

Hledání dokladů velkých prehistorických
zemětřesení v geologickém záznamu.

Můžeme je najít i u nás?

RNDr. Petra Štěpančíková, Ph.D.

Něco o mně ...

Petra Štěpančíková – nar. 1976 ve Valašském Meziříčí

Vzdělání:

1992-1995 Arcibiskupské gymnázium v Kroměříži

1995-2001 PŘF Univerzity Karlovy v Praze, obor Geografie a kartografie

Bc. a Mgr. v oboru fyzická geografie, bakalářská práce (1998):

„Vliv tektoniky na říční údolí v Českém masívu v české literatuře 20. století“

diplomová práce (2001):

“Vliv disjunktivní tektoniky na vývoj údolí Janovického potoka a přilehlého úseku Sázavy”

2001-2007 Ph.D. v oboru fyzická geografie, PŘF Univerzity Karlovy v Praze

doktorská disertační práce (2007):

“Morfostrukturní vývoj severovýchodní části Rychlebských hor”



Odborné zájmy: tektonická geomorfologie, aktivní tektonika, paleoseismologie, dlouhodobý vývoj reliéfu, chování aktivních zlomů

Zaměstnání:

2000 - dosud - Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR v.v.i, Praha,

2000-2014 oddělení Inženýrské geologie,

2015 - založila oddělení Neotektoniky a termochronologie, vedoucí

Výuka:

Vedení bakal., magist. a doktor. prací

Lektorka 3 denního kurzu Tectonic geomorphology, UNAM Querétaro, Mexico (květen 2011)

Výuka na Masarykově Univerzitě v Brně, Geografický ústav - semestrální výběrový předmět Tektonická geomorfologie, 2012, 2014, 2016, 2018

Výuka na Arba Minch University, Etiopie, Tectonic Geomorphology and paleoseismology (forma krátkého kurzu 2014, 2015, 2016) v rámci projektu České rozvojové agentury při MZV ČR

Zahraniční stáže a pobyty

- Duben - červenec 2003, studium na University of Camerino, Itálie (Erasmus); geomorfol. mapování v tektonické pánvi Colfiorito v centrálních Apeninách
- Září 2003, AIQUA 8. letní škola kvarterní geologie, Aquila, Itálie, zaměřená na tektonické mezihorské pánve
- Duben 2005, European Advanced School on Active Tectonics, ICTP, Trieste, Itálie
- Listopad 2005, stáž a účast na paleoseismologických pracech na zlomu Carboneras, Almería, Španělsko, Dpt. de Geodinàmica i Geofísica, Universitat de Barcelona
- Červen 2006, Annual International Summer School on Rockslides and Related Phenomena in the Kokomeren River Valley (Kyrgyzstan); velké sesuvy způs. zemětřeseními
- Leden 2008, paleoseismologické práce na zlomu Carboneras, Almería, Španělsko
- Duben 2009, paleoseismologické práce na zlomu Alhama de Murcia, Murcia, Španělsko
- Prosinec 2009, Advanced School on Earthquakes Engineering in Nuclear Facilities, ICTP, Terst, IT
- Leden - březen 2010, stáž na San Diego State University, California; terénní a LiDARové mapování zlomu Elsinore (součást zóny San Andreasu); paleoseismol. práce na zlomu Imperial
- Duben 2011, stáž na San Diego State University, Kalifornie, terénní práce na zlomu Elsinore, mapování petrol. Složení výplavových kuželů posunutých zlomem
- Květen 2011, pobyt na UNAM Querétaro, Mexiko, paleoseismologický výzkum v rámci společného projektