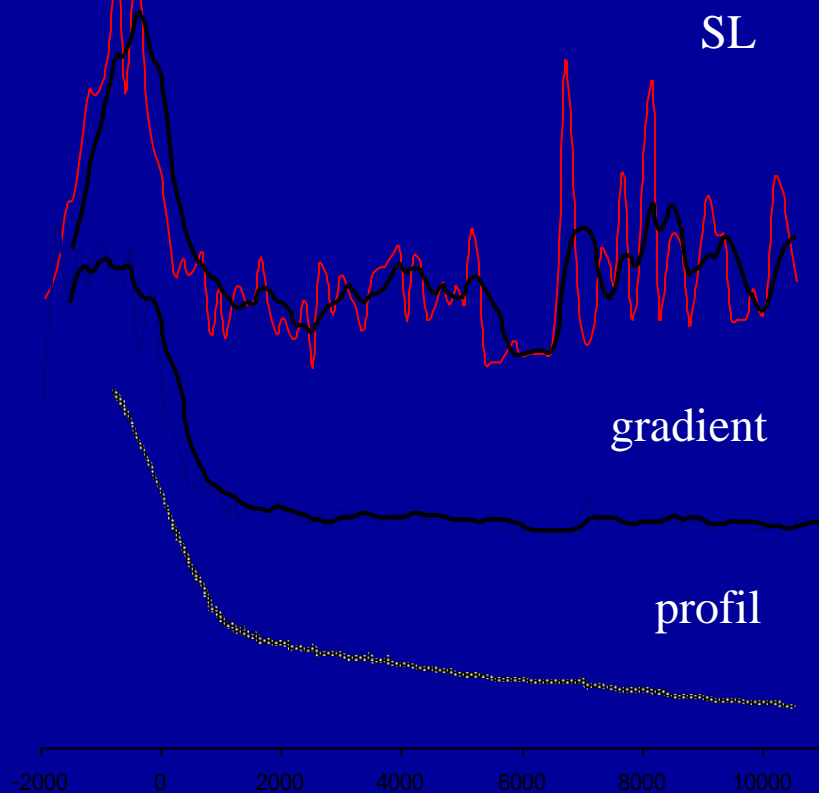
Hlubší údolí
– vázána na zlomy

široké závěry údolí – starší fáze vývoje údolí

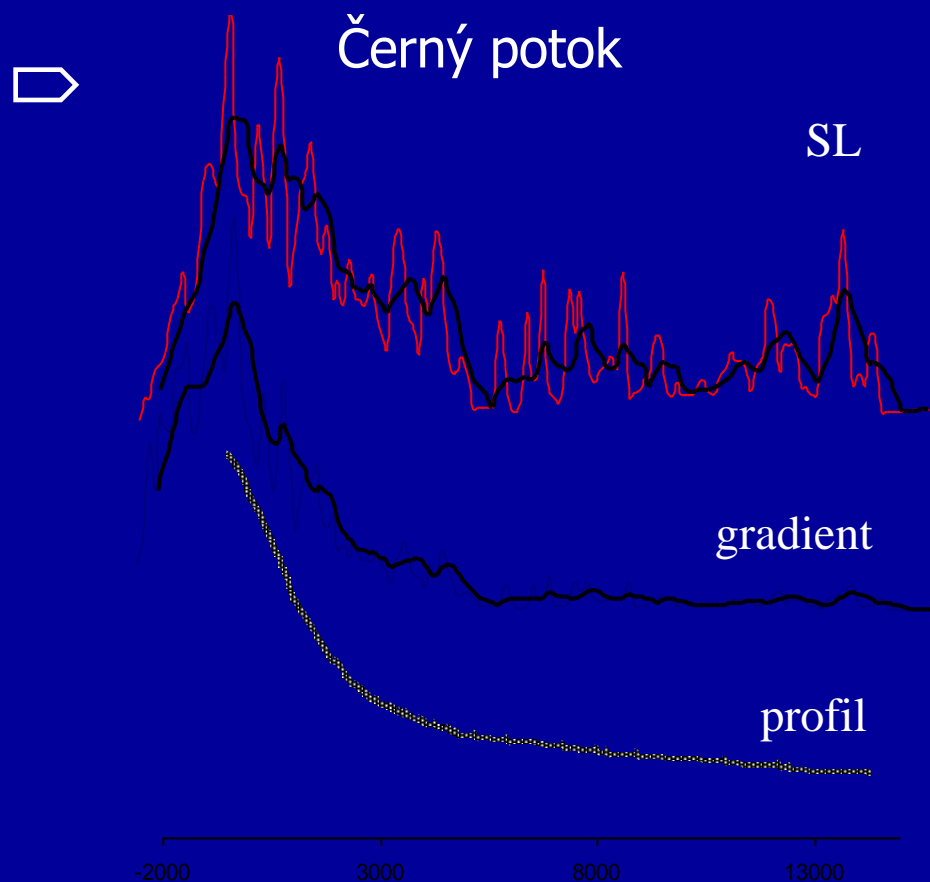
Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

⇒ podélné profily toků, spádové křivky, SL index

Červený potok



Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

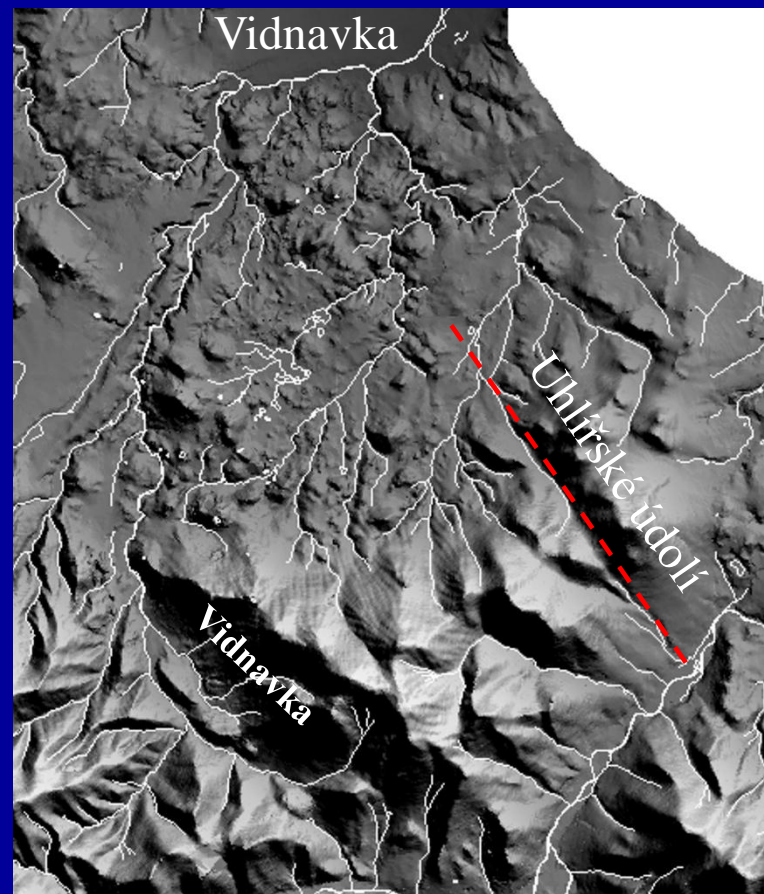
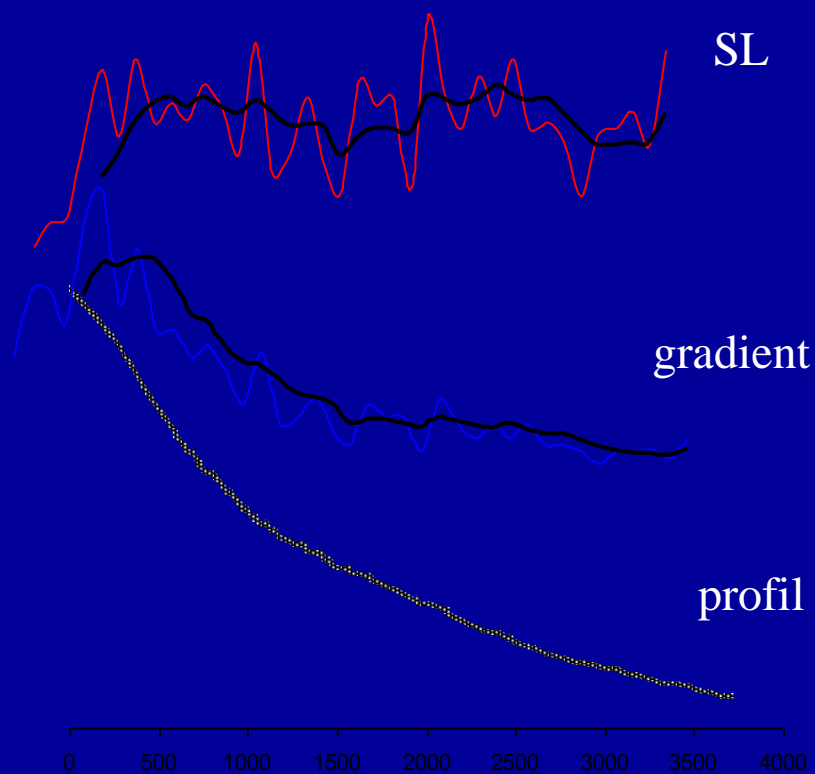


Odraz tektonických procesů v říčním systému



x výjimka

Uhlířské údolí



Odraz tektonických procesů v říčním systému

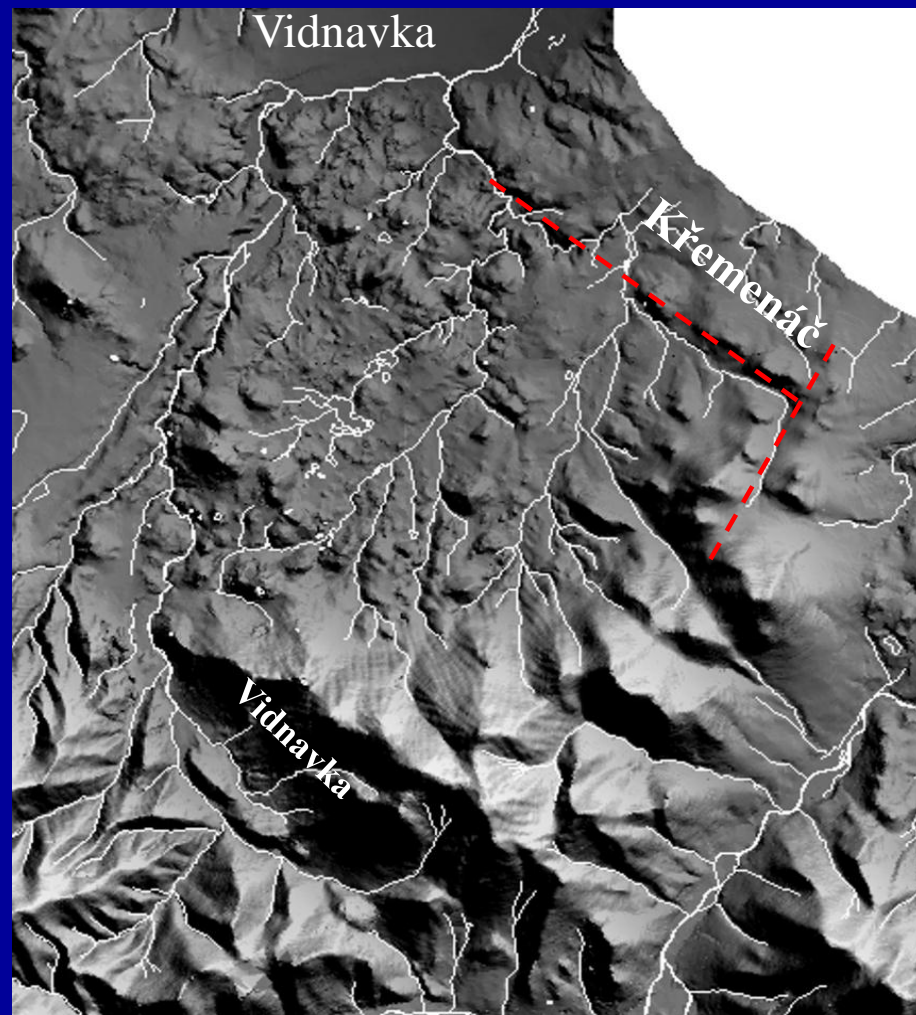
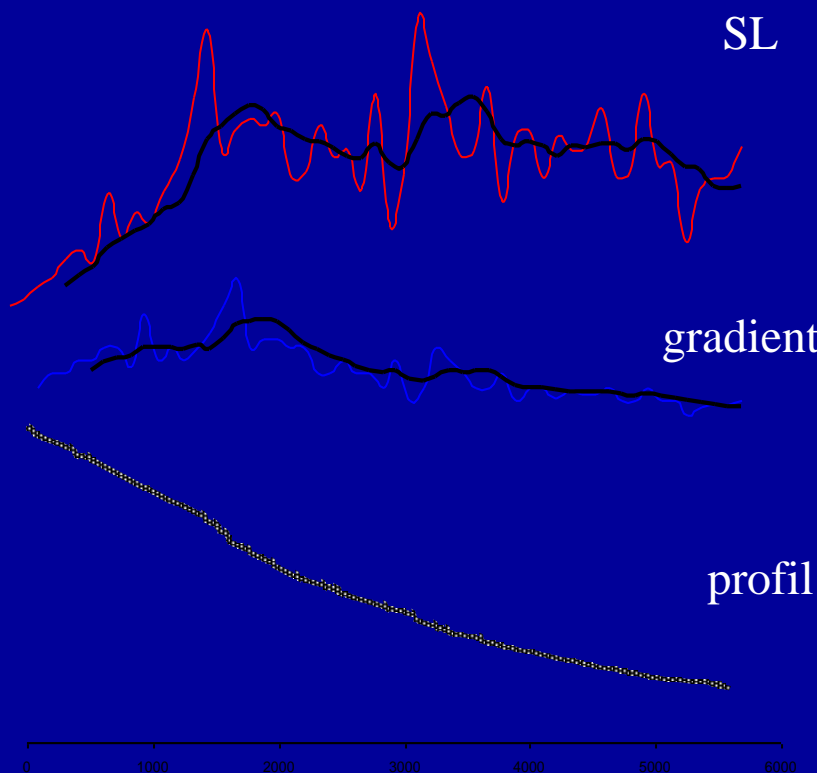


Křemenáč

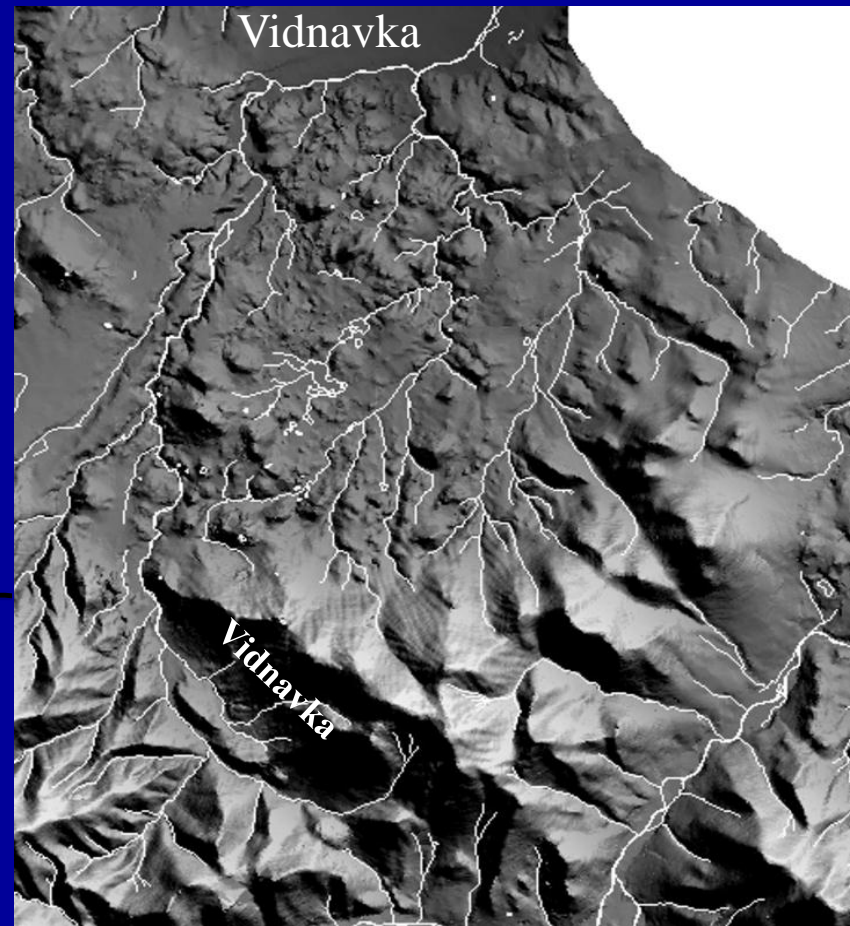
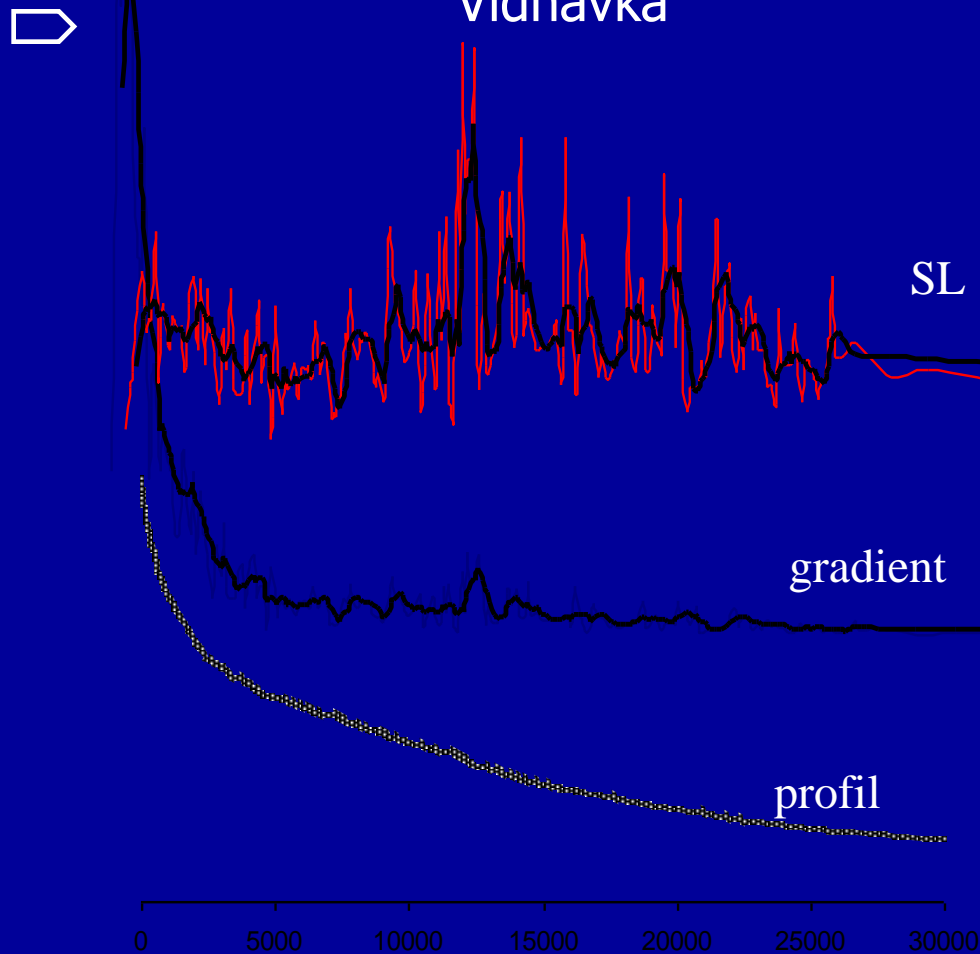
SL

gradient

profil

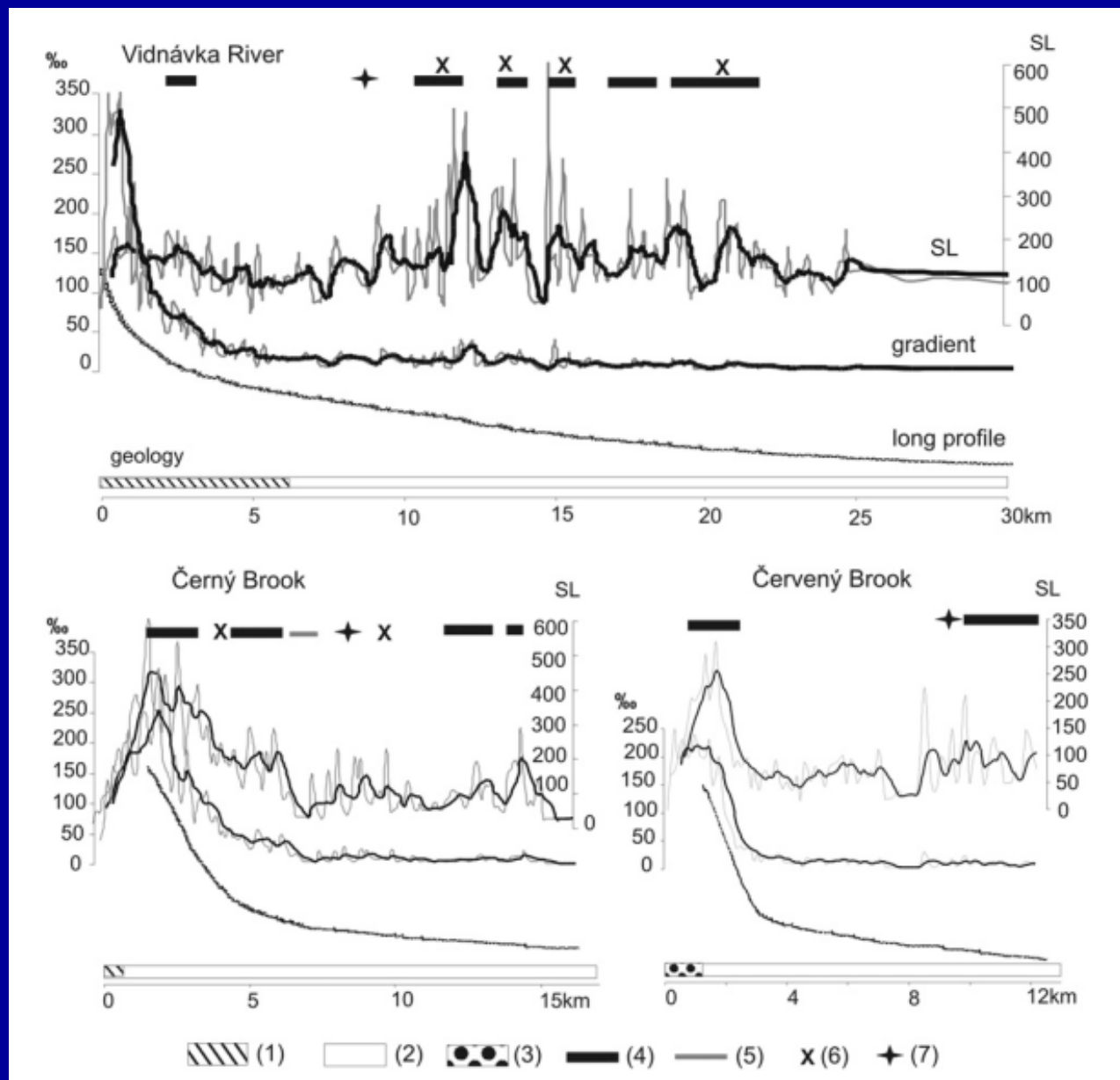


Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



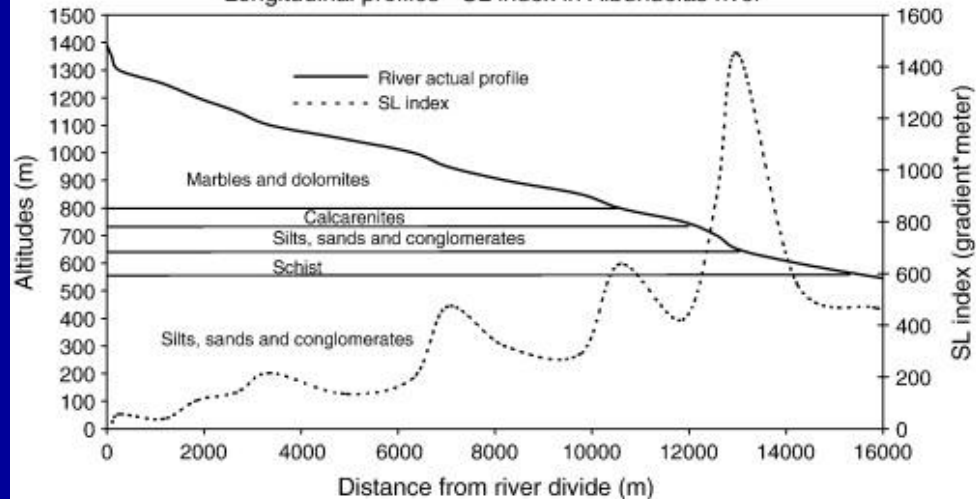
Odraz tektonických procesů v říčním systému

- (1) — metamorphic rocks (gneisses, marbles, phyllites, amphibolites),
- (2) — granitoids,
- (3) — segment of stream flowing along the lithological boundary;
- (4) — stream follows a morpholineament/fault,
- (5) — river crosses a morpholineament/fault,
- (6) — beginning of the deepened valley,
- (7) — river flows into the planation surface (etchplain).

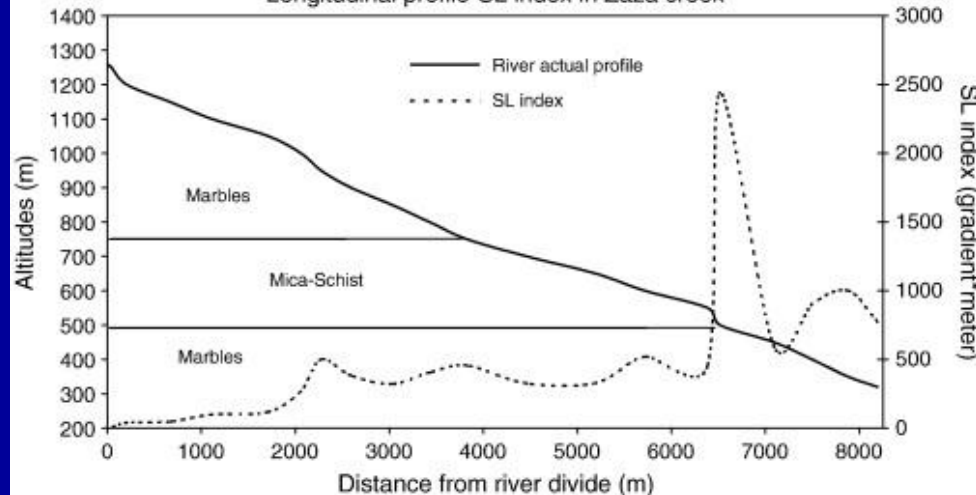


Odraz tektonických procesů v říčním systému

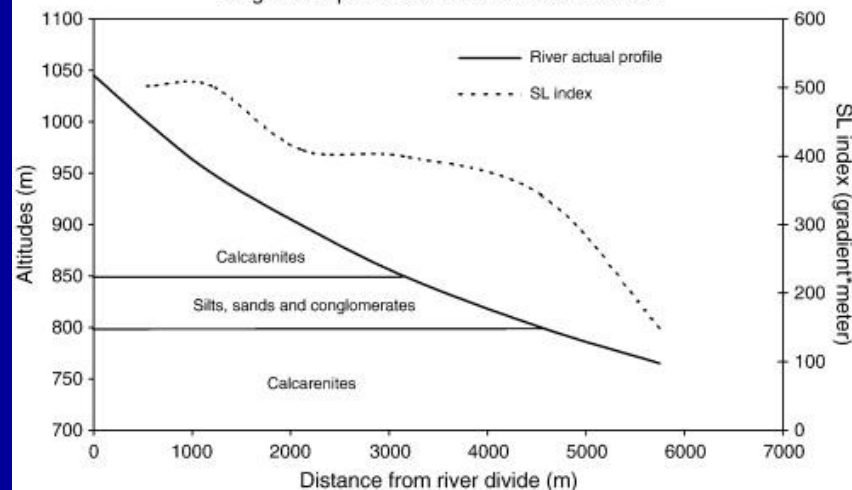
Longitudinal profiles - SL index in Albuñuelas river



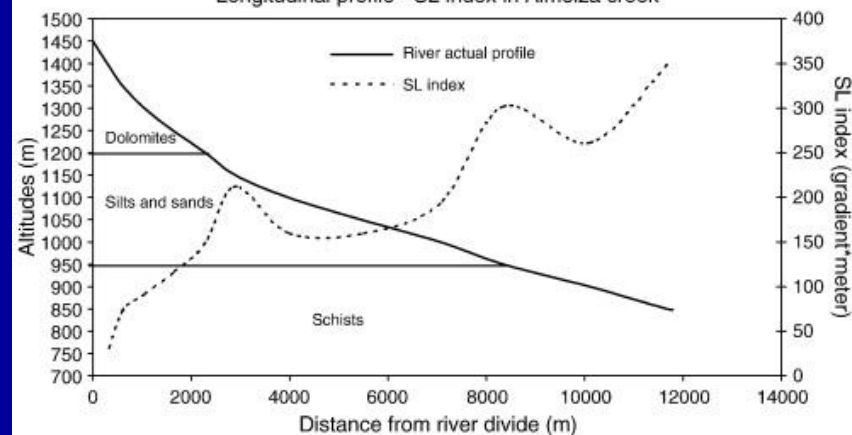
Longitudinal profile-SL index in Zaza creek



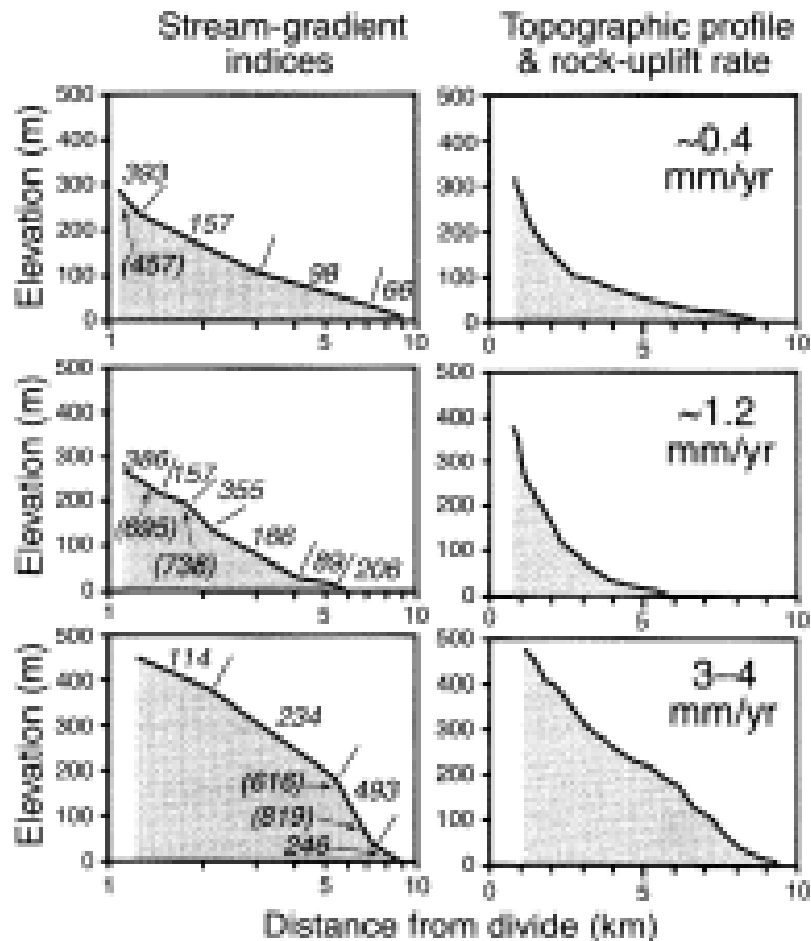
Longitudinal profile - SL index in Anciano creek



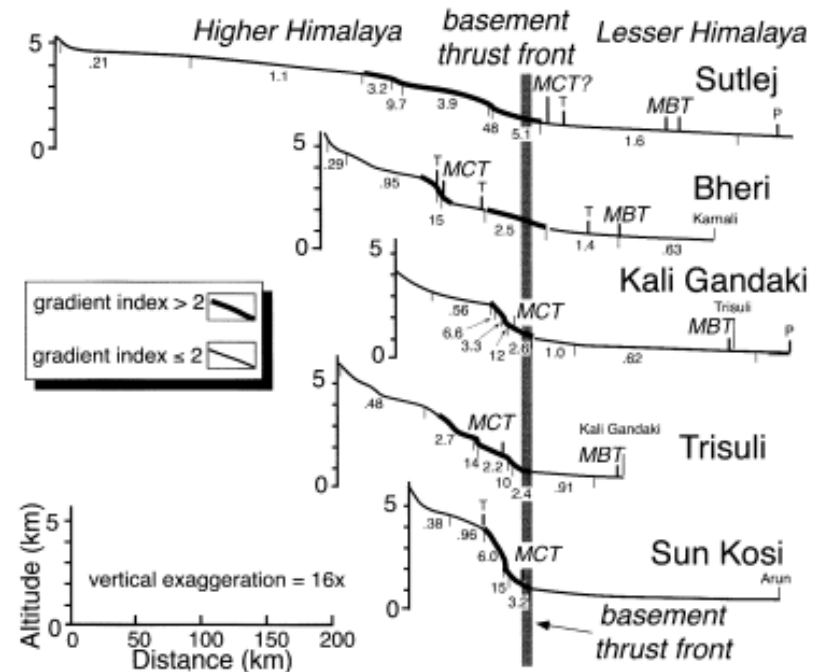
Longitudinal profile - SL index in Almeiza creek



Odraz tektonických procesů v říčním systému

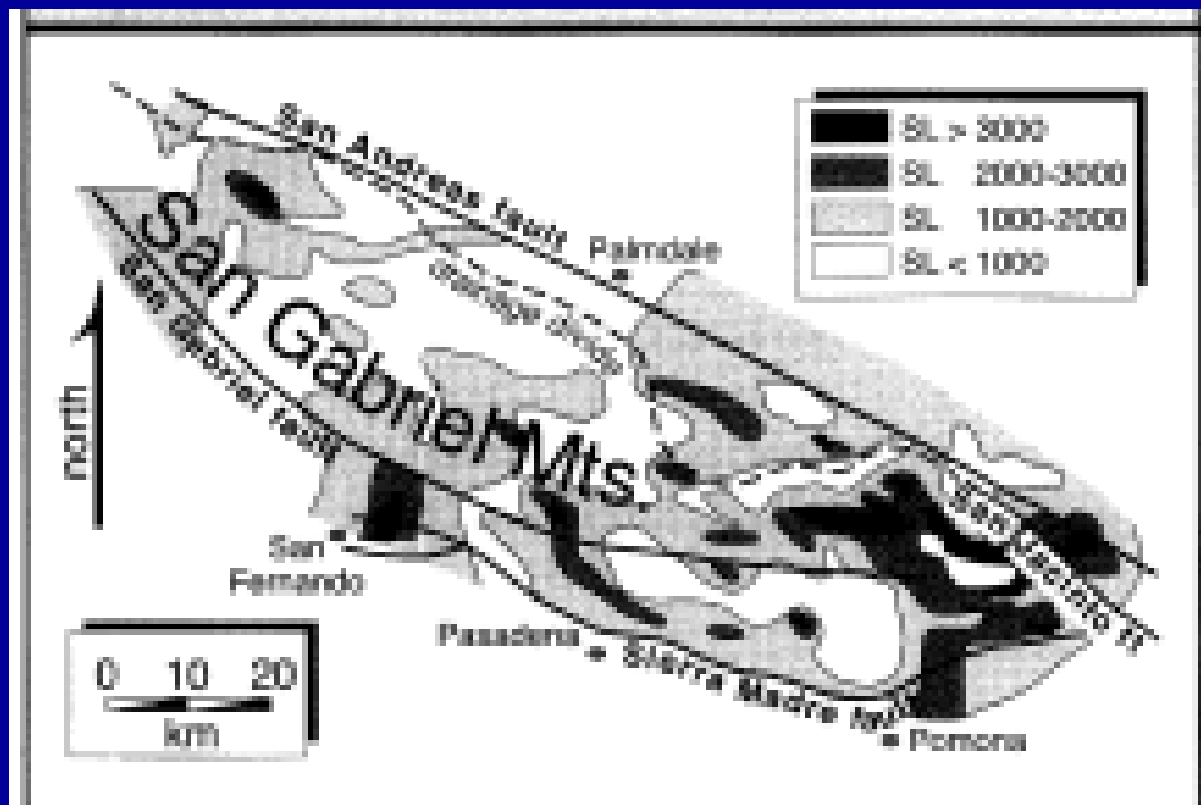


Note that the zone of rapid rock uplift has a steeper gradient, higher relief, and higher gradient indices. Modified after Merritts and Vincent (1989)



Thicker segments of the profile indicate reaches where the local gradient index (SL) is more than twice the index (k) for the entire profile: $SL / k = 2$. The steepest gradients are not associated with the Main Boundary thrust or active deformation to the south. Rather they occur near the Main Central thrust and appear to result from upward ramping of the overthrusting Himalayas above a deep-seated basement thrust. Modified after Seeber and Gornitz (1983).

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



Interpolace SL – indexů

- místa se známým výzdvihem
- + poukazuje na místa pro další podrobnější výzkum

Odraz tektonických procesů v říčním systému

- Příčné profily toků
- Anomálie v podélných profilech => změny v příčných údolních profilech
- sklonová asymetrie údolních svahů – litologicky,
 - klimaticky (různá velikost denudace na různě orientovaných svazích)
- výšková asymetrie údolních svahů – litologicky, tektonicky, celkovým vývojem lokality
- Typy údolí – různé erozní fáze, intenzitu eroze –
 - podmíněna - tektonickou aktivitou
 - strukturně litologickými podmínkami,
 - spádovými a hydrologickými poměry

Odras tektonických procesů

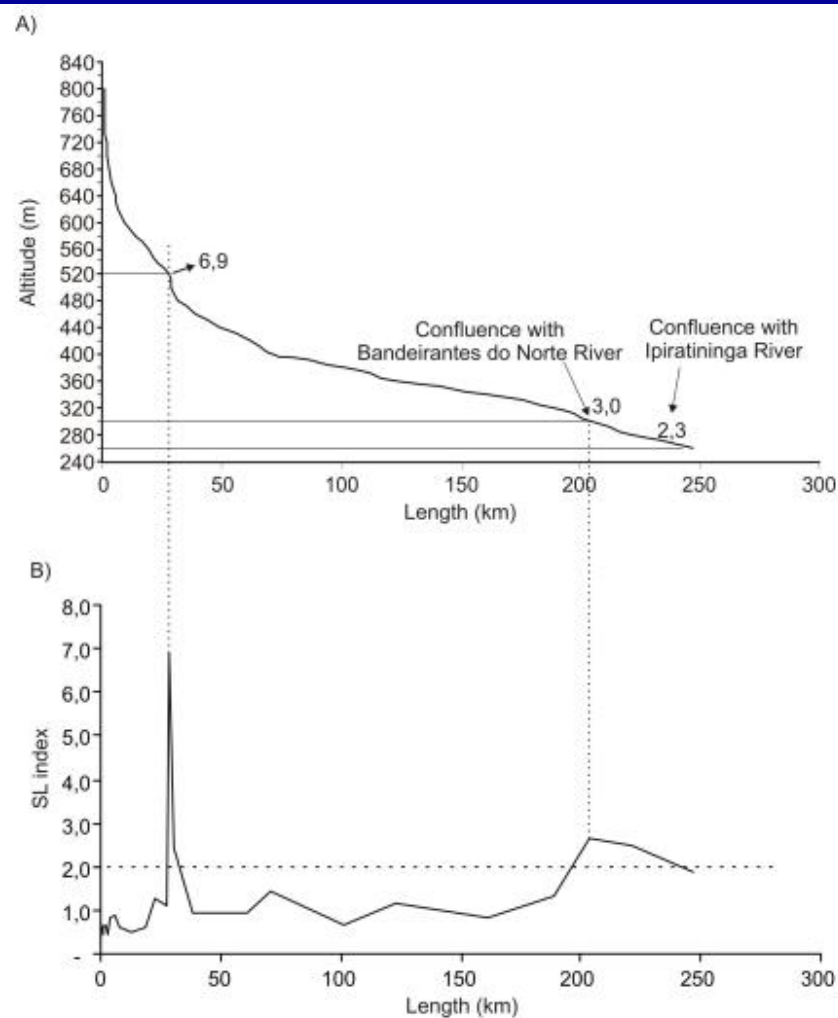


FIGURE 4. Longitudinal profile (A) and SL index of the Pirapó River (B).

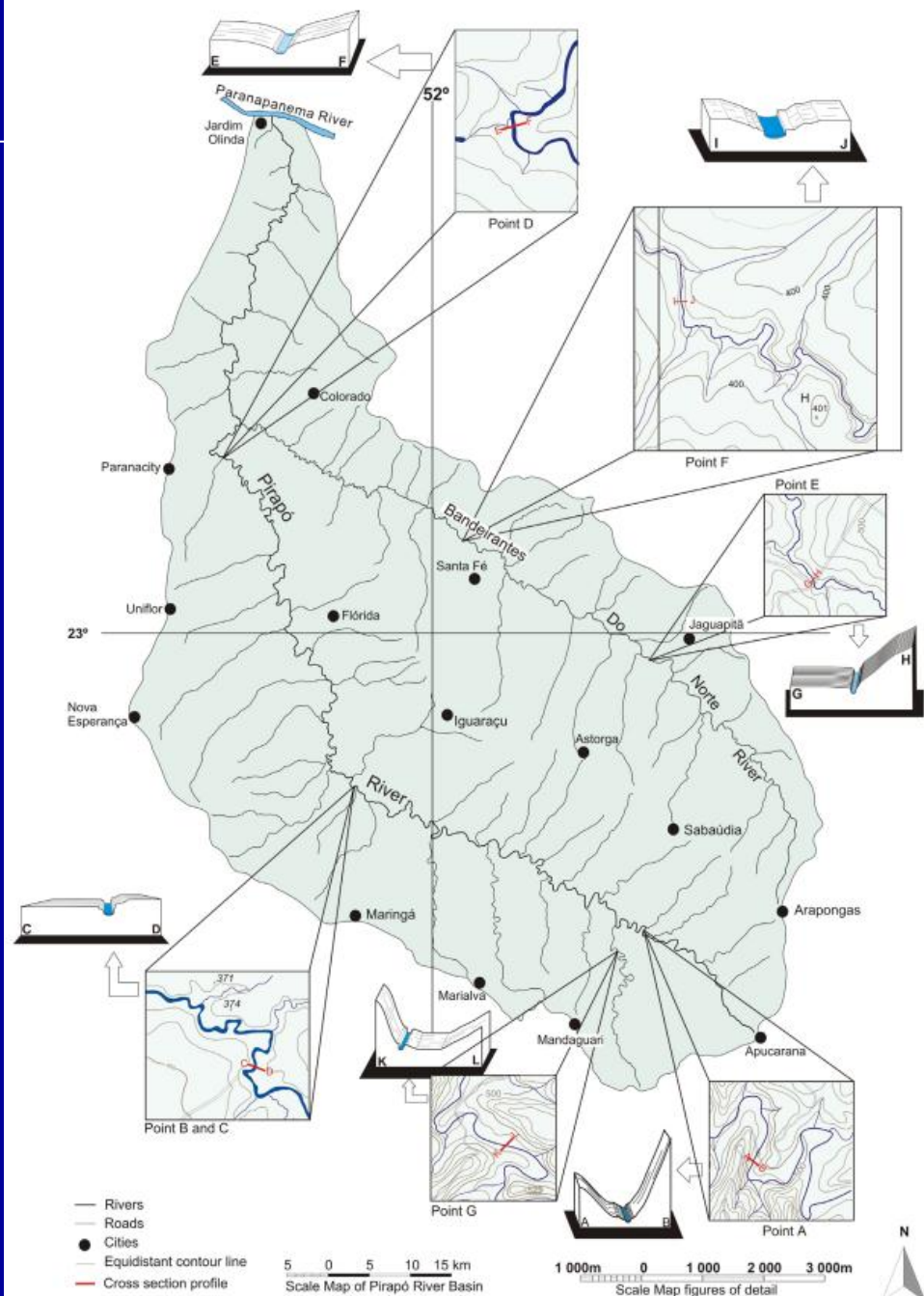
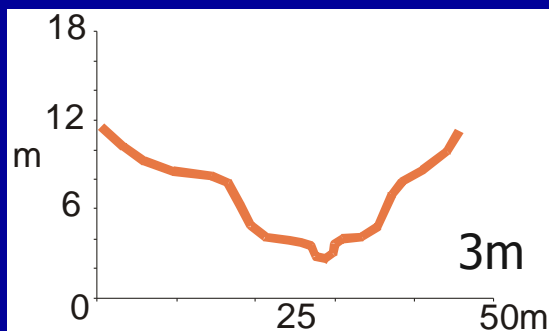
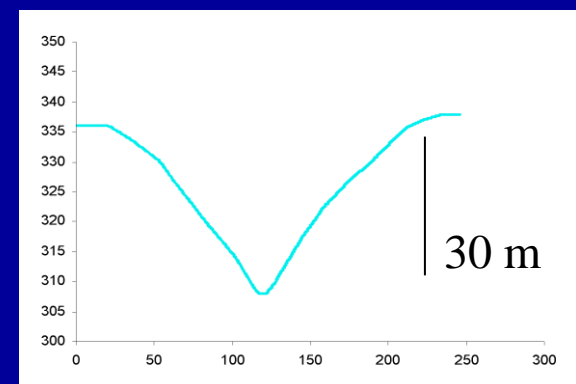
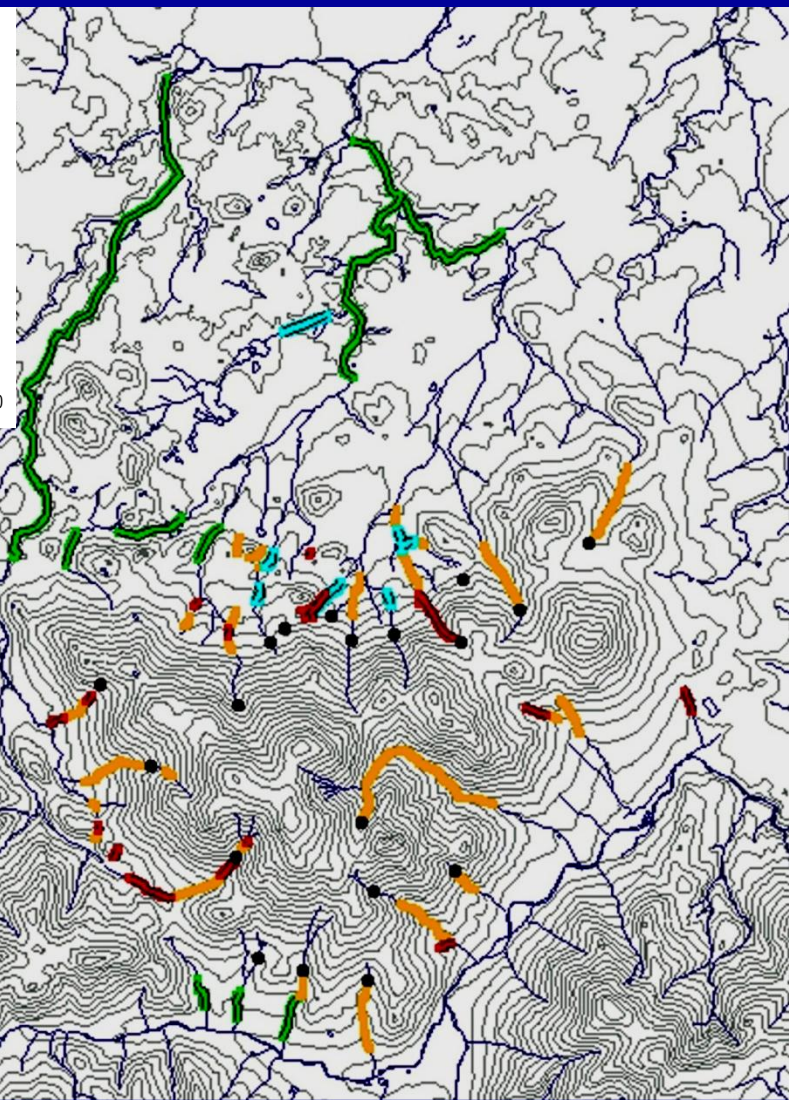
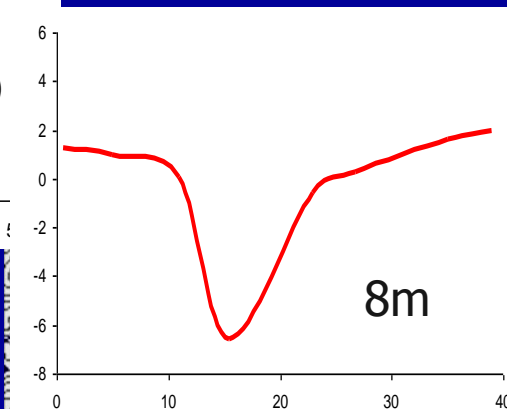
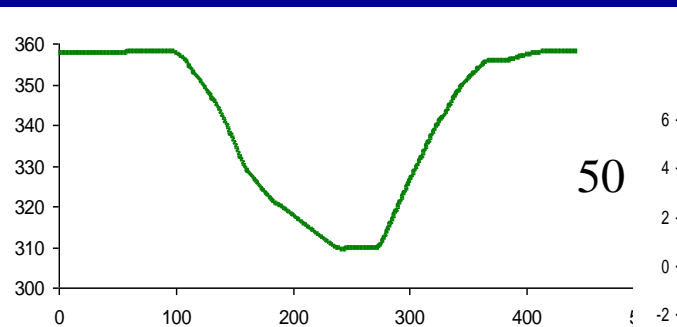


FIGURE 7. Hydrographic basin of the Pirapó River with anomalous points and valley cross sections.

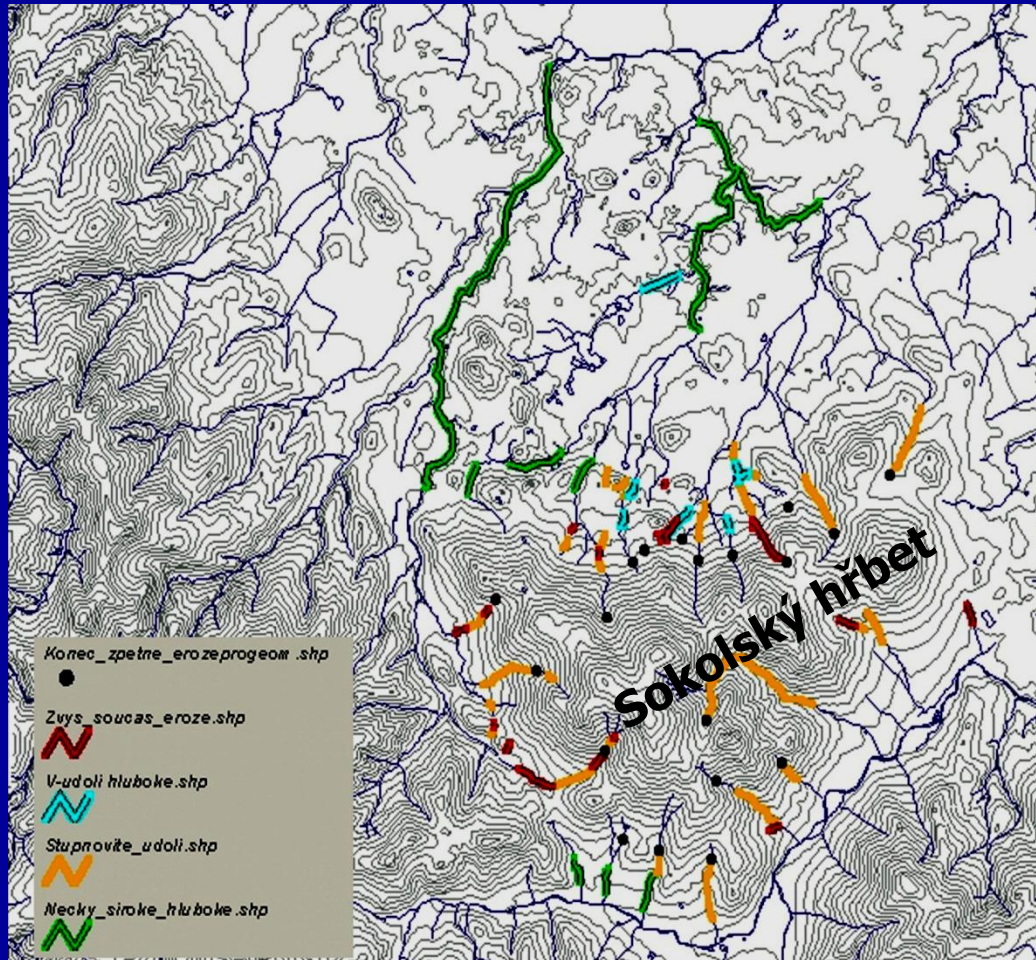
Odraz tektonických procesů v říčním systému

Typy údolí podle tvaru zářezu



Odraz tektonických procesů v říčním systému

Pokračující výzdvih pohoří



úpatí zlomových svahů

- začátky

❖ zvýšené

současné eroze,

❖ nejmladší erozní fáze

• anomálie v podélných profilech

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

Říční terasy

- bývalé údolní dno

➤ Vznik teras – komplexní odezva

- mnoho příčin

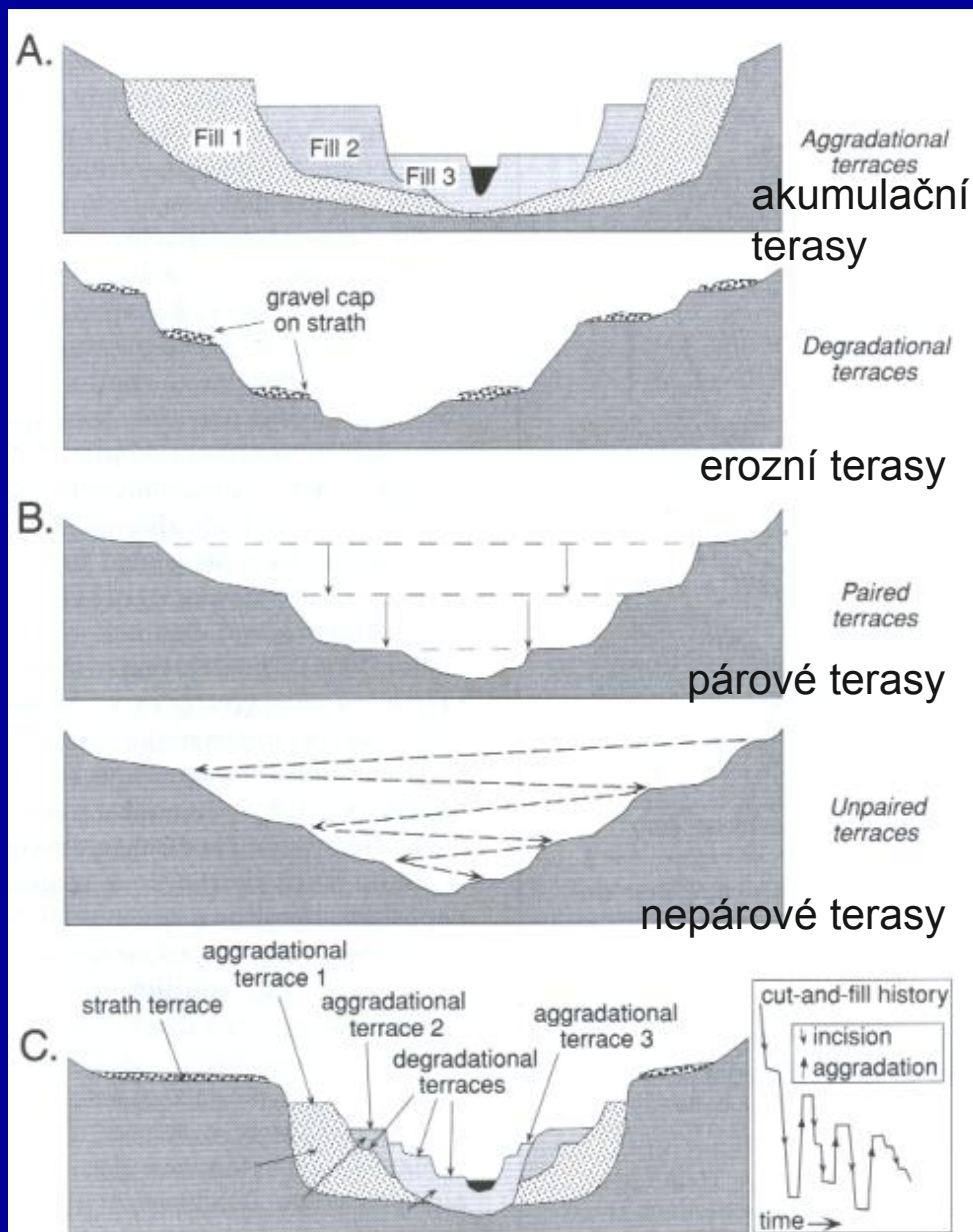
- opakovaný tektonický výzdvih

- pomalý stálý výzdvih se
spolupůsobením střídání glaciálů a
interglaciálů

- klimatický vliv - \neq plus pokles
erozní báze

➤ Terasy – důležitý potenciální
indikátor tektonické aktivity

- dále do minulosti



Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



Terasy řeky Mijar v Kyrgyzstánu –
Trans Alai Range

Terraces of the Owens River



Odraz tektonických procesů v říčním systému

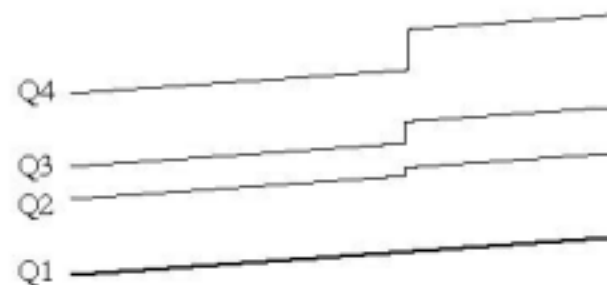
3 typy tektonické deformace teras

zlom

A Downcutting without deformation



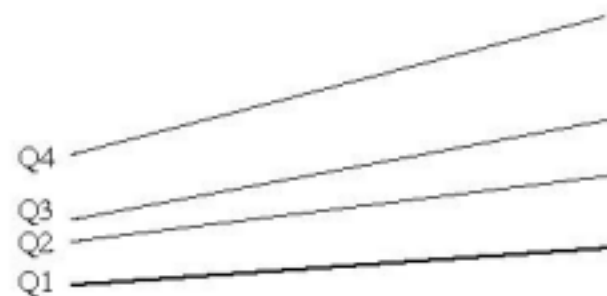
B Surface faulting



C Terrace warping



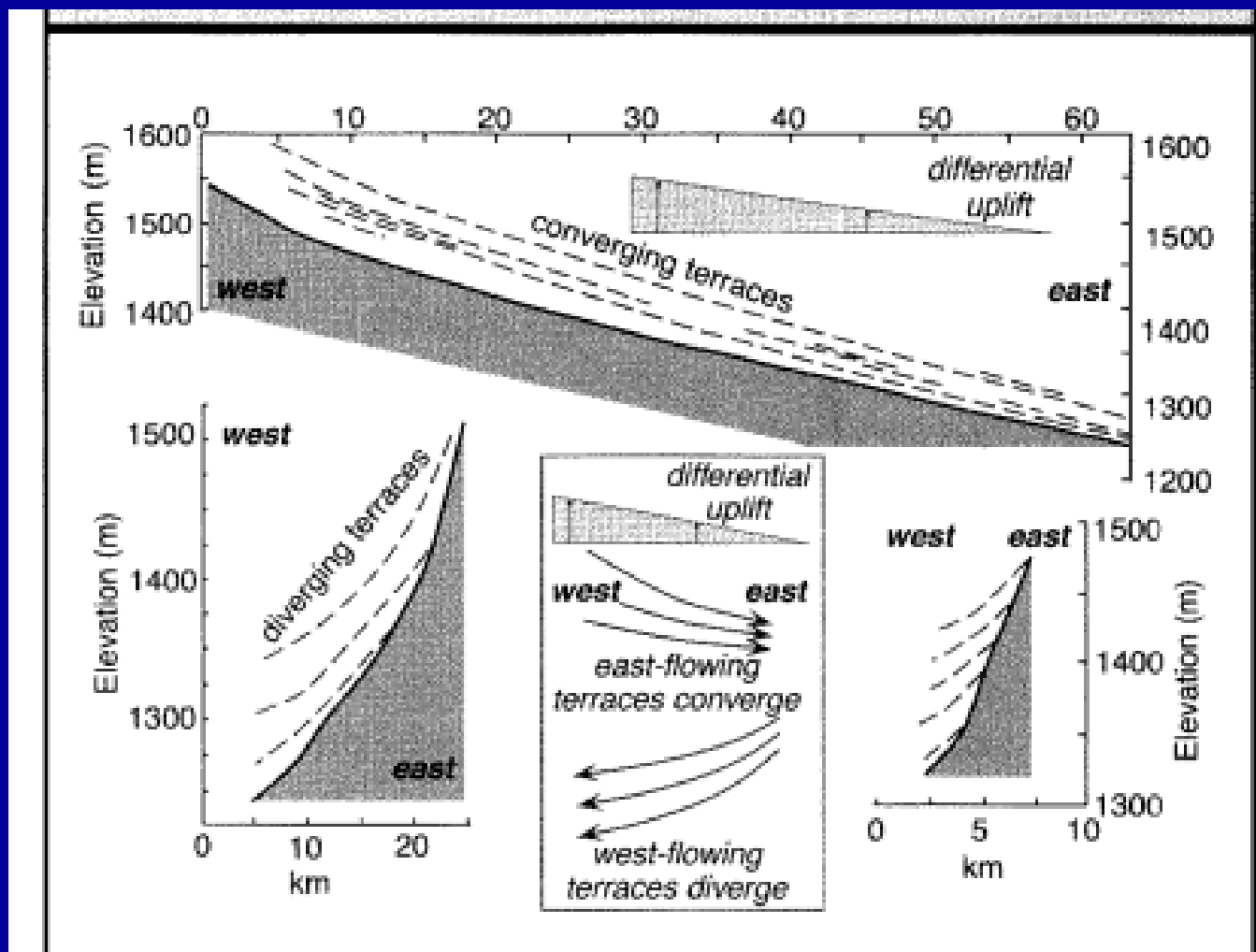
D Tilting (convergence downstream)



vyklenování

náklon terénu

Odraz tektonických procesů v říčním systému

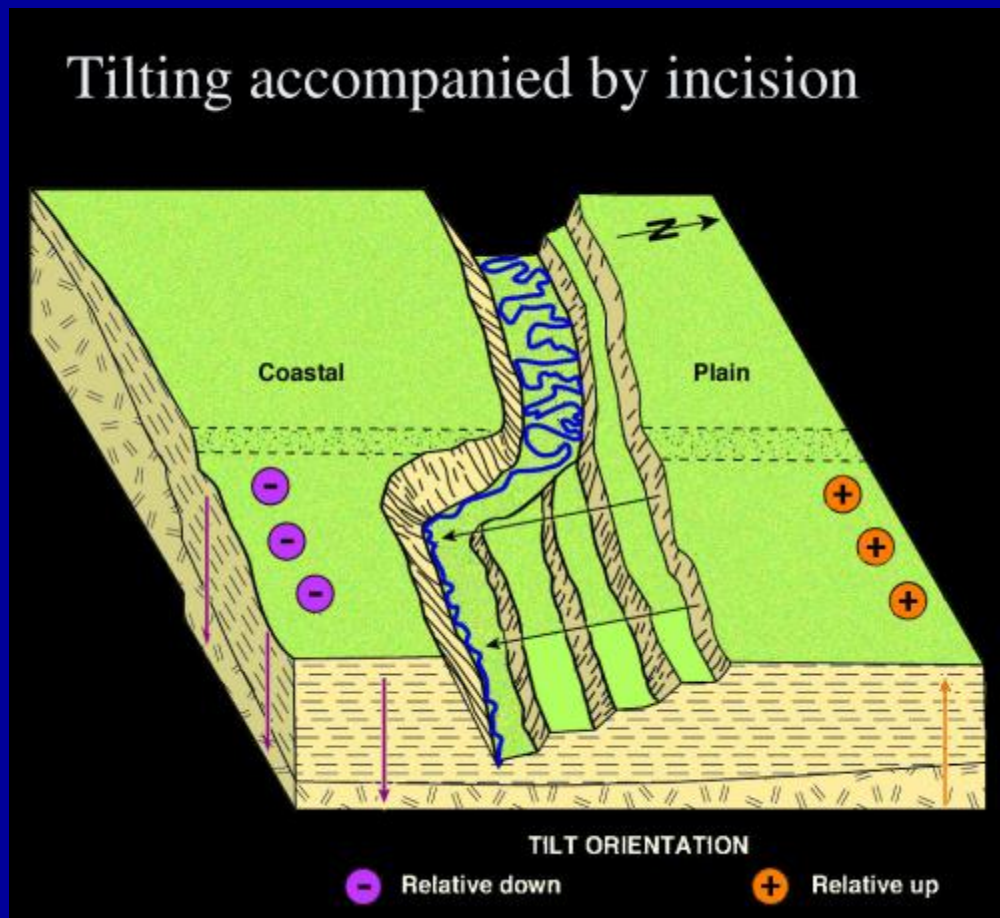


Východně „tekoucí“ terasy **konvergují po toku**,
na západ tekoucí **divergují** směrem po toku

Odraz tektonických procesů v říčním systému



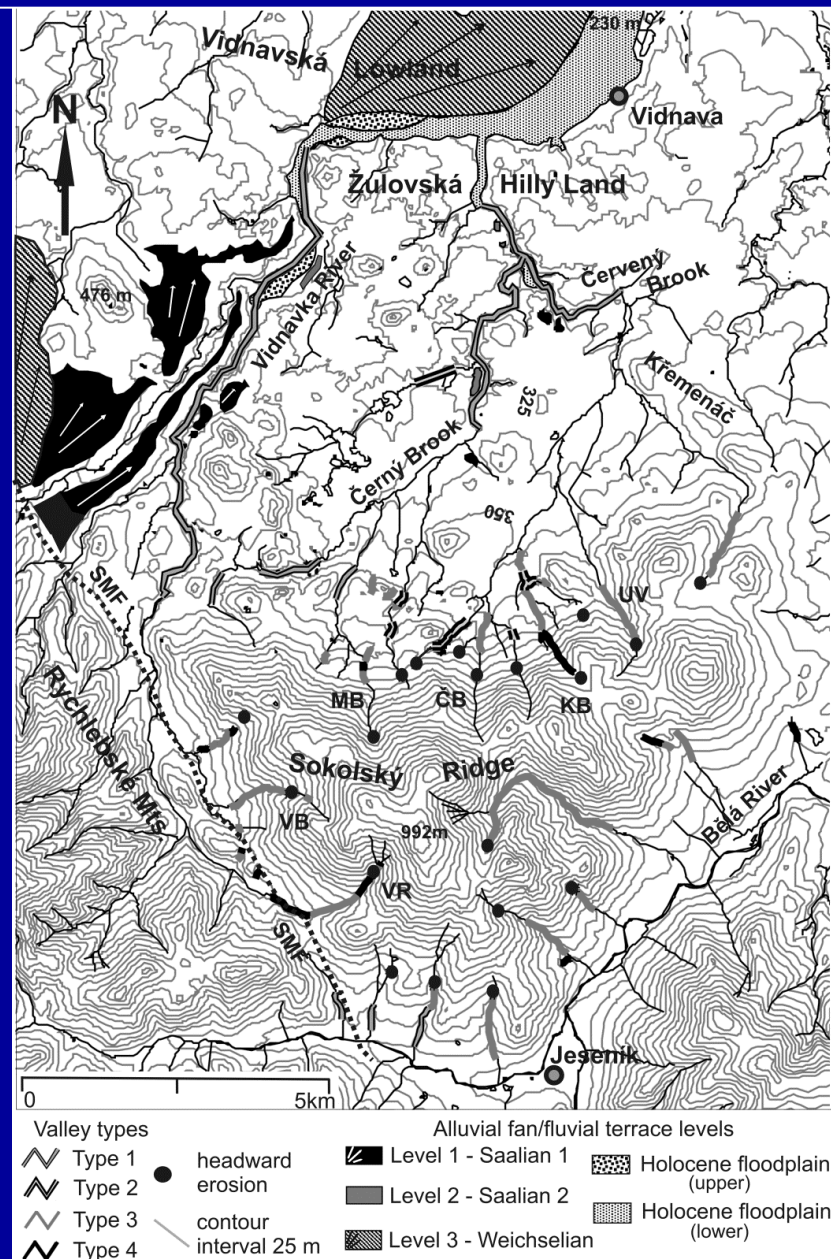
Příčný úklon terénu – nepárové terasy



Odraz tektonických procesů v říčním systému

Říční terasy Vidnávky

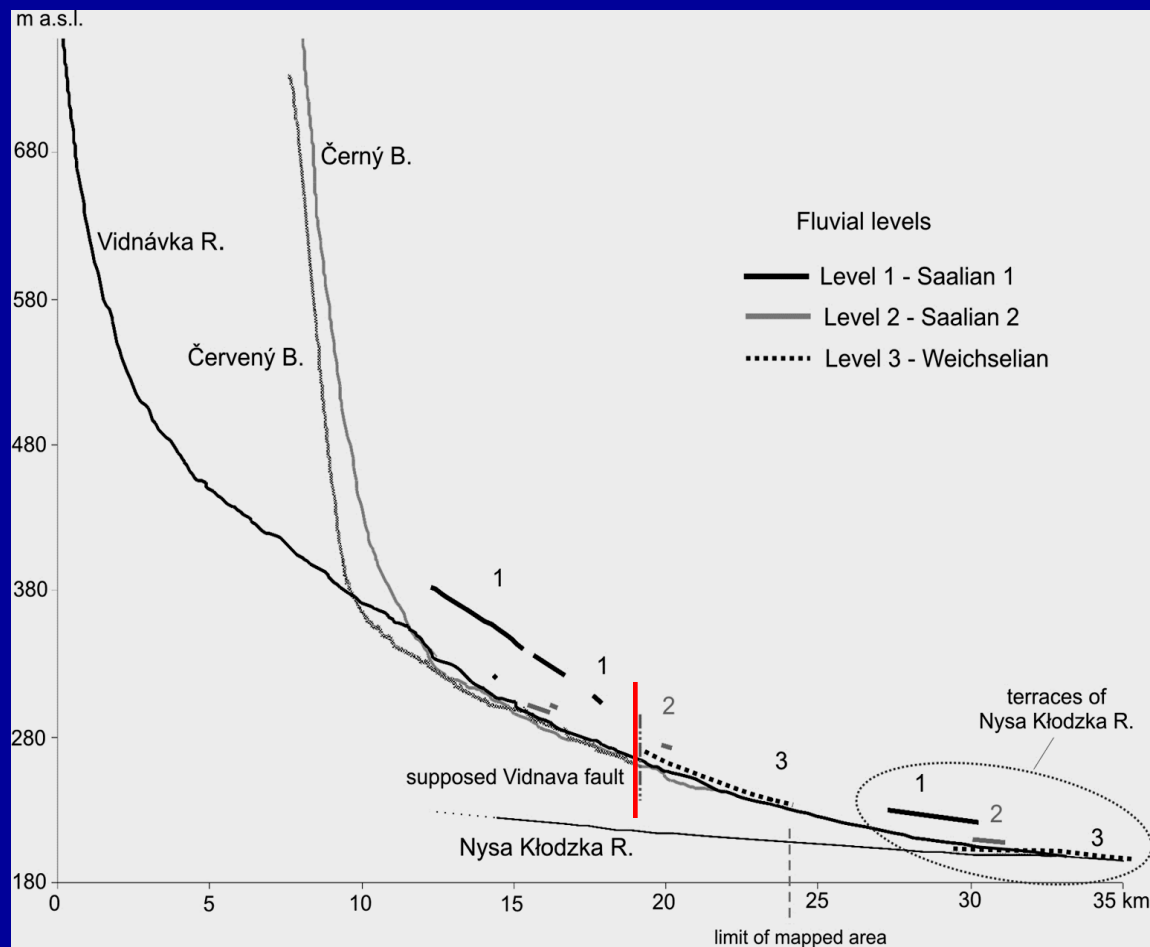
Terasy přítoků – normálně v menší relativní výšce nad tokem než terasy nad hlavním tokem v území



Odraz tektonických procesů v říčním systému

Výzdvih Žulovské pahorkatiny (?glacioizostaze)

Fluviální sedimenty-3 post-glaciální (po deglaciaci) pleistocenní úrovně teras a aluviálních kuželů



Úroveň 1 – Saale 1 Upper Terrace

Vidnavka - 38 – 48m (relativní výšky)

Černý potok - 20m

Červený potok - 35 – 40m

Úroveň 2 – Saale 2 Middle Terrace

Černý potok - 13 – 22m

Úroveň 3 – Weichselian Lower Terrace

Vidnavka - 4 – 8m

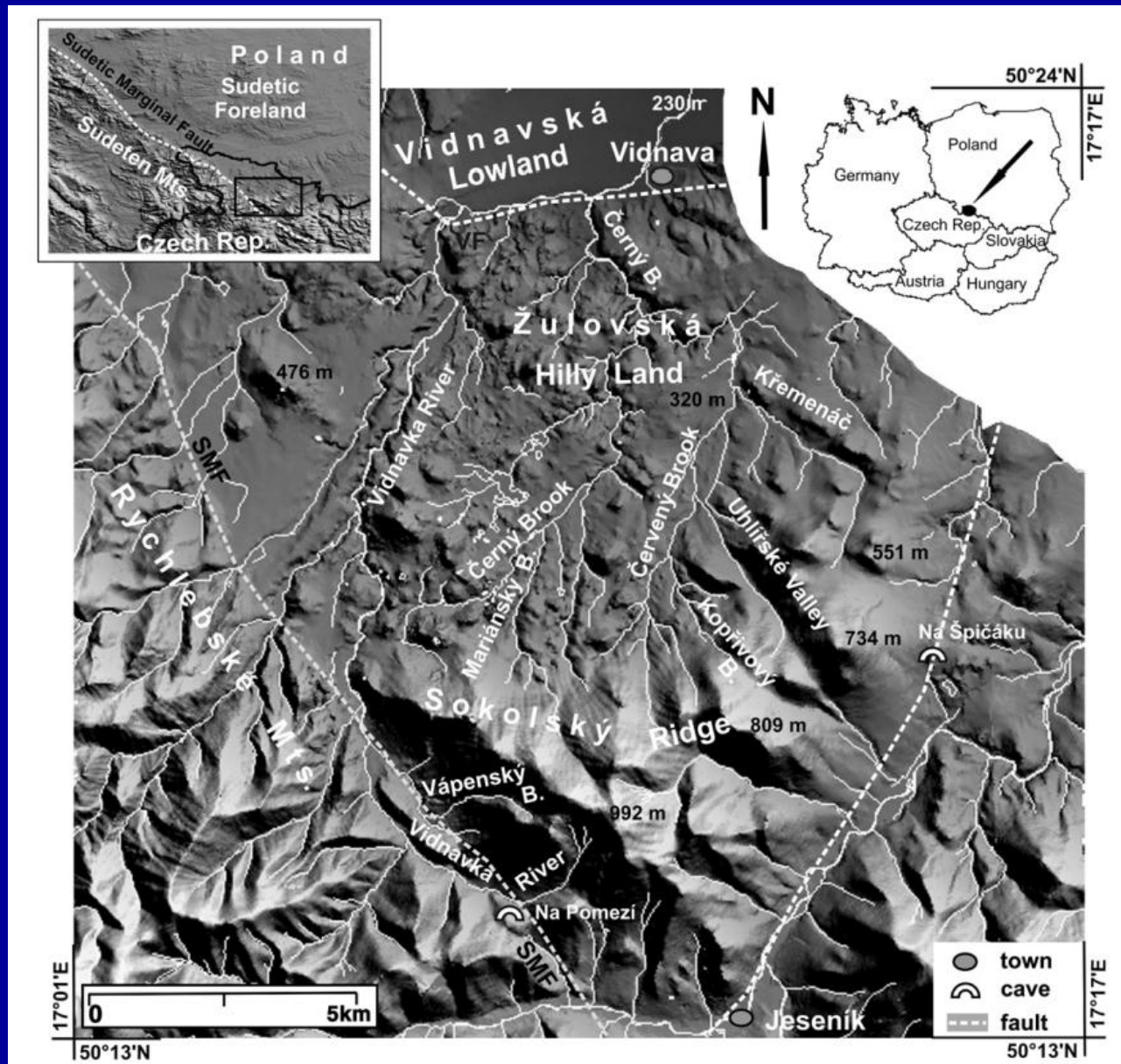
Anomálie v podélném profilu teras
(Kladská Nysa)

úroveň 1 – rozdíl 20m

úroveň 2 – rozdíl 8m

úroveň 3 – rozdíl 2-3m

Odraz tektonických procesů v říčním systému

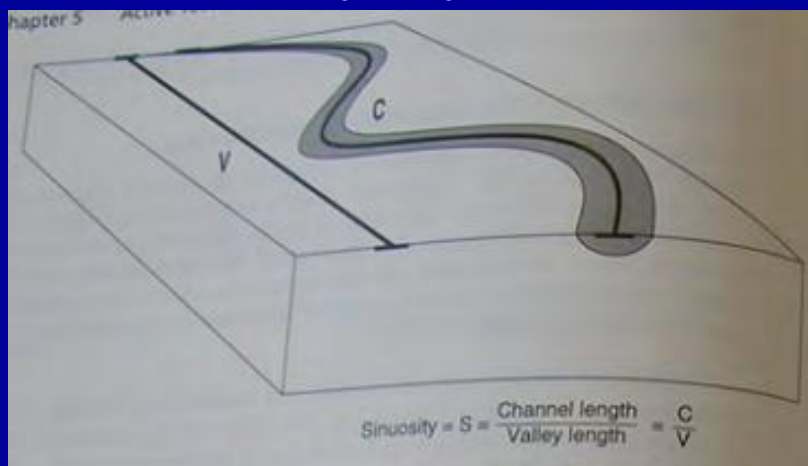


Odraz tektonických procesů v říčním systému

➤ Sinuosita (křivolakost) toků

- Řeky meandrují, aby zachovaly rovnováhu sklonu koryta s průtokem a unášeným materiálem

Sinuosita = délky koryta : délka údolí

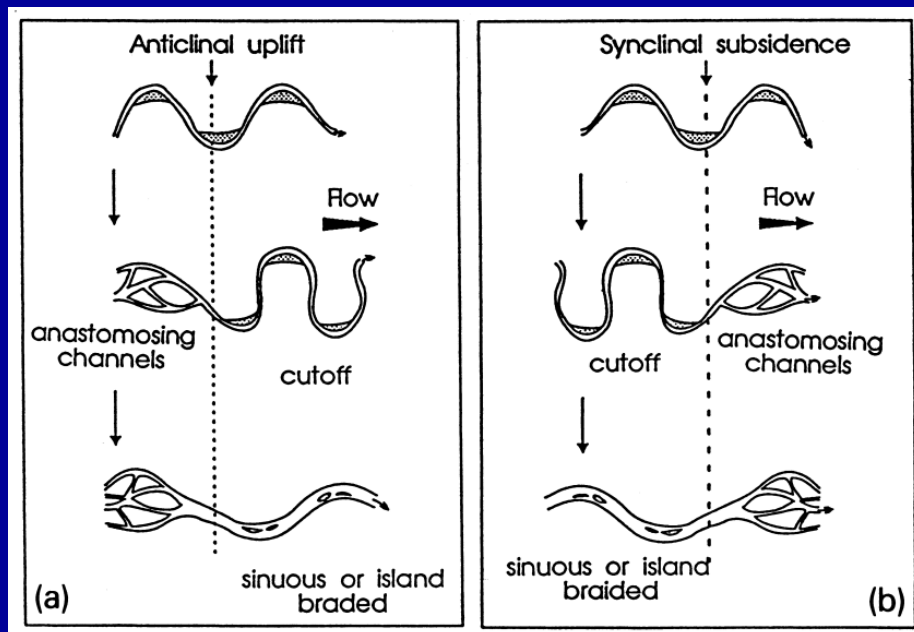


Řeka meandruje, když přímá spojnice údolního dna je příliš strmá pro udržení rovnováhy

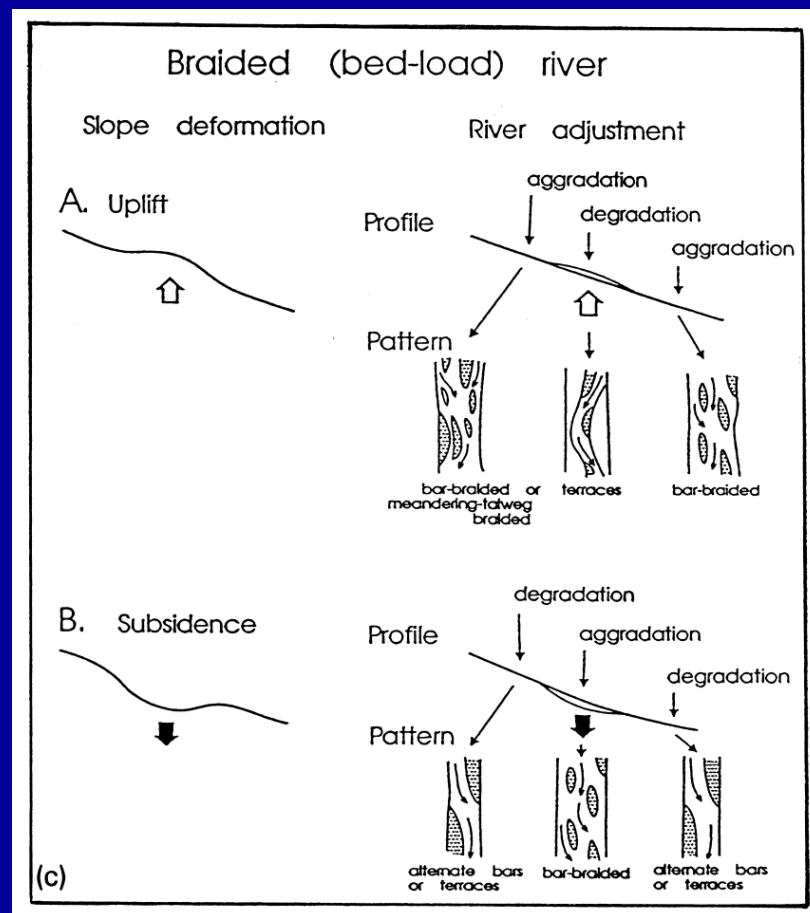
- klikacení snižuje sklon koryta (prodlouží se tok – mírnější spádová křivka)

Při protékání vyklenujícího se území – na horním toku méně zakřivené, na dolním více

Odraz tektonických procesů v říčním systému

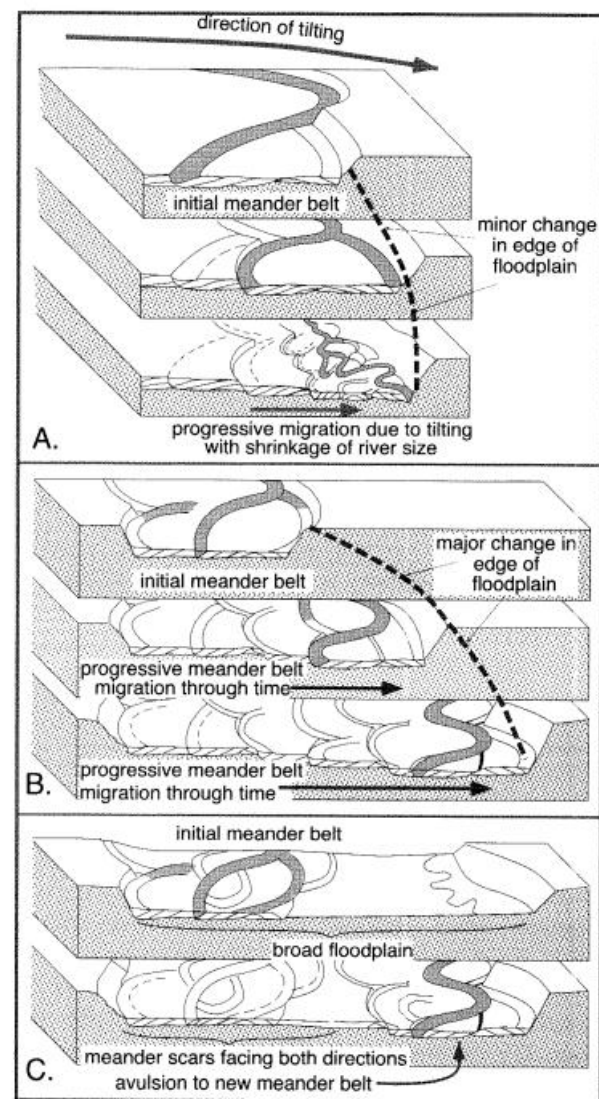
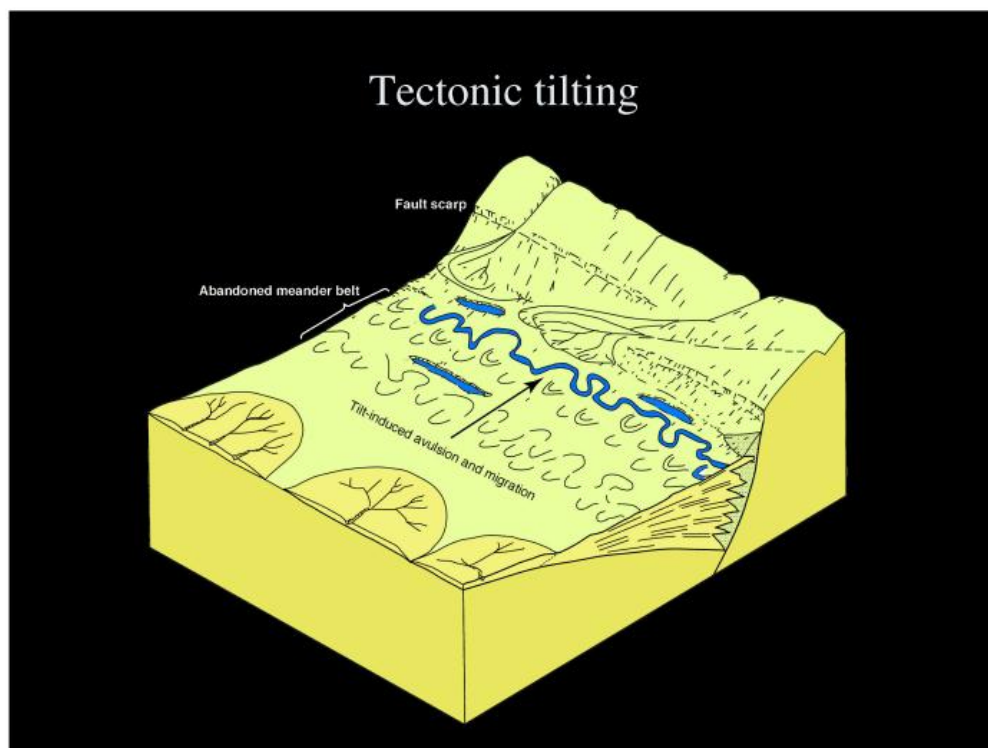


Odezva meandrujícího či přímého toku při protékání výzdvihovým územím (A) nebo poklesovým (B)



Odezva braided streams (C) (Ouchi, 1983)

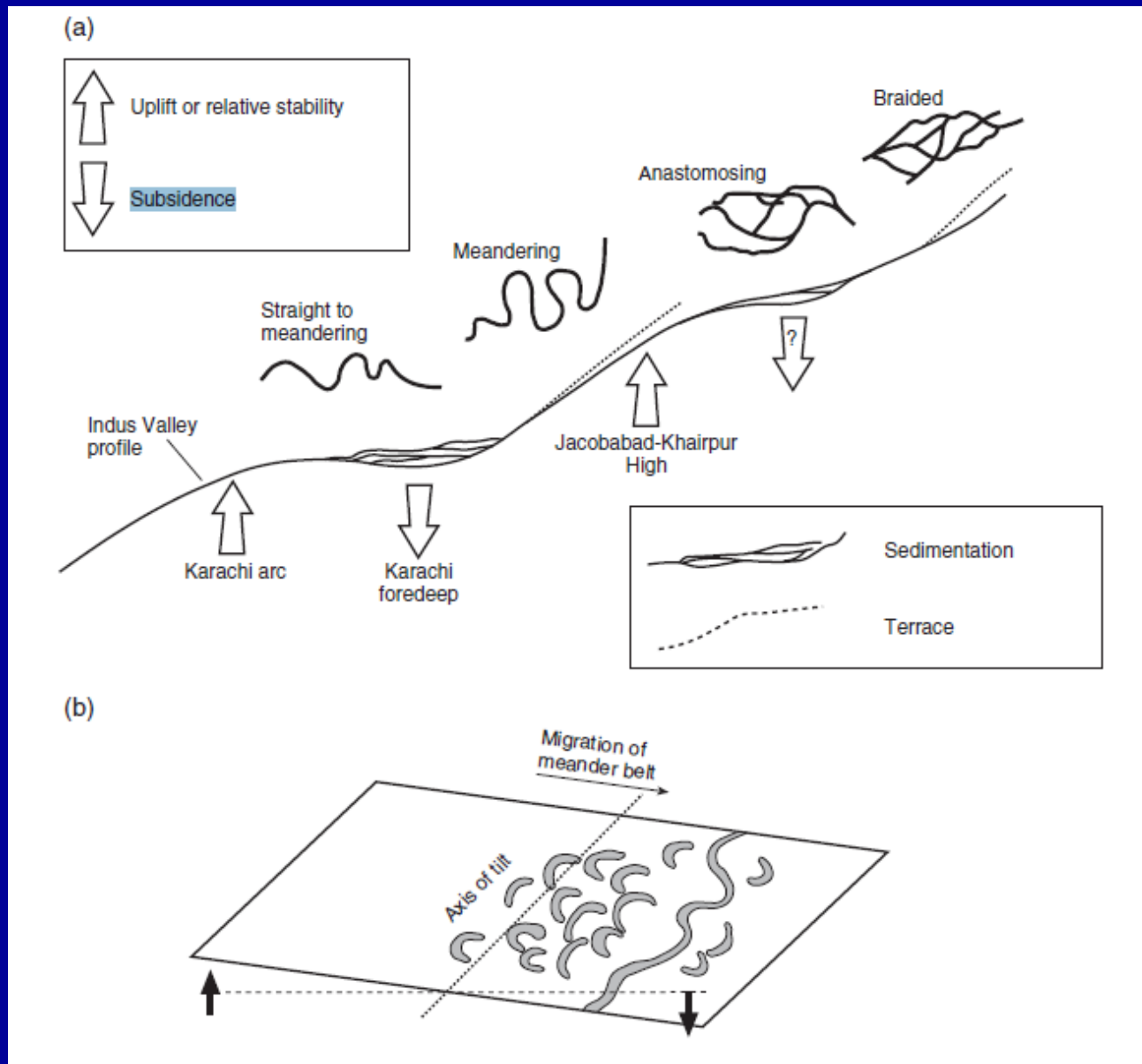
Odraz tektonických procesů v říčním systému



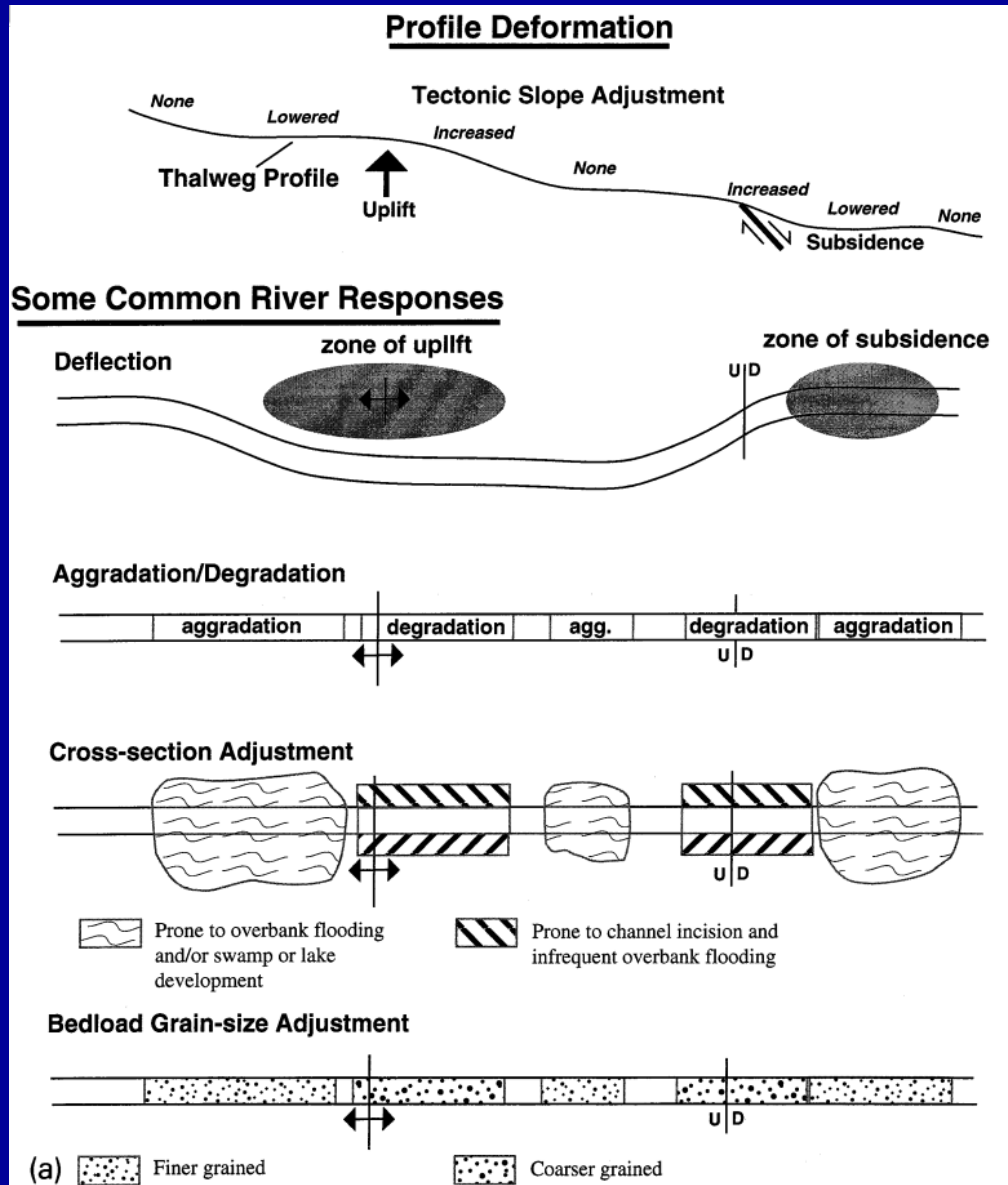
A. Steady tilting with shrinkage of river size. B. Steady tilting and migration. C. Abrupt tilting and avulsion across a floodplain. Modified after Alexander et al. (1994).

Odraz tektonických procesů v říčním systému

tectonically deformed river



Odraz tektonických procesů v říčním systému

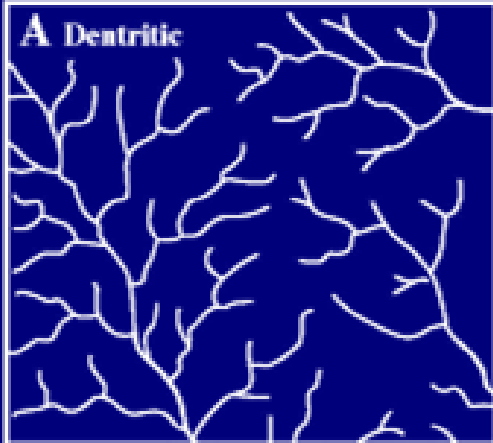
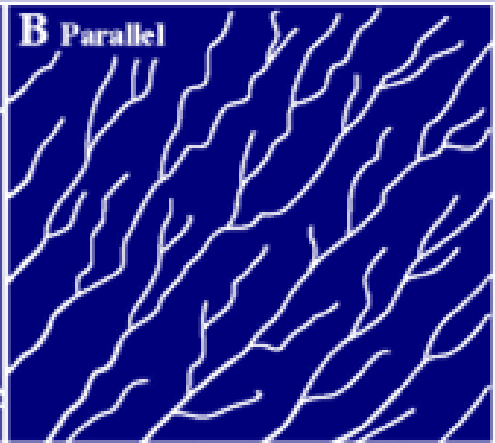
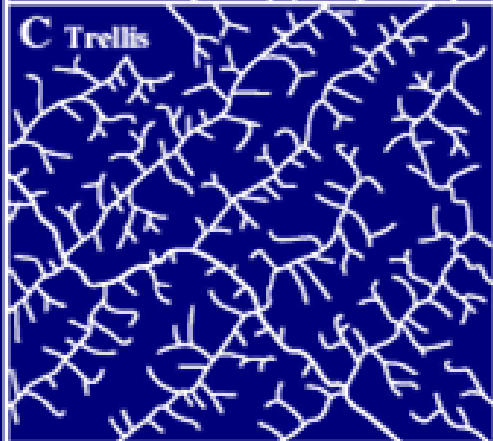
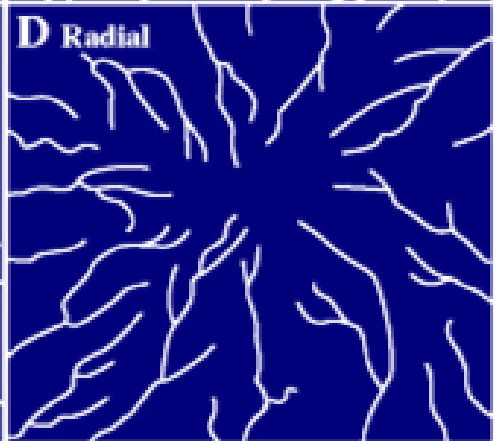


Odezvy toků na deformace v podélném profilu.

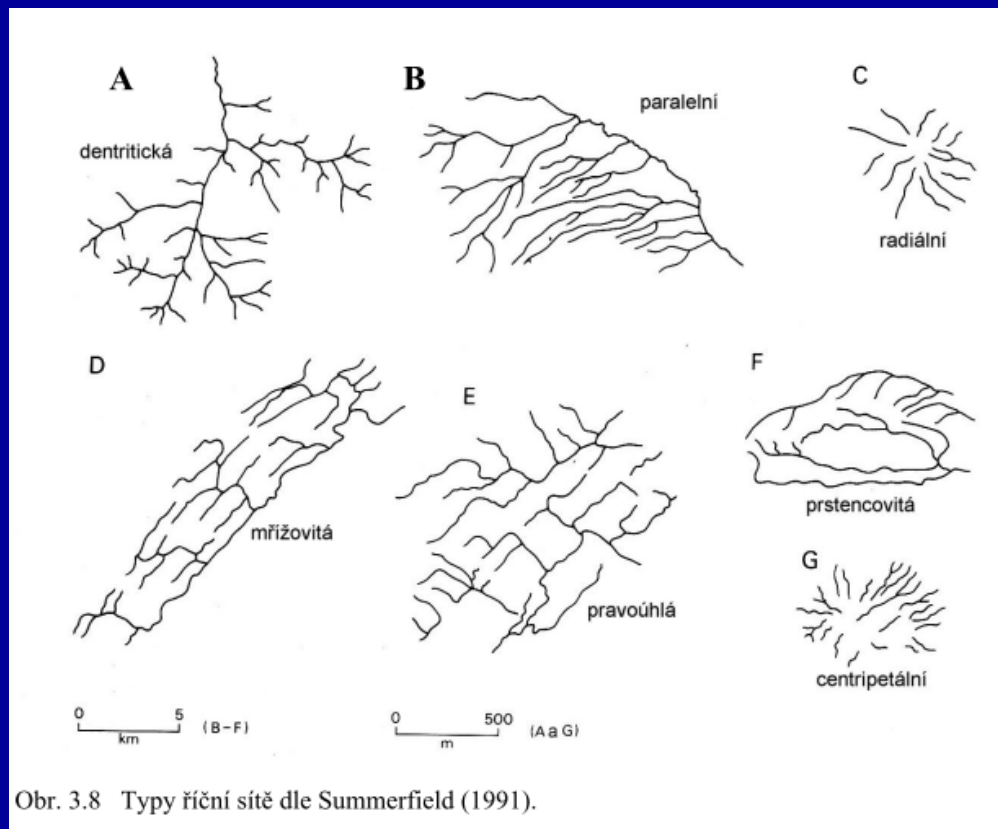
Odraz tektonických procesů v říčním systému

Říční síť

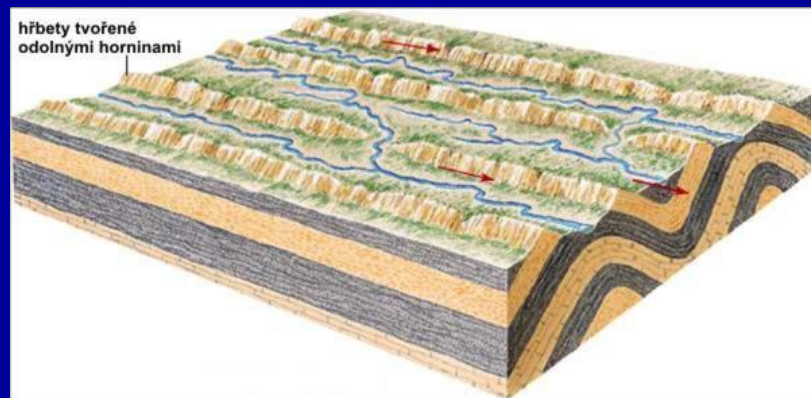
Changes in drainage and stream pattern

A Dendritic 	B Parallel 	Dendritic This drainage pattern forms on homogeneous bedrock or loose sediments in areas with gentle regional slopes.
C Trellis 	D Radial 	Parallel Parallel drainage pattern forms on steep slopes and where bedrock or landforms trend parallel to the regional slope.
		Trellis Pattern forms where underlying rock has one or more planes of weakness oblique to regional slope, such as on folded sedimentary rocks, or where linear landforms like beach ridges control drainage.
		Radial Pattern forms around structural high points such as volcanoes, salt domes, or tectonic upwarps.

Odraz tektonických procesů v říčním systému



Obr. 3.8 Typy říční sítě dle Summerfield (1991).



paralelní

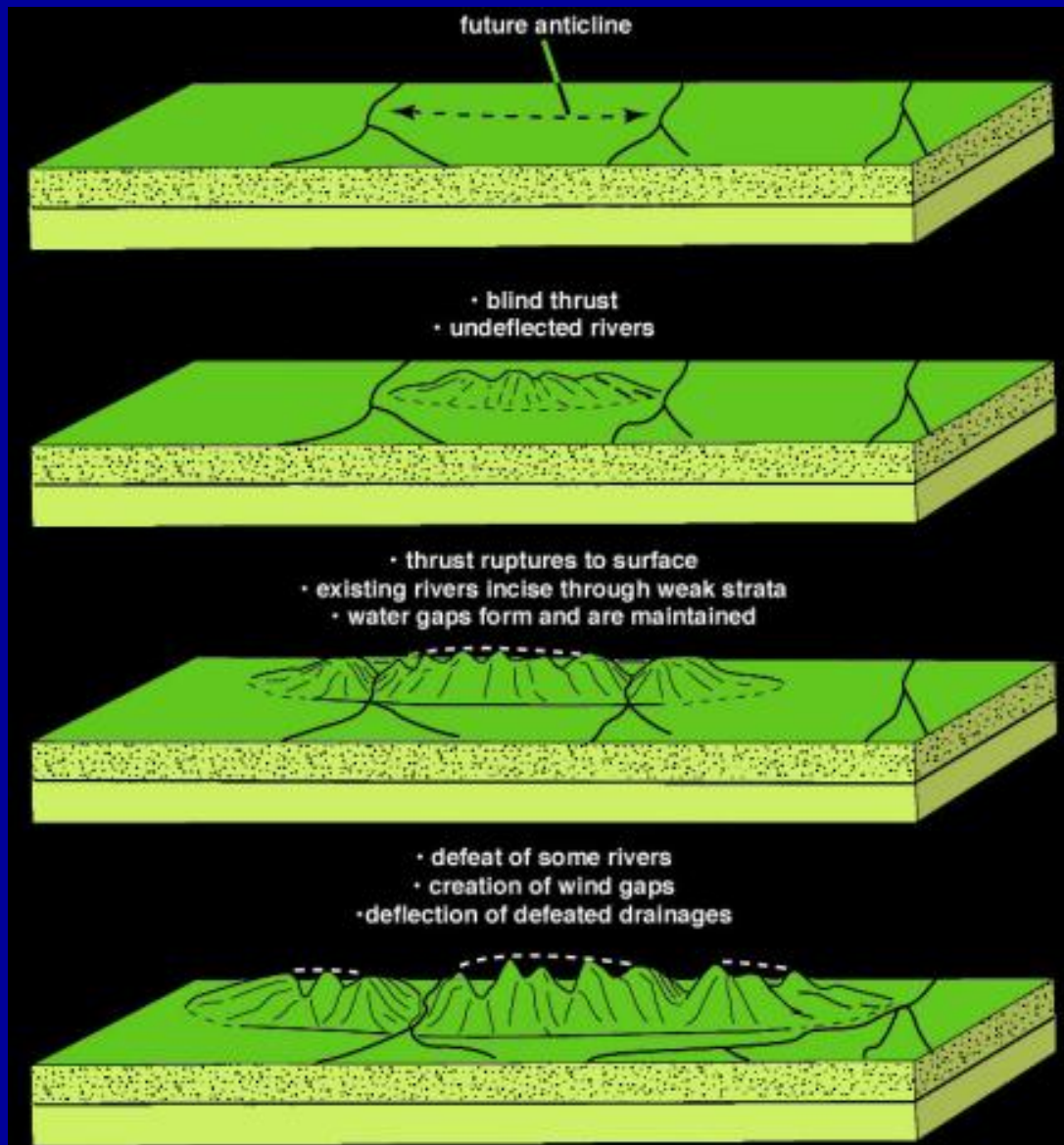


mřížkovitá

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

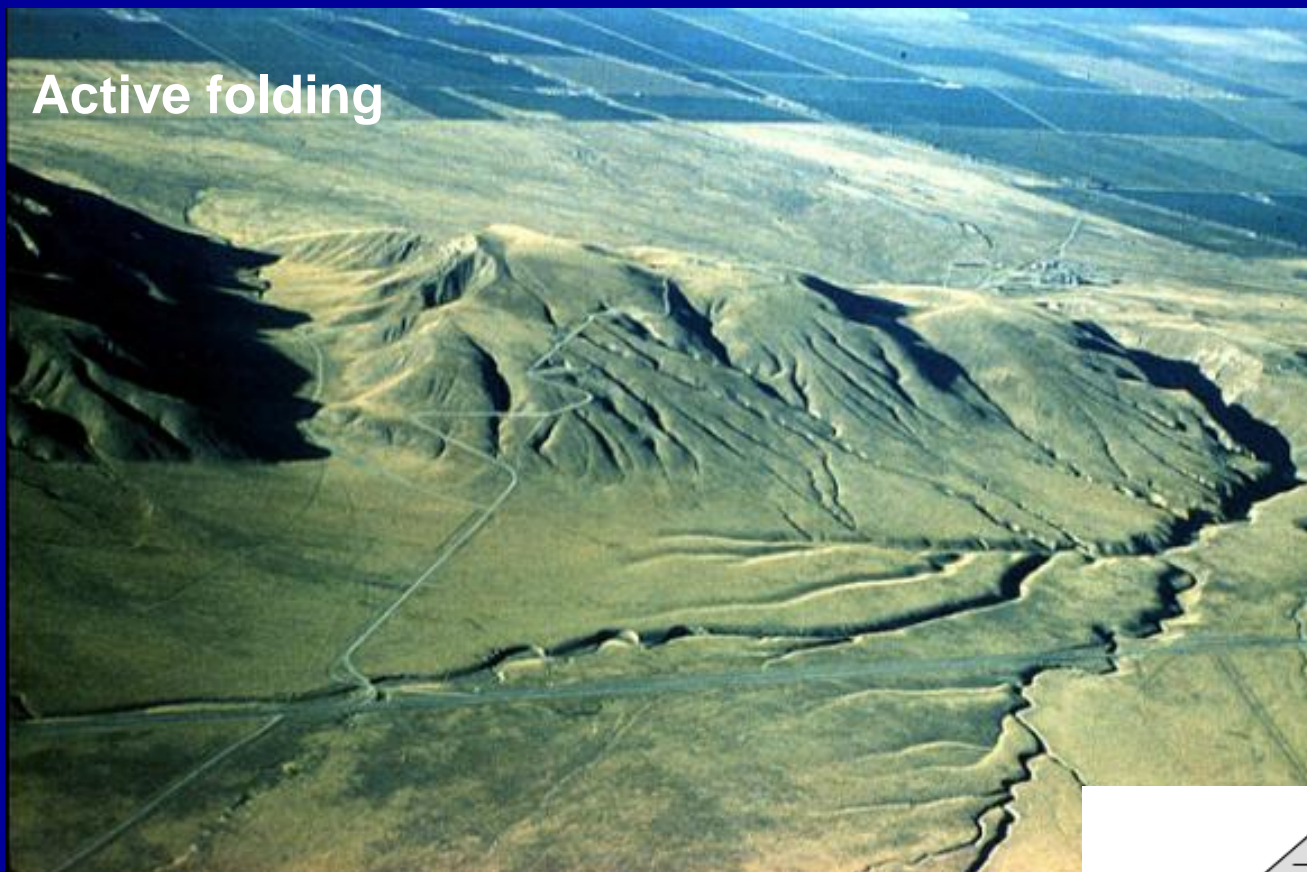
Změna říční sítě - odpověď na výzdvih a erozní rozčlenění

- antecedentní údolí
- water gap (průrva)
- opuštěná údolí
- wind gap
- odklon toku (deflection)
- načepování – říční pirátství



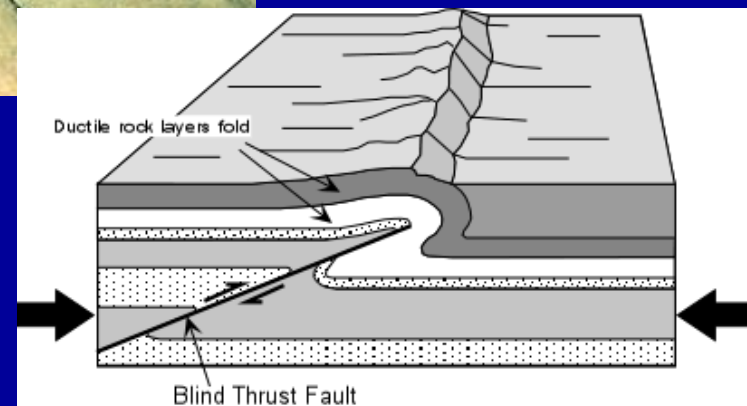
Odraz tektonických procesů v **říčním systému**

Active folding



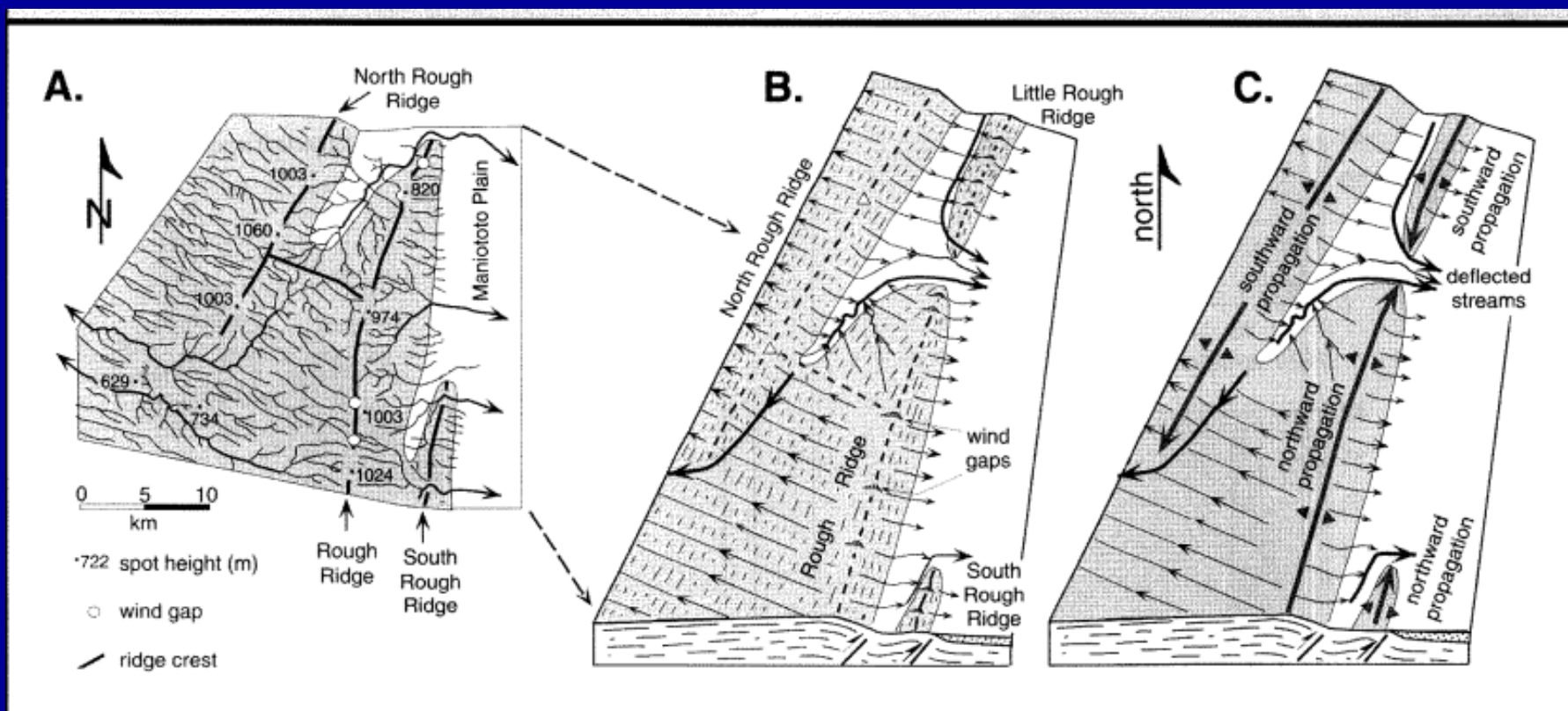
Fault-propagation fold
- fault related fold

„**Blind thrust fault** that does not rupture all the way up to the surface so there is no evidence of it on the ground. It is "buried" under the uppermost layers of rock in the crust.
„USGS



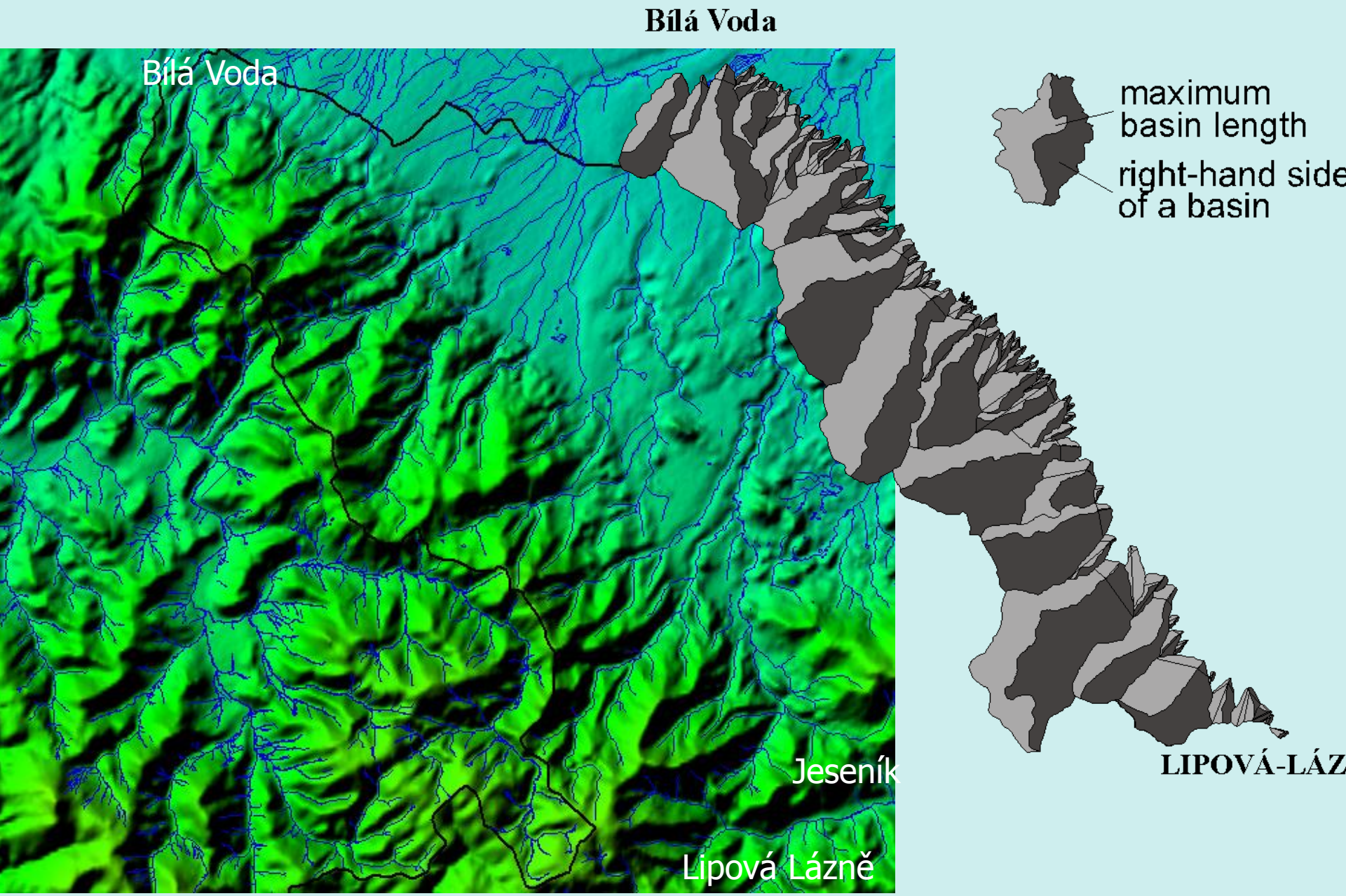
Odras tektonických procesů v říčním systému

Asymetrie povodí v oblasti aktivní vrásno-zlomové tektoniky



Vrásná osa ukloněná – water gap snižuje se výška, odklonění toků u okraje vrásy

Odraz tektonických procesů v **říčním systému**



Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Zlomové svahy, svahy na zlomové čáře

Rysy vyskytující se u všech svahů vázaných na zlomy:

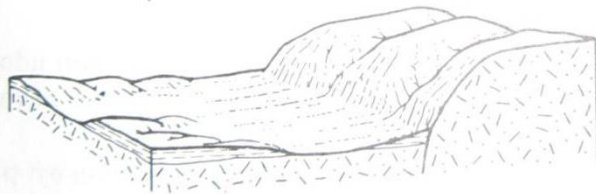
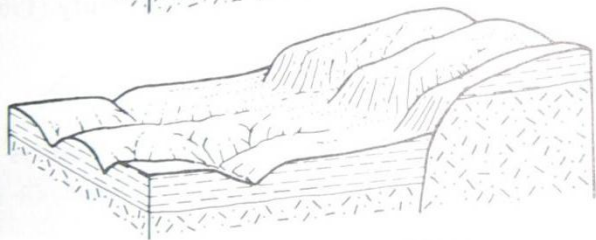
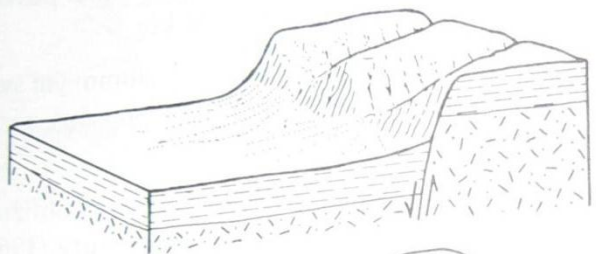
1. poměrně značný sklon svahu; je však třeba připomenout, že tento rys se může vyskytnout i u strukturních svahů, tj. terénních stupňů vázaných na odolnější horniny,
2. zlom při úpatí,
3. lichoběžníkové nebo trojúhelníkové facety na konci rozsoch mezi údolími rozřezávajícími svah; jak již bylo zdůrazněno, *facety* nejsou zbytky původní zlomové plochy,
4. poměrně přímý průběh svahu v půdorysu; zlomové svahy mohou být přirozeně i zvlněné, ale zpravidla probíhají přímočařeji než svahy strukturní nebo svahy vytvořené exogenními geomorfologickými pochody,
5. hluboko zaříznutá údolí tvaru V se skalními dny, které sahají až ke zlomu,
6. zvětšení sklonu dna údolí poblíž zlomu; zejména u aktivních zlomových svahů se zvětšuje spád vodního toku a údolí se zužují,
7. údolí, která nesahají až k úpatí svahu, nýbrž jejich dna končí stupňovitě neboli visutě nad úpatím svahu (tzv. *visutá údolí*),
8. řady pramenů při úpatí svahů,
9. výlevy lávy podél zlomů při úpatí.

Demek (1987)

Obecná geomorfologie

Další rysy, které se často vyskytují u svahů vázaných na zlomy, i když nejsou přímo dokladem zlomů, jsou tyto:

1. časté sesuvy; *sesuvy* jsou relativně rychlé, krátkodobé klouzavé pohyby hmot na svahu podle jedné nebo více smykových ploch, které jsou vyvolány působením zemské tíže,
2. výskyt výklenků, sedel a lomů spádu ve hřebetech bez zřetelné strukturní kontroly, tj. bez zřetelné závislosti na odolnosti hornin,
3. dlouhé, přímé a rovnoběžné úseky vodních toků, které probíhají přes horniny různé odolnosti,
4. pravouhlé ohyby vodních toků; v místech ohybu vodní tok nezřídka přibírá přítok tekoucí v původním směru hlavního toku, jindy za rozvodím vzniká nový vodní tok, tekoucí ve směru hlavního vodního toku v sousedním povodí.



1



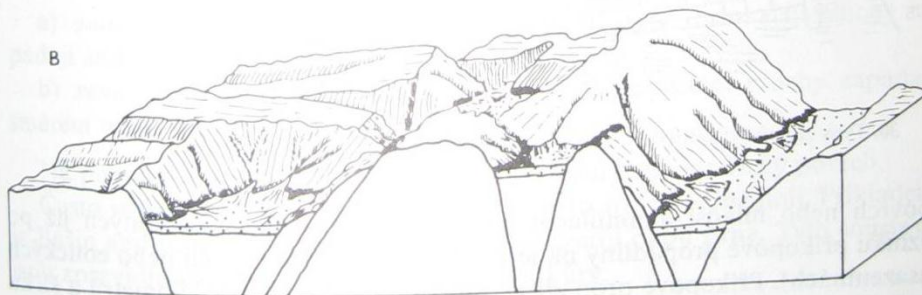
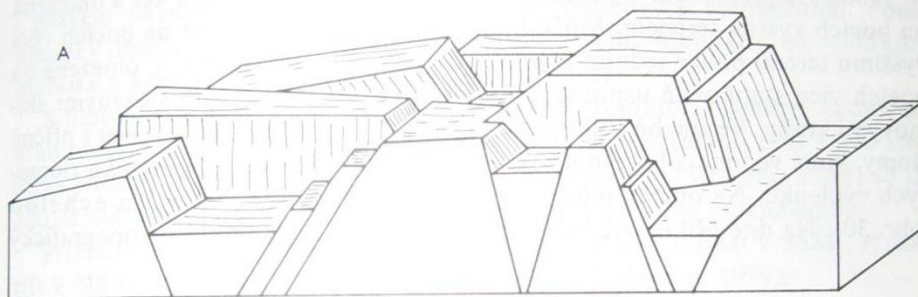
2



3

Pouze u zlomových svahů se pak vyskytují tyto rysy:

1. nezávislost svahu na geomorfologické odolnosti hornin; např. jestliže jsou na svahu méně odolné horniny než v nižším terénu nebo jsou-li jak na svahu, tak i v nižším terénu nekonsolidované horniny, můžeme plným právem pokládat terénní stupeň za zlomový svah,
2. výskyt malých prolomů při úpatí svahu; prolomy jsou tektonické snížení omezené zlomy,
3. výskyt jezer v místech, kde zlomový svah protíná údolí,
4. častá silná zemětřesení,
5. rozlámání staršího topografického povrchu, zejména můžeme-li dokázat, že stupeň porušil tvary nacházející se jak na vyzdviženém, tak i na pokleslém území, takže vznikla např. opuštěná údolí bez vodních toků,
6. rozlámání a deformace říčních teras (viz kapitolu Fluviální pochody).



29. Model vývoje tvarů vzniklých pohyby ker zemské kůry. Vysvětlivky: A — původní tvary
B — tvary vzniklé pohyby ker zemské kůry

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří



➤ Aktivní okraj pohoří (mountain front)

- lineární (poklesové zlomy) nebo zvlňené (přesmyky)
- triangulární facety (*faceted spurs, flatirons*)
 - výzdvih, vzniku zlomového svahu, následné erozní rozčlenění
 - jejich báze - paralelní s průběhem zlomu (Cotton 1950; Bloom 1978; Stewart, Hancock 1990)
 - sklon facet - $25 - 35^\circ$ X sklon zlomu $50 - 90^\circ$ (Wallace 1978)
 - prostorové rozmístění – záleží na vývoji údolní sítě
 - stupňovité uspořádání facetovaných výběžků - výsledek
 - a) epizodického výzdvihu (Hamblin 1976; Anderson 1977)
 - b) distribuovaných pohybů podél paralelních zlomů v zóně hlavního zlomu omezujícího pohoří (Menges 1988; Zuchiewicz, McCalpin 2000)

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří



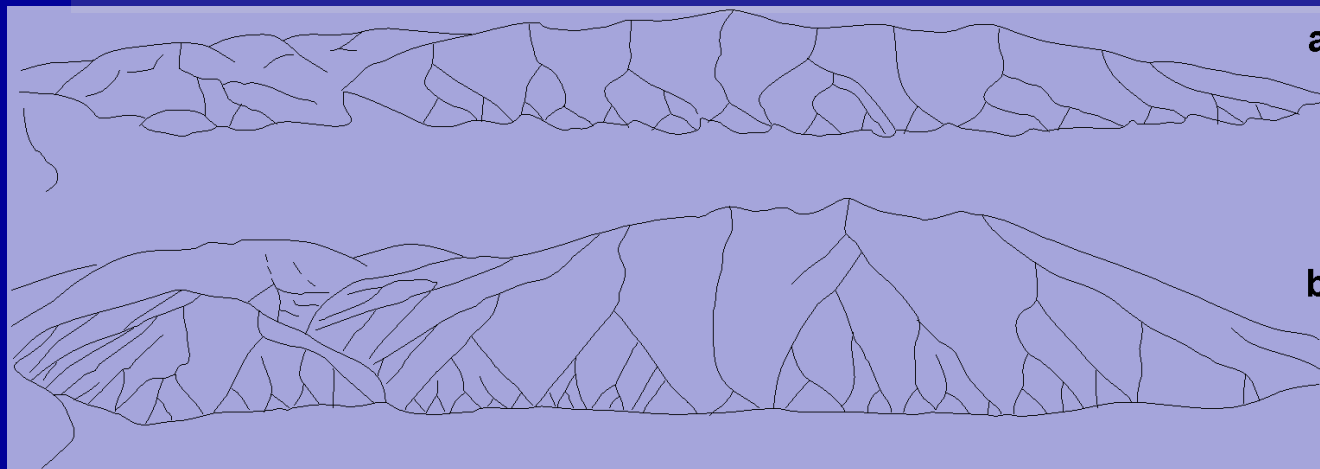
stupňovité uspořádání facet

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Modelace facetovaných hřbetů - výsledek

a) fluvialní eroze současně působící s výzdvihem úpatní fronty
(Hamblin 1976; Wallace 1978)

b) zpětný ústup svahu, za přispění gravitačních svahových pohybů
(Anderson 1977)



**Spanish Fork –
segment zlomu
Wasatch
(Anderson 1977)**

**a) paleogenní a
neogenní planace**

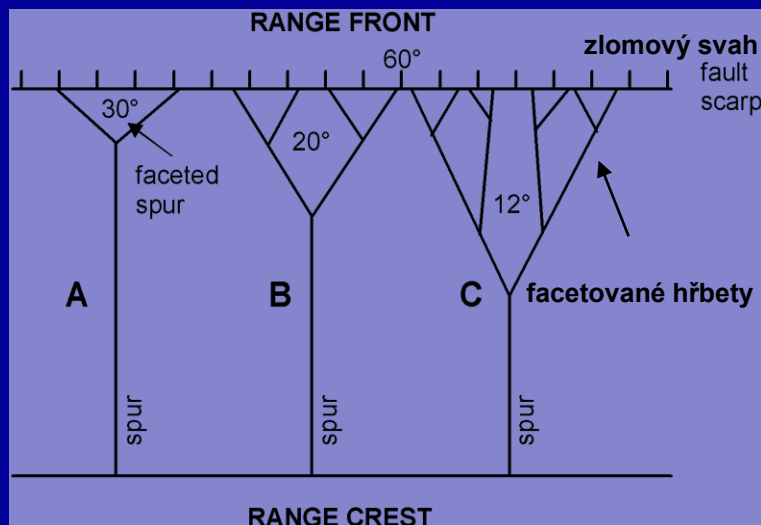
b) současnost



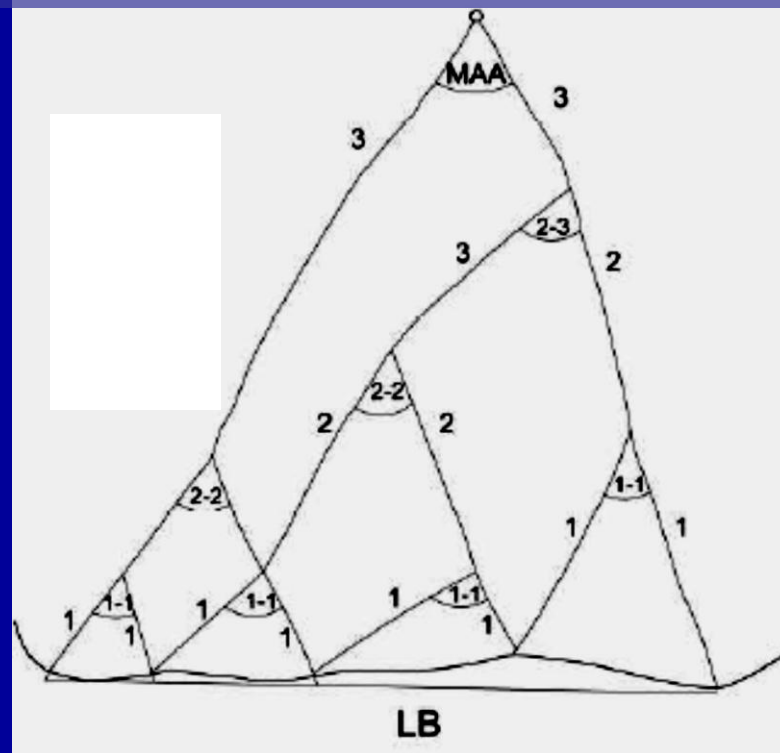
Velikost facetovaných výběžků hřbetů - funkce vzdálenosti mezi hlavními údolími rozčleňujícími úpatí pohoří a velikostí hřbetů mezi nimi

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

- **Výška** zlomového svahu, tzn. hřbetů zakončených facetou - funkce výzdvihu
průměrný sklon facety - rychlost degradace svahu závislou na čase, různé odolnosti podloží vůči erozi, úhlu mezi původním vyzdviženým svahem a zlomovou plochou, šířce zlomové zóny (Wallace 1977)



**vývoj facetovaných hřbetů s časem
ústup, snižování sklonu, rozčlenění**



**rozčlenění složeného facetovaného hřbetu
3 generace**

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Facety Rychlebských hor

Studované segmenty – odlišná výška zlomového svahu (nadm. výška nejbližších elevací - zbytky facet)

Trojúhelníkové či lichoběžníkové facety - dvou až pětistupňové (2 – 5 generací), podobně jako v polské části zlomové zóny OSZ a jsou tedy v různém stavu zachování a stupni erozního přemodelování (Badura et al. 2007).

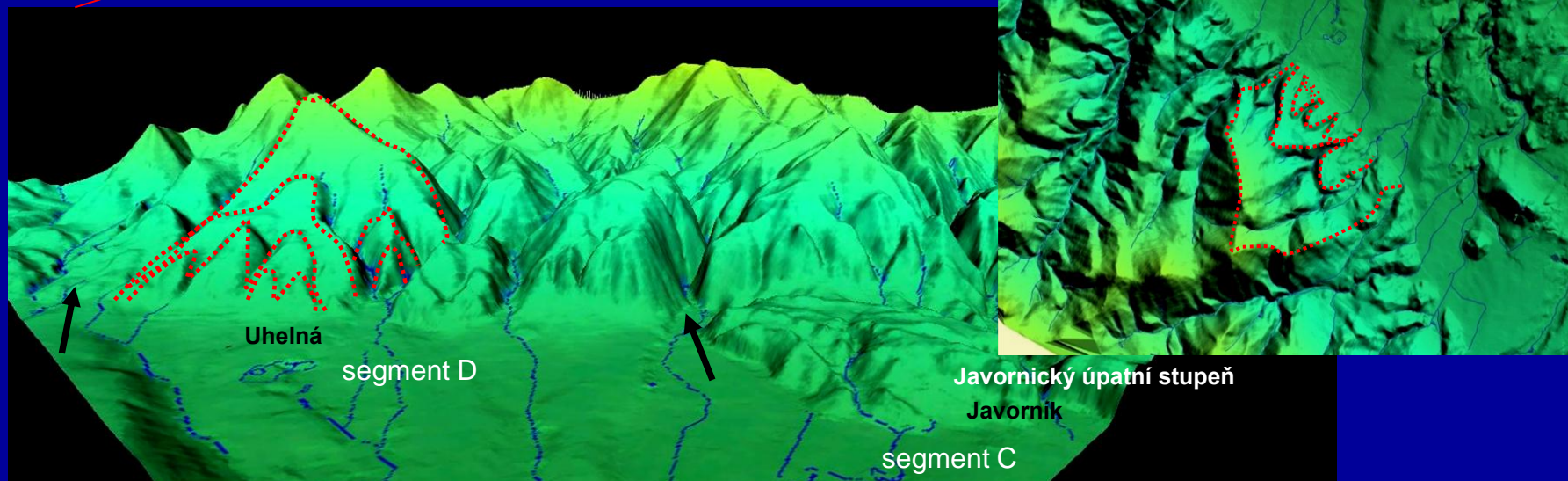
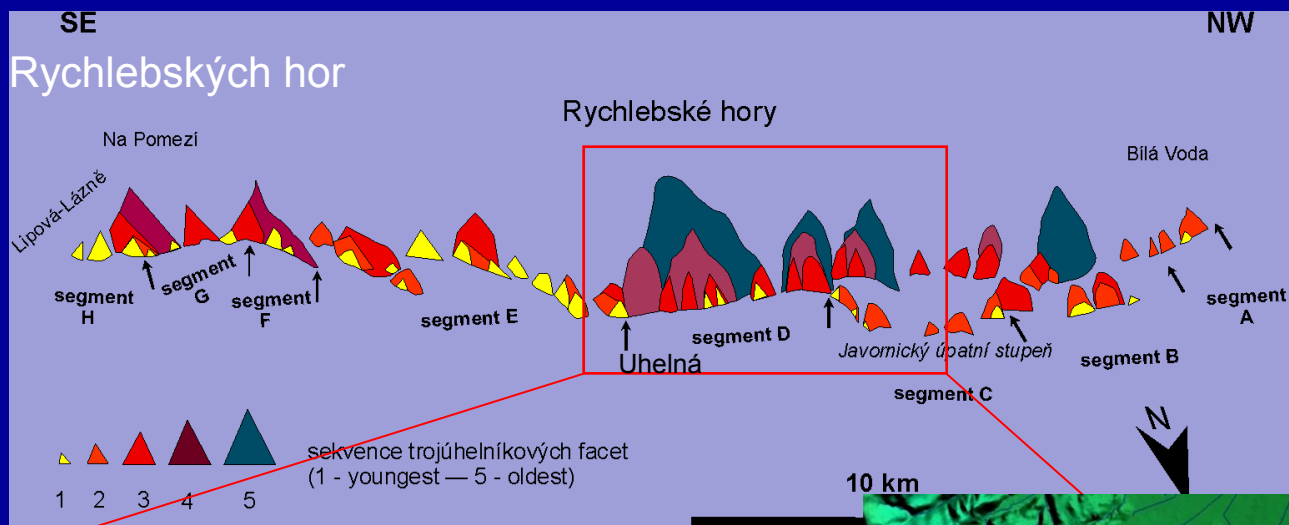
Nejvyšší, tzn. nejvíce stupňové facety (5 generací) – Soví hory a Rychlebské hory (nejvýše vyzdvižené části okraj. sudet. zlomu)

Rychlebské hory – okolí Uhelné

průměr. výška u facet – u 5 stupňových – 275m, 173m, 111m, 60m, 28m

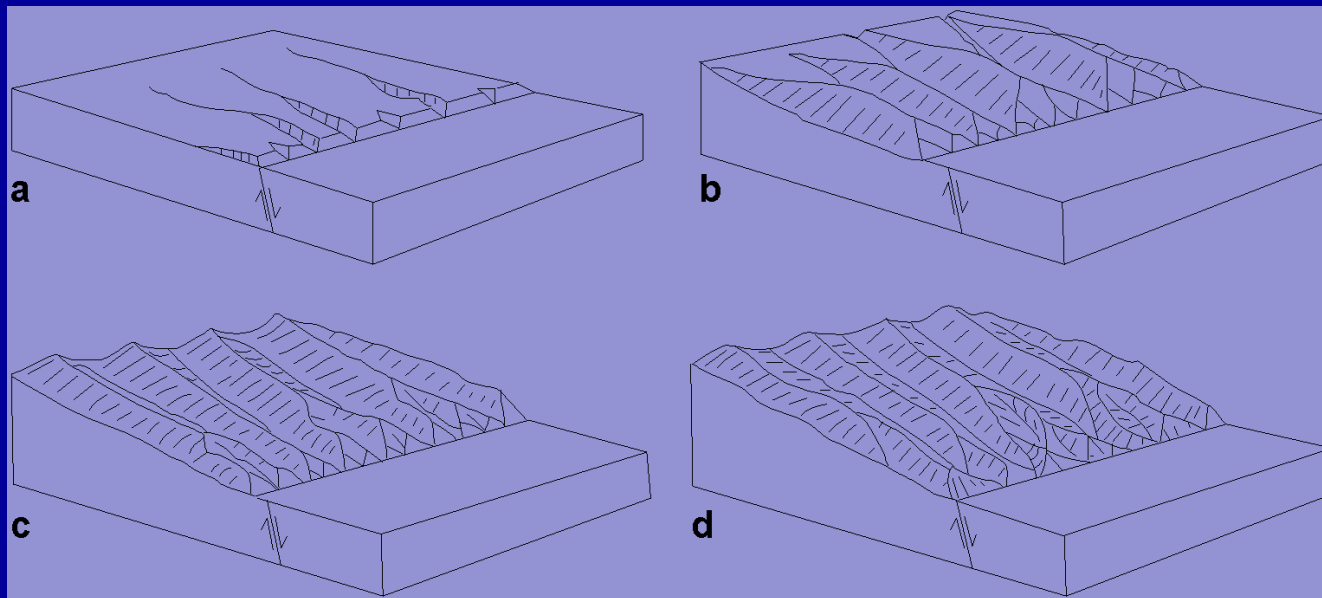
Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Facety Rychlebských hor



Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Vývojová stádia složených facetovaných hřbetů



Anderson (1977)

Opakované epizodické pohyby – vznik

- n–set m vysoký zlomový svah,
- zlomově podmíněné okraje pohoří – 100ky km dlouhé, až 1 km vysoké (Stewart, Hancock 1994)

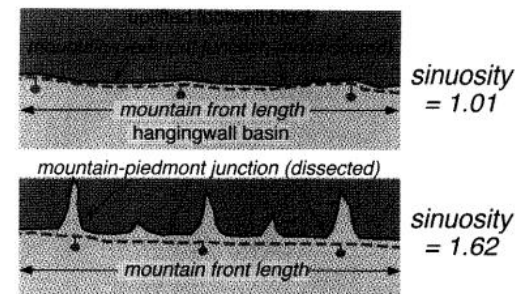
Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Mountain front sinuosity index S_{mf} (Bull, McFadden 1977)

$$S_{mf} = (L_{mf}) / (L_s)$$

L_{mf} - length of mountain front

L_s - straight-line length of mf



- stupeň rozčlenění dříve přímočarého úpatí vázaného na zlom

vyšší S_{mf} – menší aktivita, více rozčleněné úpatí

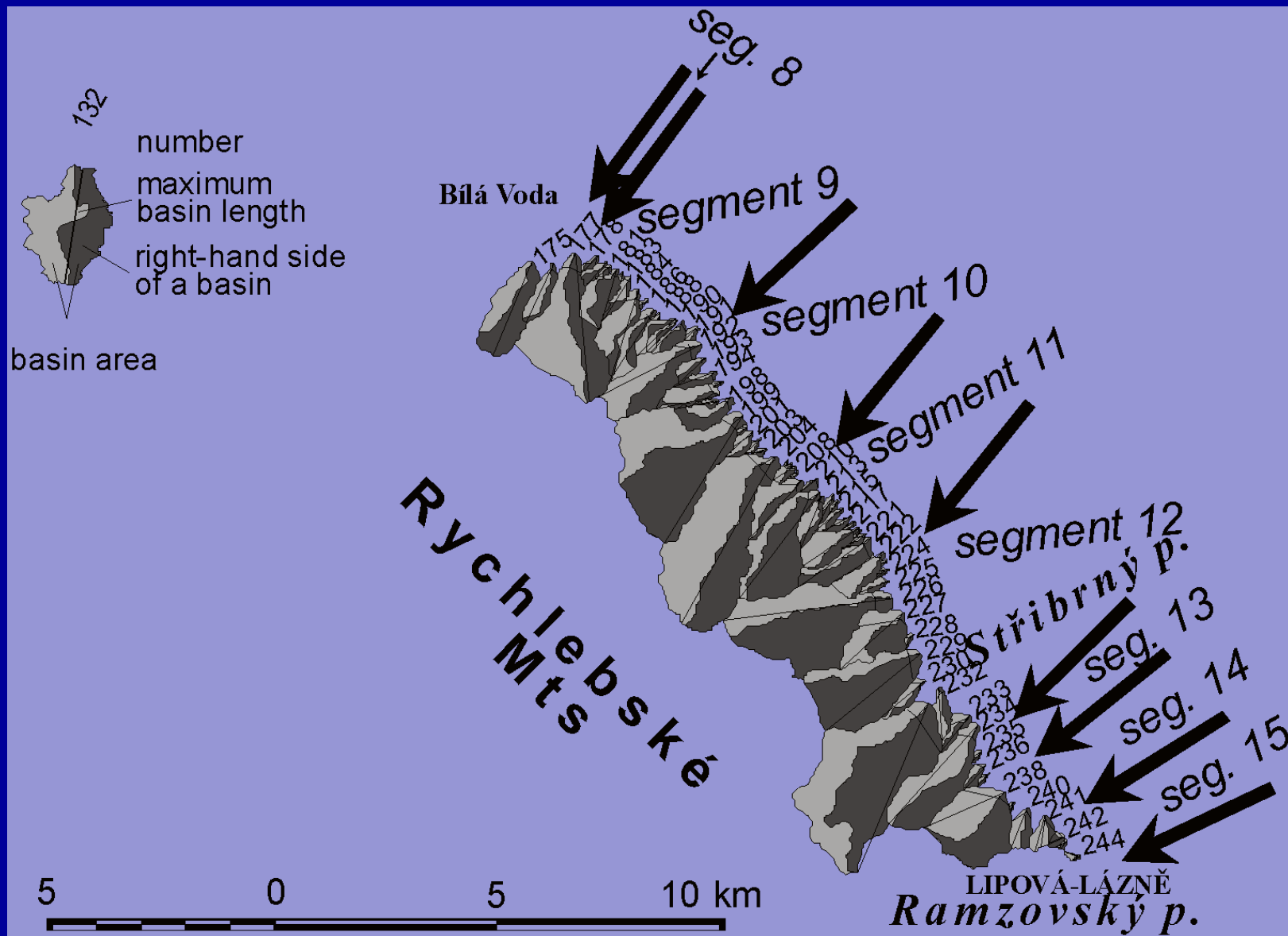
S_{mf} index < 1,4 indikuje tektonicky aktivní okraj pohoří,

1,4 až 3 odrážejí menší aktivitu, avšak stále aktivní tektoniku,

> 3 již neaktivní okraj pohoří, svah erozí a denudací ustoupil min. 1km z původní pozice vázané na průběh zlomu (Keller, Pinter 2002)

S_{mf} pro studované segmenty A – H: 1,013 až 1,11. Pro celý úsek OSZ včetně polské části průměr činí 1,051 což poukazuje na (!) relativně vysokou aktivitu a mladý výzdvih (viz Badura et al. 2007).

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří



Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

Parameter -

valley floor width - valley height ratio V_f (Bull, McFadden 1977)

$$V_f = 2V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

V_{fw} = valley width

E_{ld} , E_{rd} , E_{sc} = výška rozvodnic nad dnem údolí (pravá, levá část povodí)

nízké hodnoty ($<1,0$) - hluboká údolí s aktivně zahlubujícími se toky

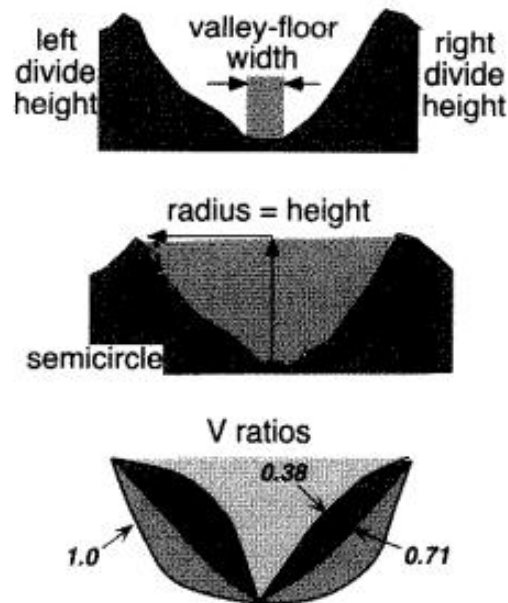
(obvykle spojováno s výzdvihem)

Ve studovaném úseku OSZ: V_f pohybuje průměrně v daných segmentech

mezi 0,06 - 0,97.

Zlomové svahy, aktivní okraje pohoří

FIGURE 10.6. Measurements of valley shapes in foot-wall blocks



Top: Valley-floor width-to-height ratio. Middle: Parameters for calculating a "V ratio." Bottom: Examples of V ratios for several valley shapes.

Tektonická geomorfologie – 29. 3. 2012, Brno

- Zlomové svahy, jejich vývoj, degradace, možnosti jejich datování
- Morfometrické metody analýzy reliéfu ovlivněného tektonickými procesy a hodnocení jejich intenzity, zarovnané povrchy a jejich různá pozice jako ukazatel potenciálních tektonických pohybů
- Paleoseismologie, výzkum prehistorických zemětřesení z geologického záznamu, rekonstrukce pohybů
- Studium paleoseismických parametrů aktivních zlomů, intenzita pohybu, průměrná rychlost pohybů, časoprostorové rozložení zemětřesení v rámci zlomu
- Geofyzikální a geodetické metody výzkumu aktivní tektoniky, přehled metod monitoringu současných pohybů

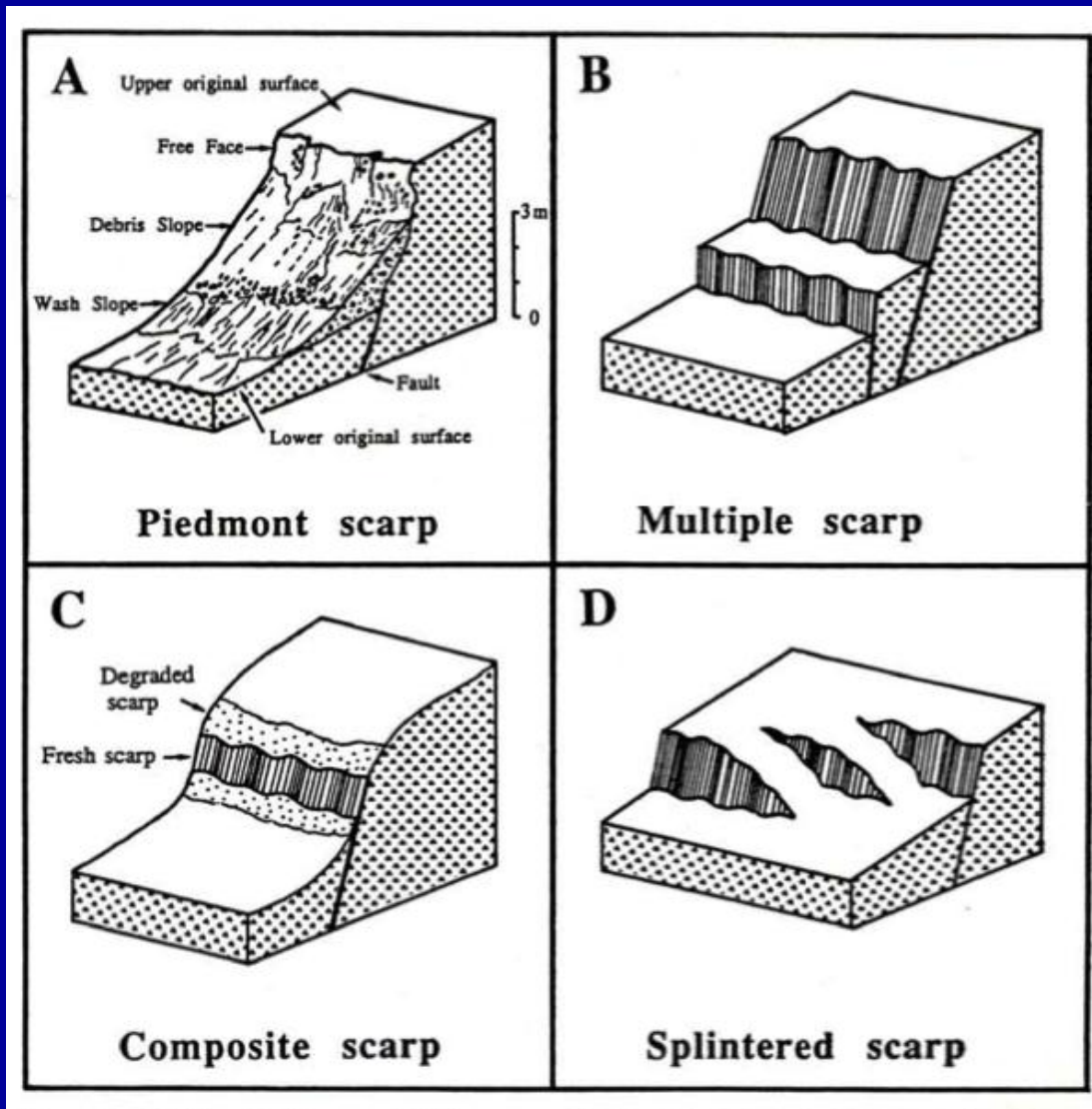
Morfologie zlomových svahů a jejich datování za použití difuzního modelu



Zlomový svah

- Tektonický tvar reliéfu – zhruba koinciduje s plochou zlomu, který porušil zemský
- Typy svahů
- Tvar svahu
- Difuzní model

Zlomové svahy



Piedmont scarp (úpatní scarp)
- vzniká v nezpevněných sedimentech jedním pohybem

Multiple scarp (n-násobný)
- vzniká na paralelních zlomech či větvích jednoho zlomu při jednom pohybu

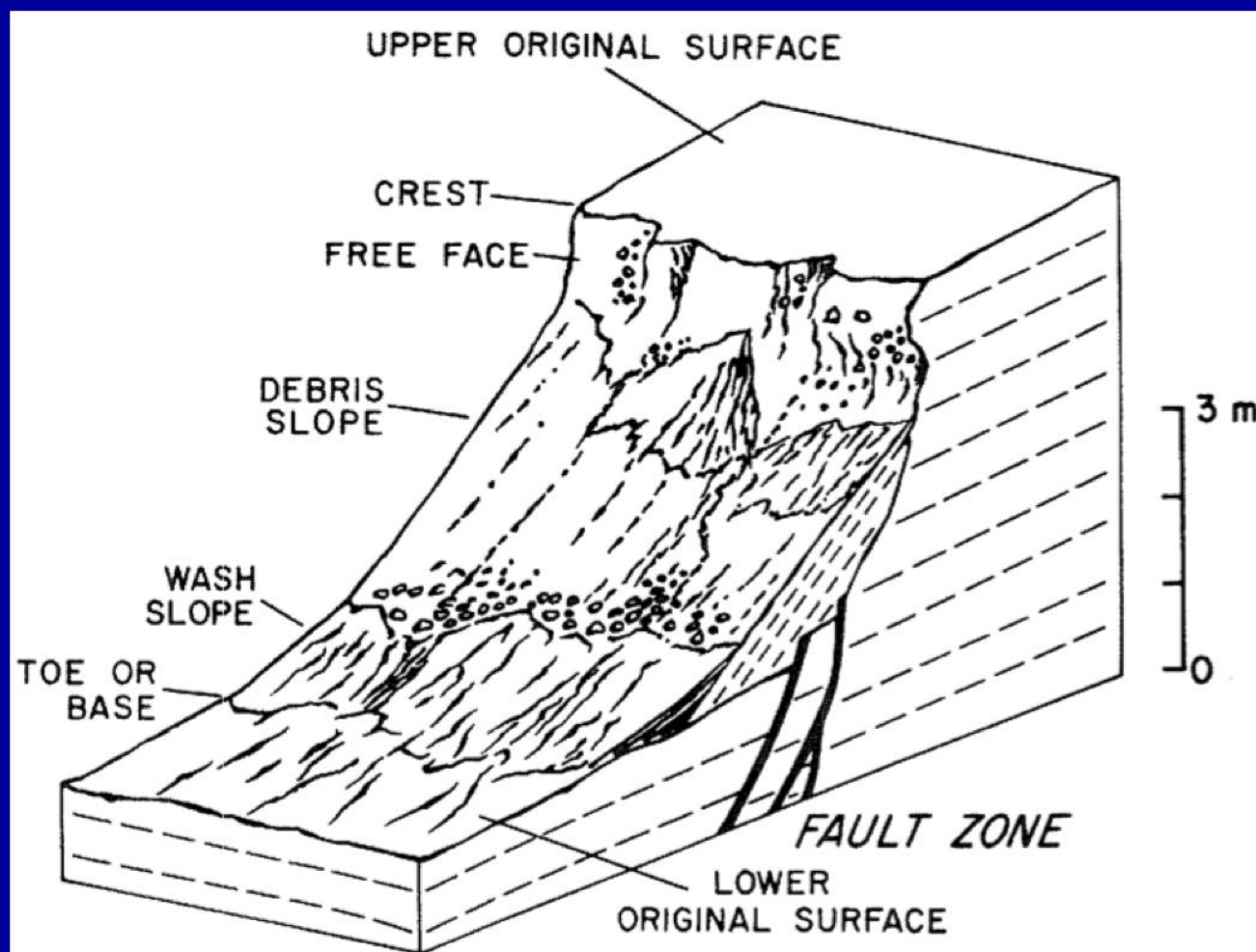
Composite scarp (složený)
- vzniká obnovením pohybů pohybů a degradací předchozích free face

Splintered scarp (rozštěpený)
- vzniká při pohybu rozloženém na en échelon segmentech zlomu

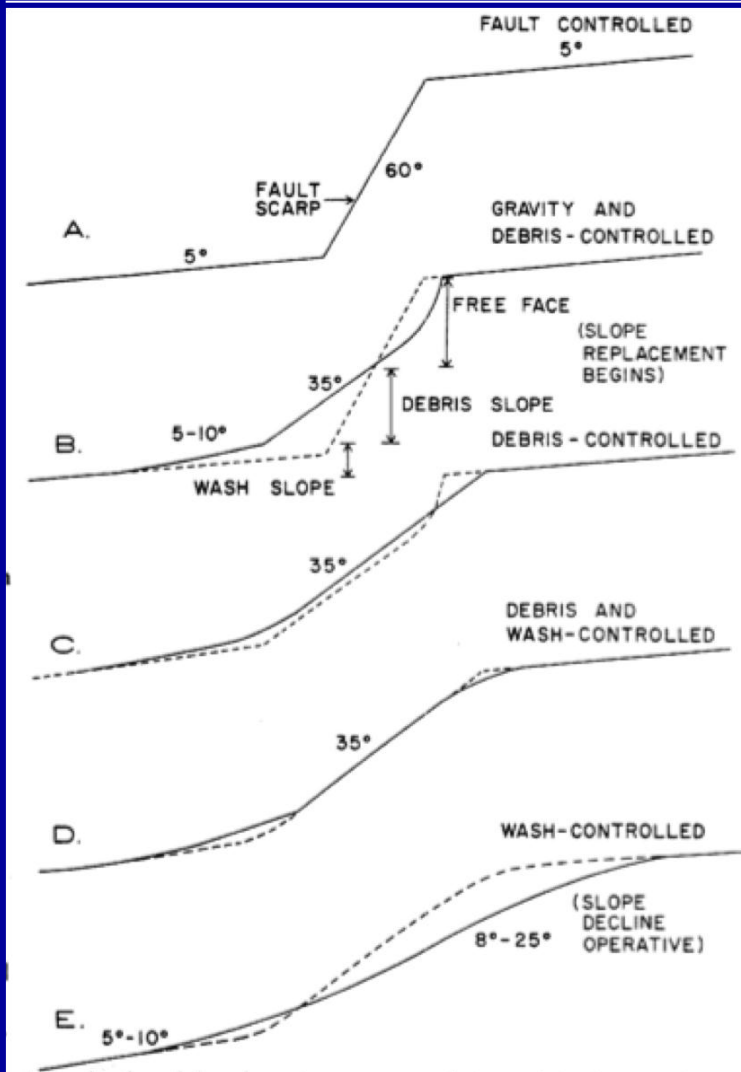
Zlomové svahy

Anatomie zlomového svahu

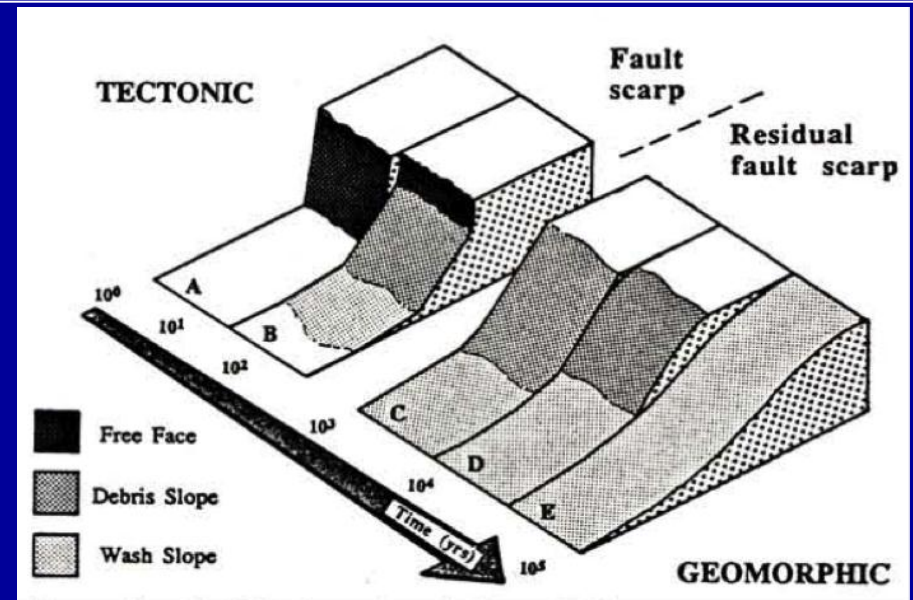
- *Toe* a *crest* - horní a spodní hrana zlomového svahu
- *Free face* - subvertikální část, obnažený zpevněný aluviální kužel nebo svahoviny, vytvořená pohybem – může držet tvar – 10-1000 let
- *Debris slope* – osypový kužel akumulovaný pod *free face* gravitací
- *Wash slope* - část svahu při úpatí řízena fluvialní erozí nebo akumulací



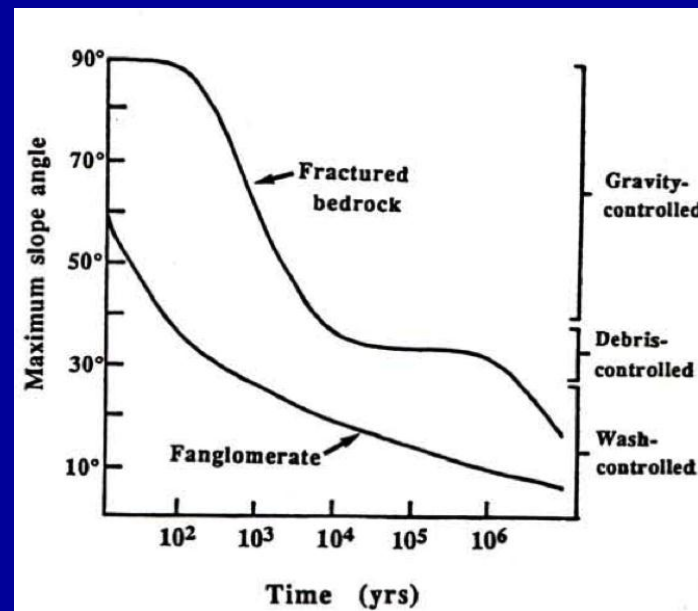
Degradace zlomového svahu



Wallace, 1977



Stewart, Hancock, 1990



Wallace, 1977

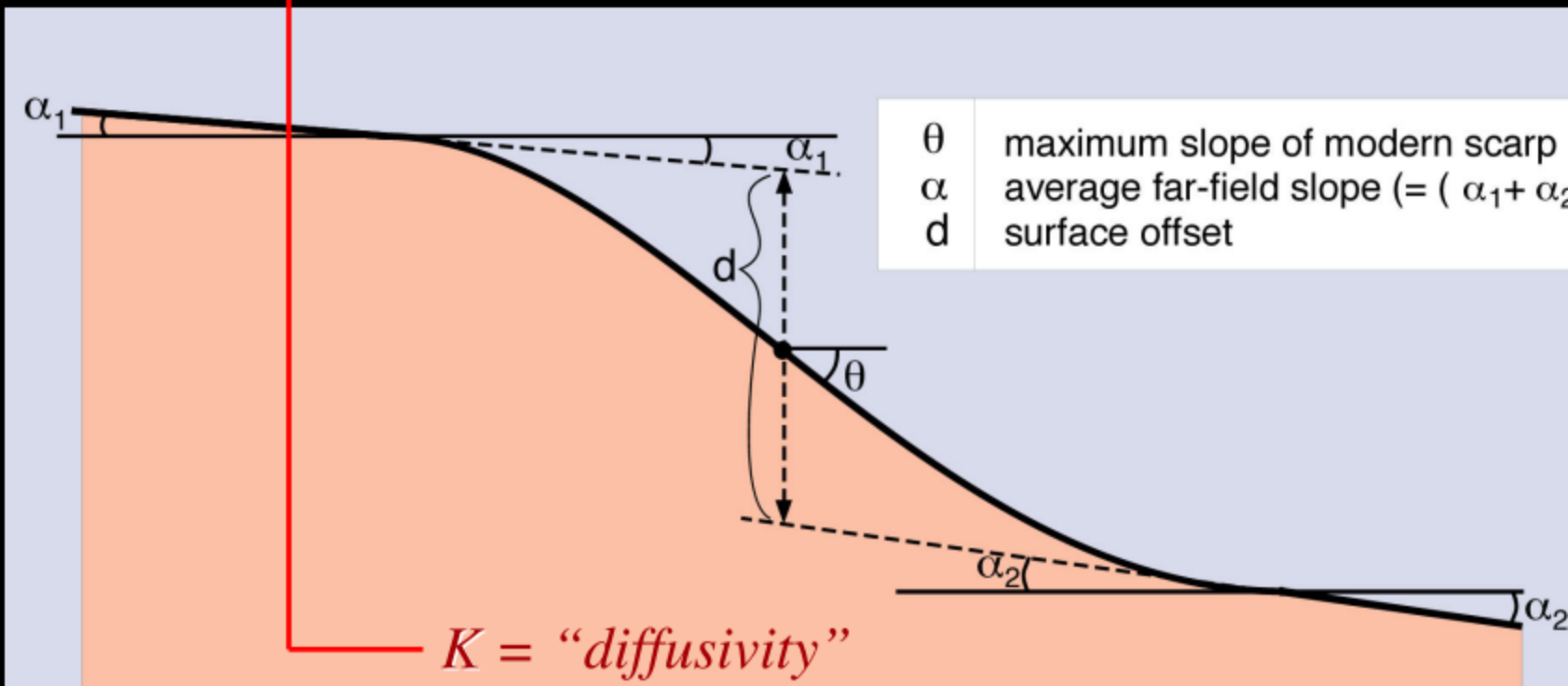
Scarp Degradation Exercise

Solution to diffusive scarp
degradation (just one example):

$$\kappa t = \frac{d^2}{4\pi} \frac{1}{(\tan \theta - \tan \alpha)^2}$$

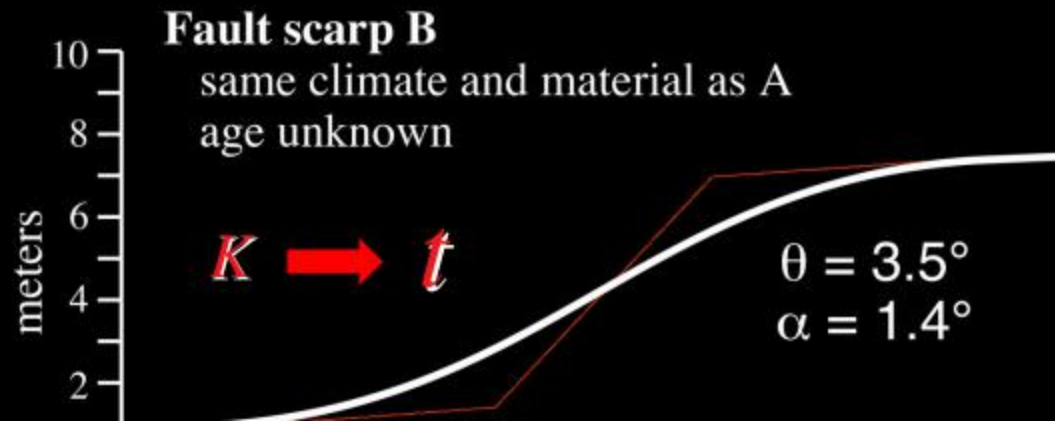
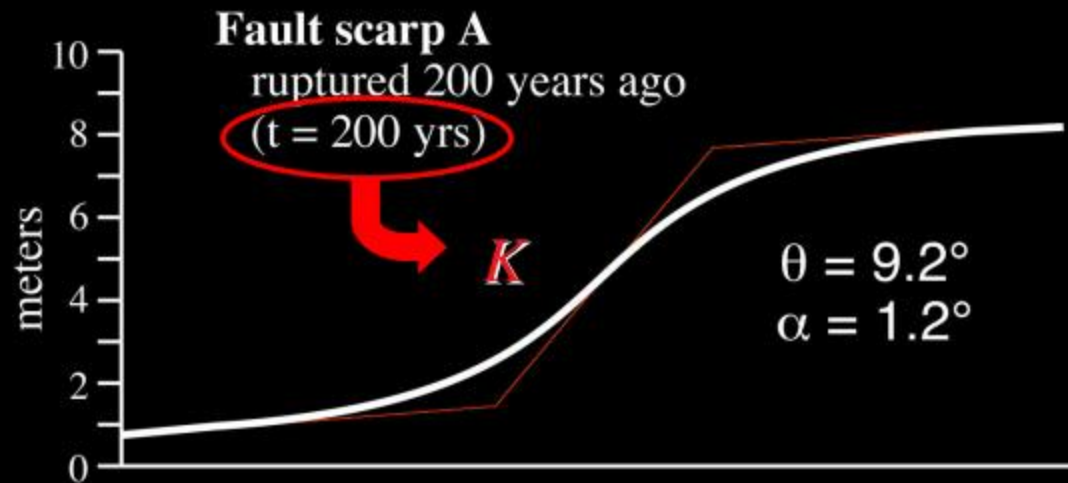
Scarp Degradation Exercise

$$\boxed{\kappa} t = \frac{d^2}{4\pi} \frac{1}{(\tan \theta - \tan \alpha)^2}$$



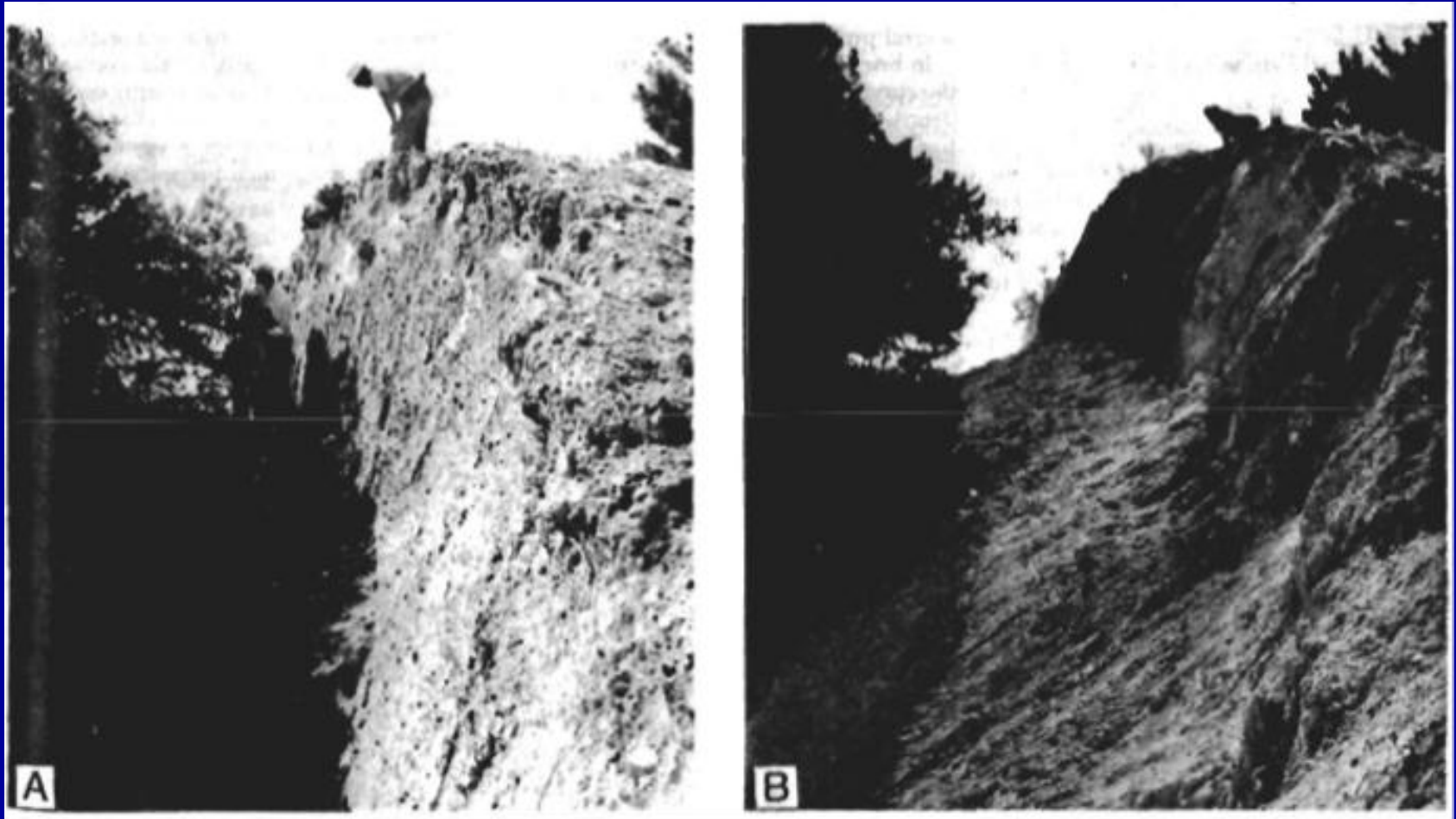
Scarp Degradation Exercise

Estimating diffusivity: The 2-scarp problem



Zlomové svahy

Fallon-Stillwater earthquake, July 6th, 1954 M 6.6



Wallace, 1977

Pictures taken from 1954 and 1974 show several meters of retreat from the free face, forming a debris-slope.

Zlomové svahy



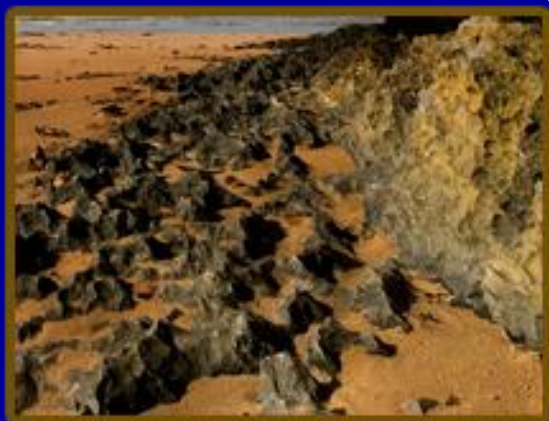
Hirschfeld



Cunningham

Faktory ovlivňující rychlost degradace

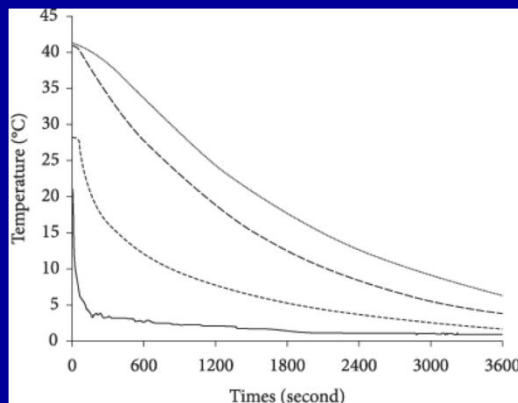
- Klima
- Výška svahu
- Topografie – sklon svahu
- Litologie
- Vegetace
- Větrná eroze



Zlomové svahy

Difuzní model

- Pohyb média z oblasti s vyšší koncentrací do oblasti s nižší koncentrací. Difuze je výsledek kinetických vlastností částic hmoty. Částice se budou směřovat až dosáhnou rovnoměrného rozložení.
- tepelný tok – termální difuze – z teplého tělesa na studené = obě vlažné
- difuze plynů - směs plynů, plyn s vyšší koncentrací – samovolně do nižší koncentrace
- difuze hmoty – analogie - fault scarp!!



Zlomové svahy

Aplikace difuzního modelu na morfologii zlomového svahu

Užitečné , kde není dostatek materiálu na datování –
morfologické datování

Rychlý, předběžný odhad stáří svahu – tzn. posledního
zemětřesení, které svah vytvořilo

Předpoklady:

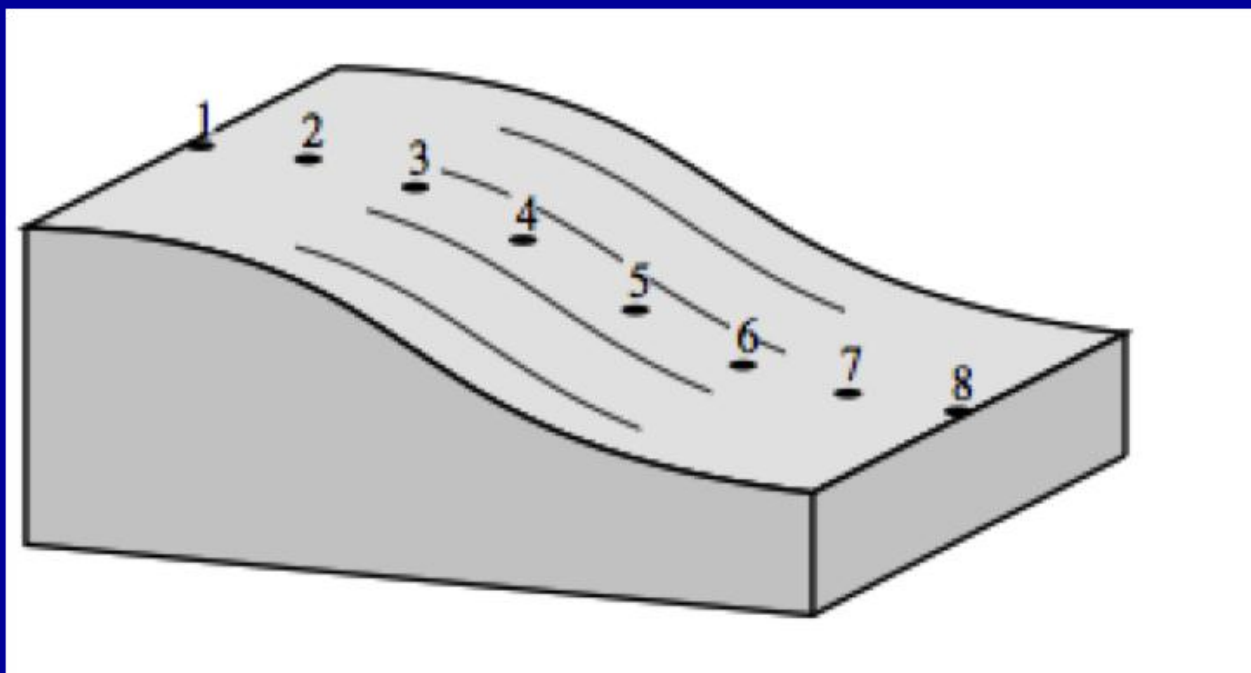
- Nezpevněné sedimenty (ne skalní horniny!) – dostatek materiálu pro transport
- Svah byl vytvořen během jednoho zemětřesení, není složený (composite)
- Free face z nesoudržného materiálu – gravitačně nestabilní, stále opadáva až do dosažení úhlu přirozené sklonitosti (angle of repose)

Zlomové svahy

Modelování difuze

- Série bodů s nadm. výškou v linii kolmé ke svahu

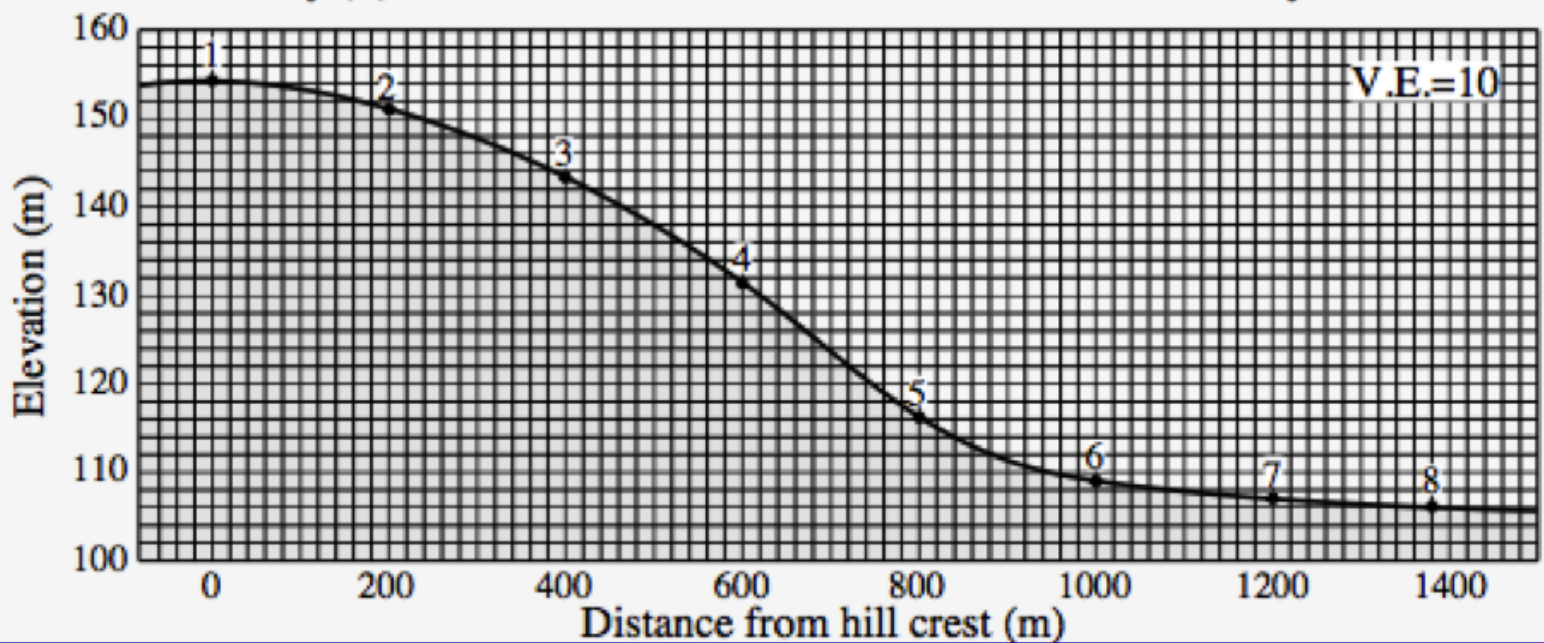
Parameter	Explanation	Units
z	elevation	meters
t	time	years
R	sediment flux rate	m ² / yr
x	horizontal position	meters
$\delta z/\delta t$	elevation change over time	m / yr
$\delta R/\delta x$	change in transport rate	m ² / yr ²
K	diffusivity	m ² / yr
$\delta z/\delta x$	slope gradient	none



- Výška + vzdálenost – příčný profil

Difuzivita K –
konstanta závisí na
klimatu a materiálu
0.1-15 m²/tis. let

Modelování vývoje svahu: Jak se změní tento svah za 1000 let s difuzivitou **50 m²/rok** ??



	1	2	3	4	5	6	7	8
Distance (m) = x =	0	200	400	600	800	1000	1200	1400
Elevation (m) = z =	154.0	151.0	144.0	131.0	116.0	109.0	107.0	106.0

	1	2	3	4	5	6	7	8
Gradient = $\frac{\partial z}{\partial x}$	0.015	0.035	0.065	0.075	0.035	0.010	0.005	

Sediment flux/transport rate
míra odnosu

$$R = K \times \frac{\partial z}{\partial x}$$

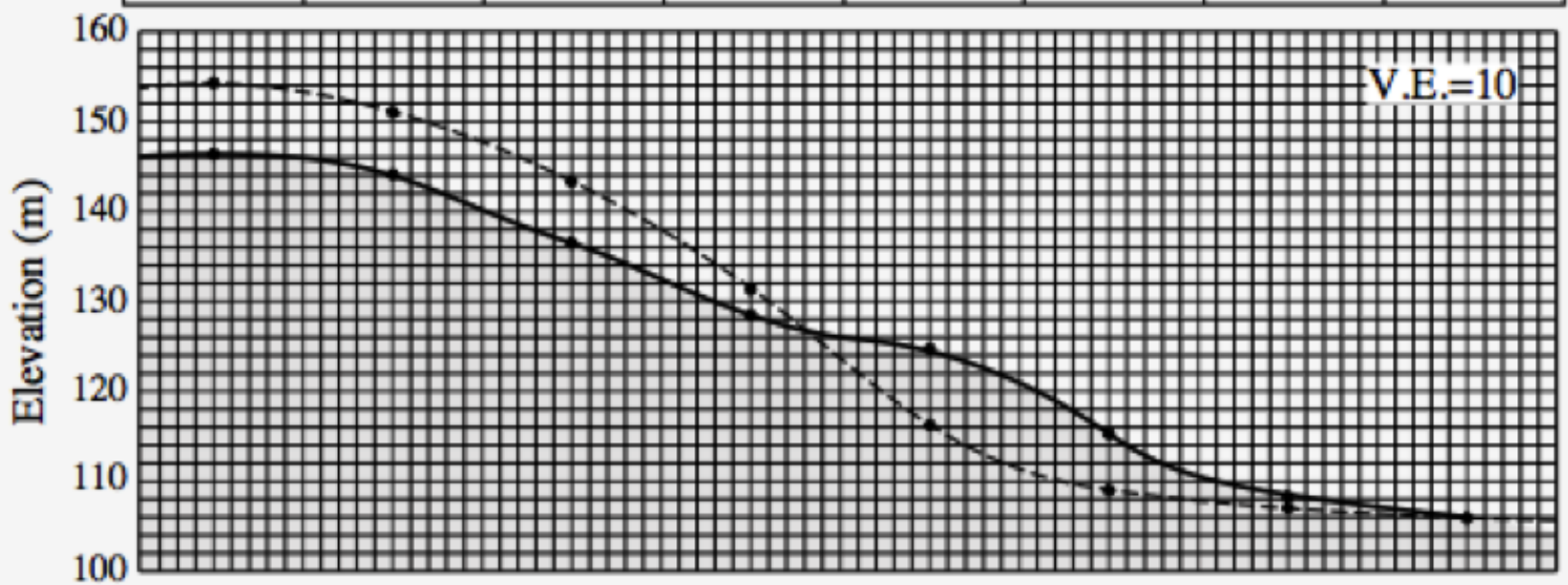
	1	2	3	4	5	6	7	8
d. transport rate = R = (m ² /yr)	0.75	1.75	3.25	3.75	1.75	0.5	0.25	

Zlomové svahy

	1	2	3	4	5	6	7	8
Sed. flux = $R \cdot 1000 \text{ yrs}$ (m^2)	750	1750	3250	3750	1750	500	250	

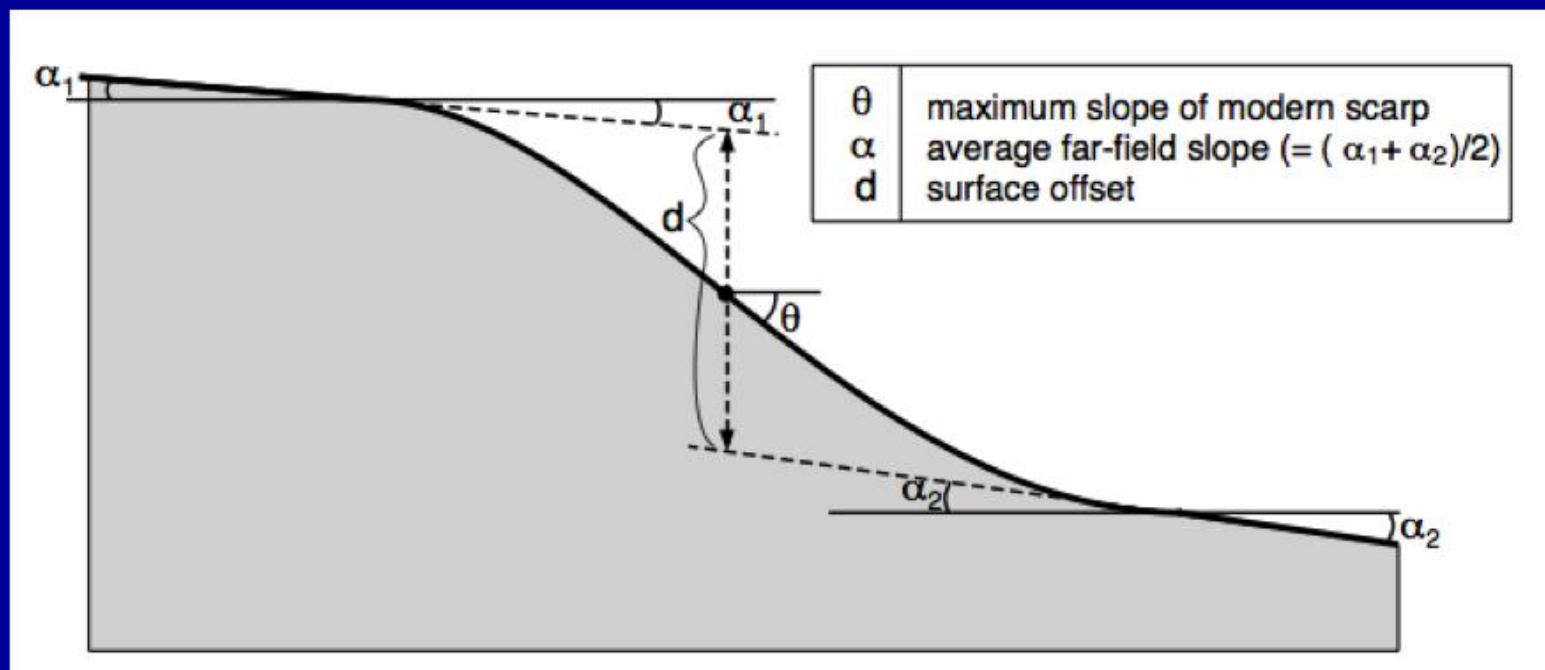
	1	2	3	4	5	6	7
Sed. gained \bar{x} sed. lost (m^2)	-1500*	-1000	-1500	-500	+2000	+1250	+250
Elevation change (m)	-7.5	-5.0	-7.5	-2.5	+10.0	+6.25	+1.25

	1	2	3	4	5	6	7	8
NEW elevation (m)	146.5	146.0	136.5	128.5	126.0	115.25	108.25	106.0



Zlomové svahy

Difuzní model



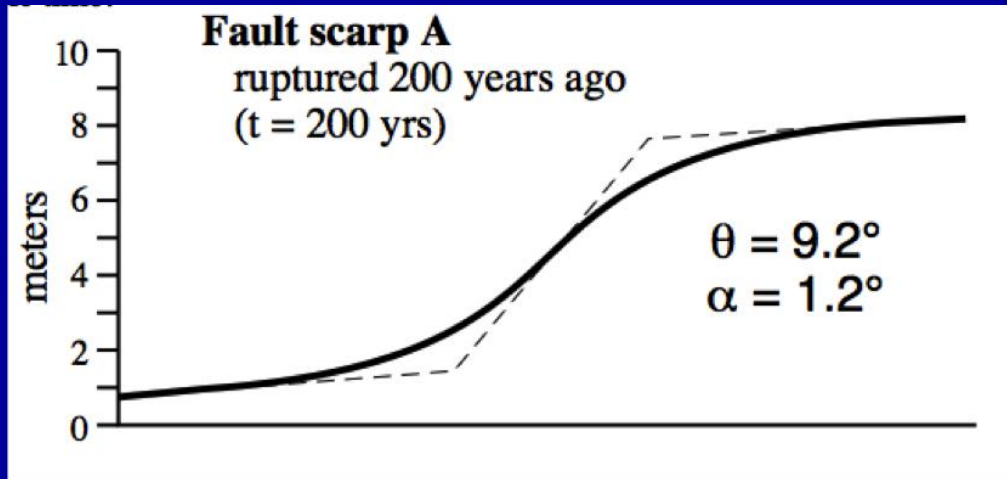
$$\kappa t = \frac{d^2}{4\pi} \frac{1}{(\tan \theta - \tan \alpha)^2},$$

Parameter	Explanation	Units
d	vertical displacement on a scarp	meters
π	pi = 3.14159	none
θ	maximum scarp slope angle	degrees
α	average far-field slope angle	degrees

Zlomové svahy

$$K t = \frac{d^2}{4\pi} \frac{1}{(\tan \theta - \tan \alpha)^2},$$

Zlomový svah o známém stáří



- $K = [(6^2/4\pi) \times 1/(\tan 9.2 - \tan 1.2)^2] / 200$

$$= [(28.27) \times 50.29] / 200$$

- $K = 7.12$

Zlomové svahy

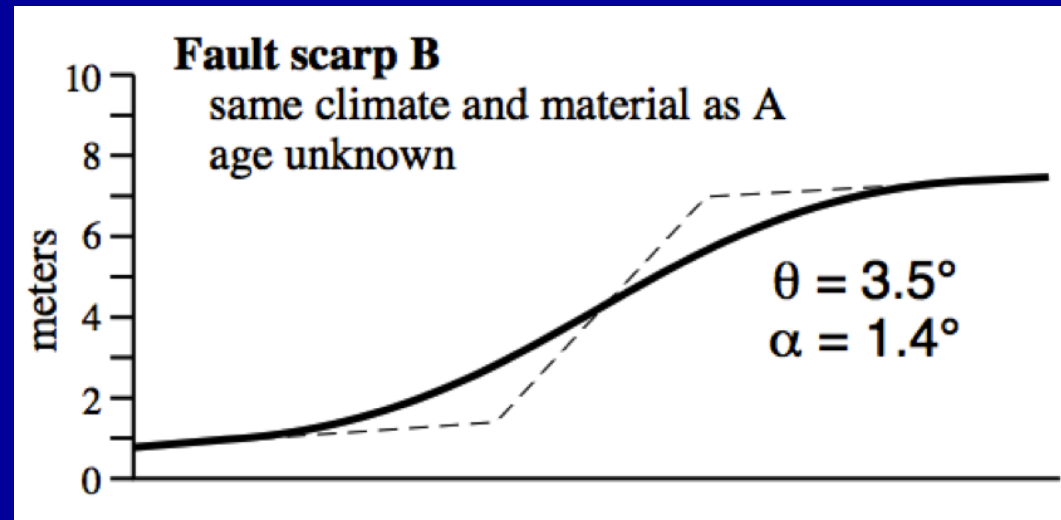
$$\kappa t = \frac{d^2}{4\pi} \frac{1}{(\tan \theta - \tan \alpha)^2},$$

Zlomový svah neznámého stáří v podobném klimatu i materiálu

$$- t = [(6^2/4\pi) \times 1/(\tan 3.5 - \tan 1.4)^2] / 7.12$$

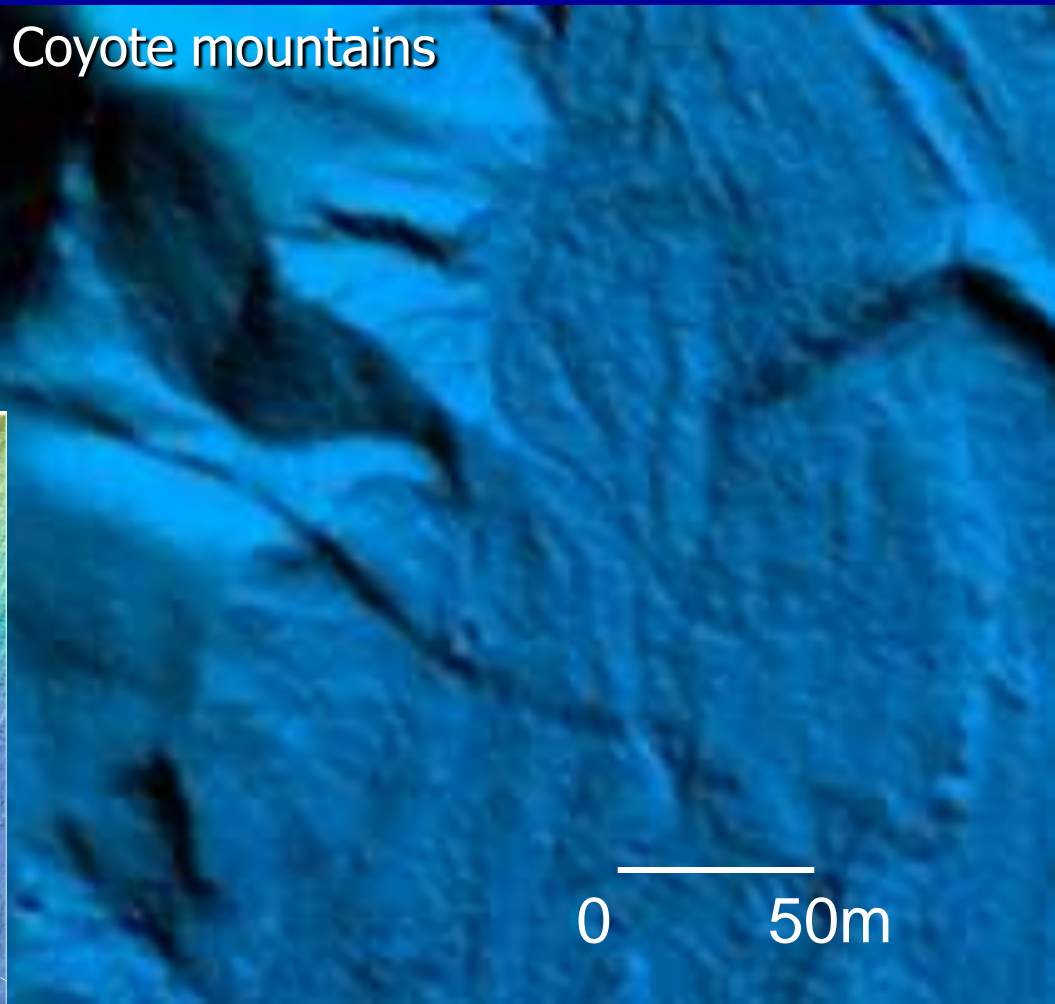
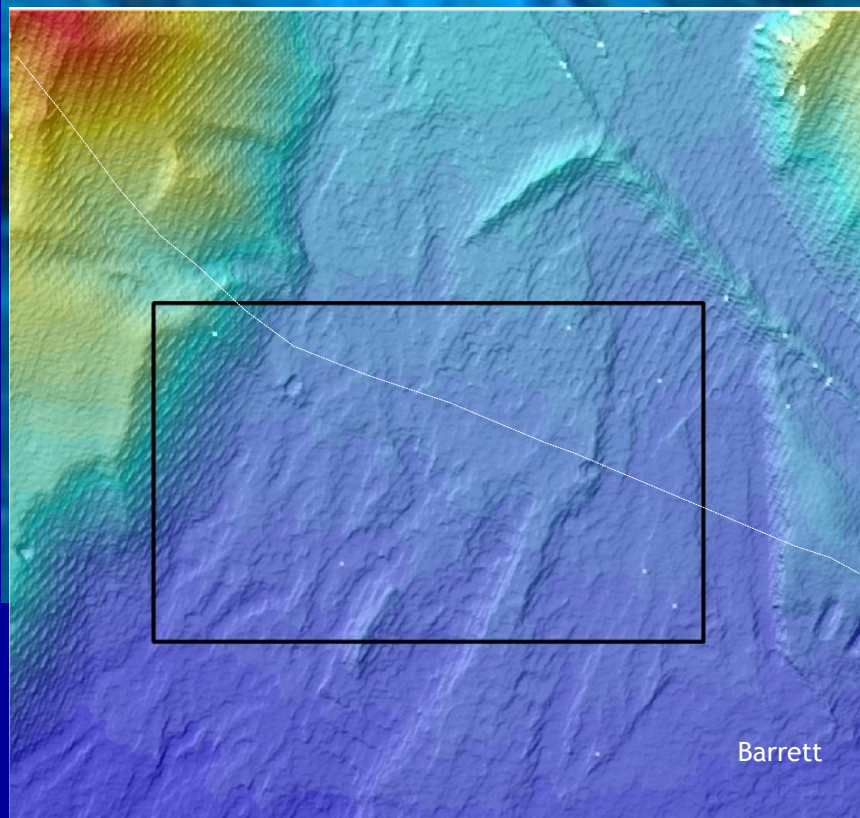
- $t = [(28.27) \times 741.5] / 7.12$

$$- t = \underline{2\,944 \text{ yrs}}$$



Zlomové svahy

Elsinore fault, Alverson canyon, Coyote mountains

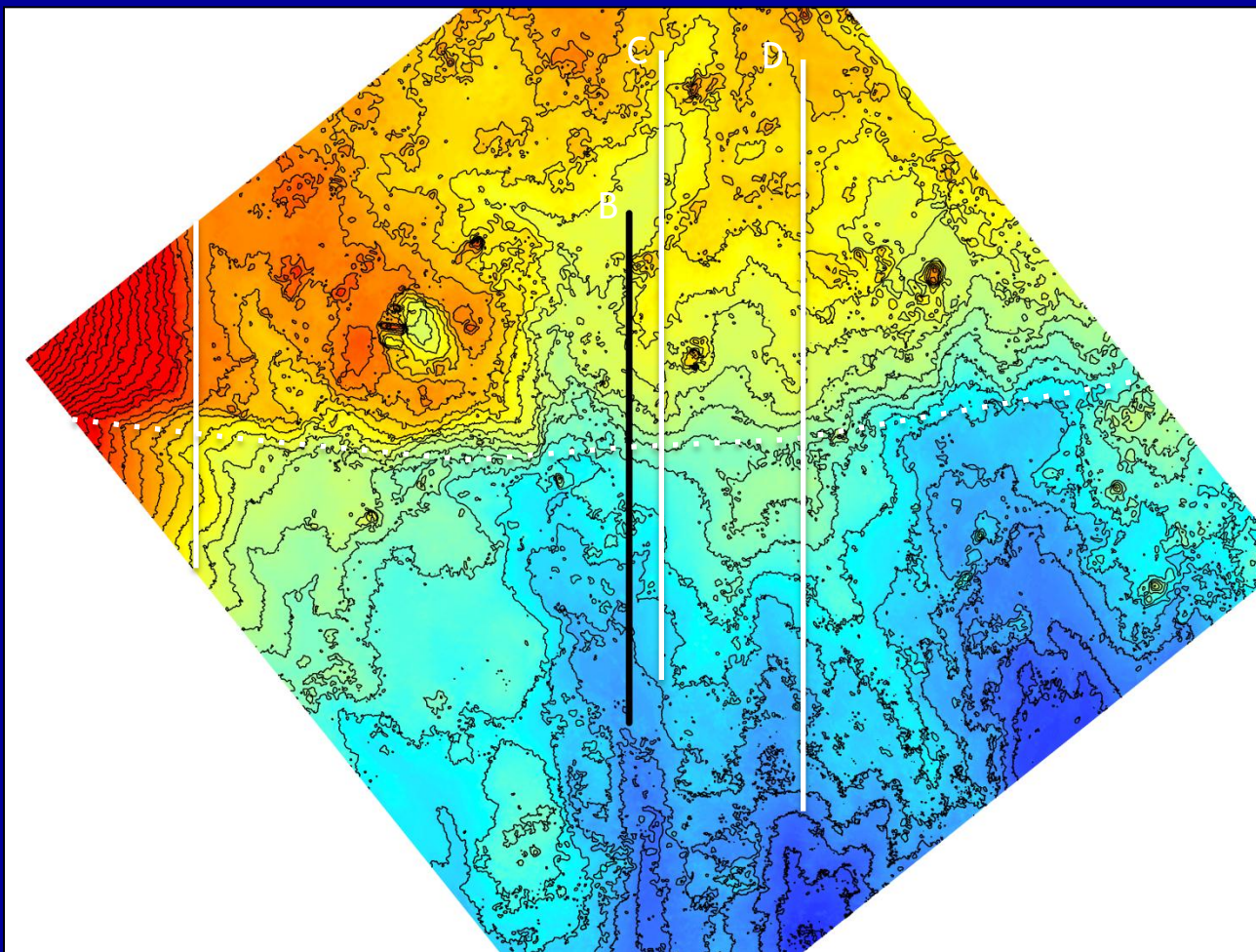


offset channels and bars

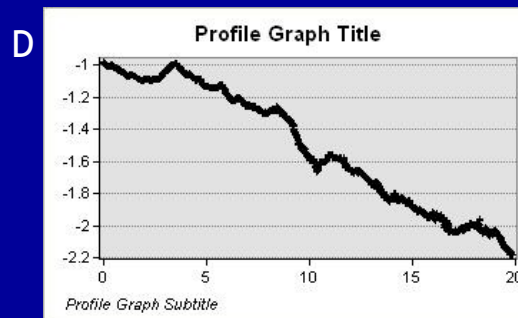
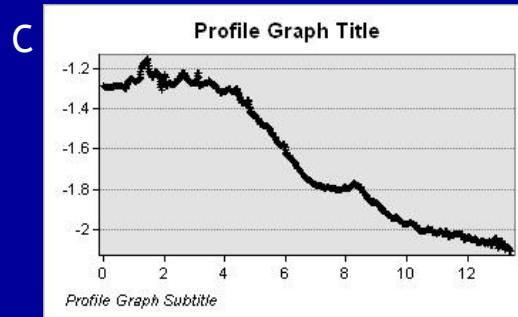
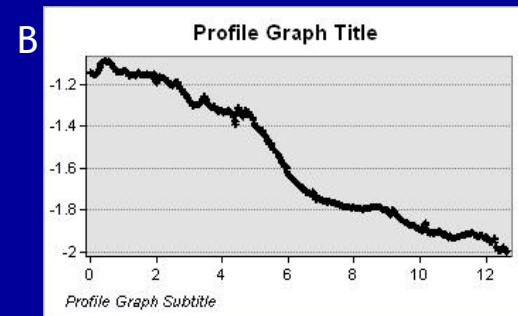
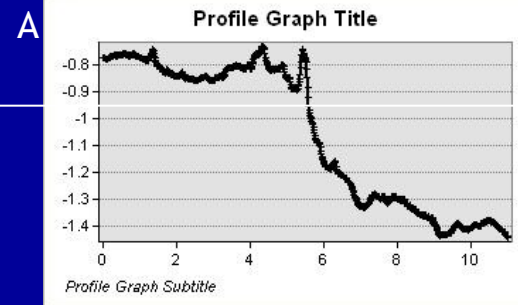


Zlomové svahy

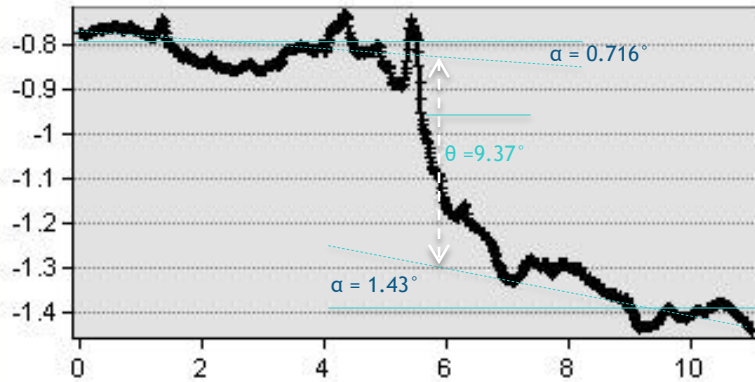
Elsinore fault



Barrett

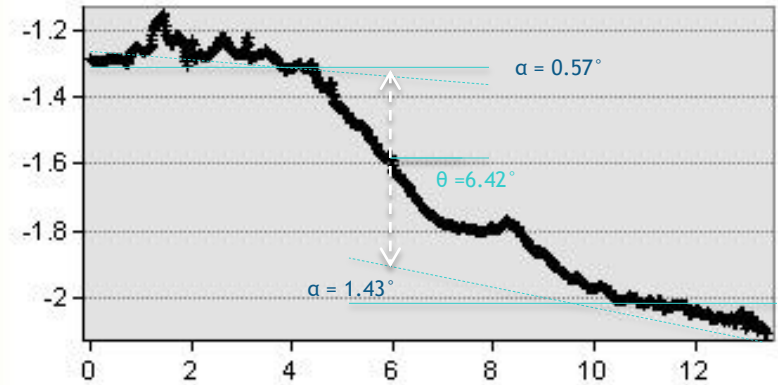


Profile Graph Title



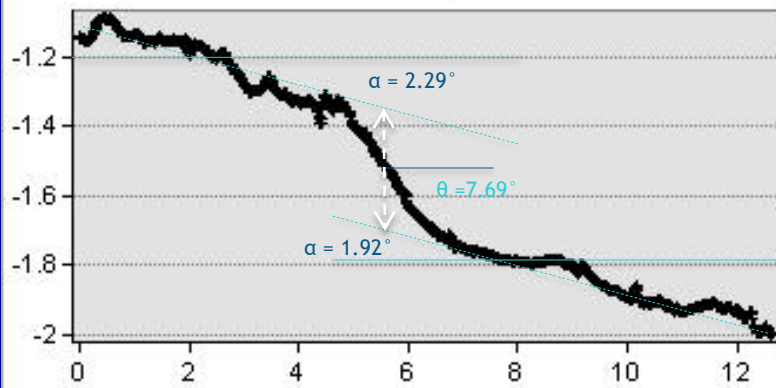
Profile Graph Subtitle

Profile Graph Title



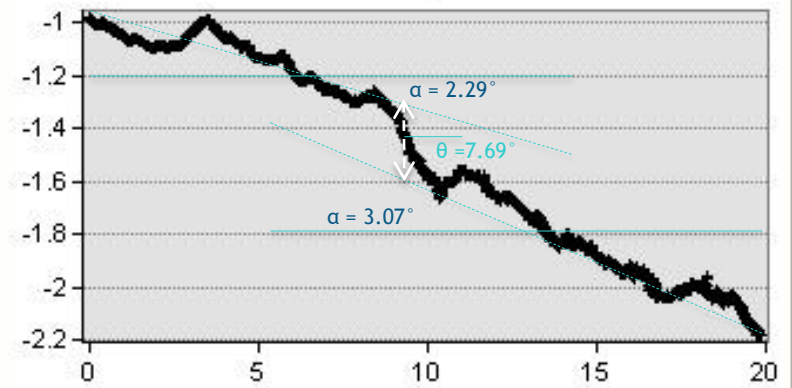
Profile Graph Subtitle

Profile Graph Title



Profile Graph Subtitle

Profile Graph Title



Profile Graph Subtitle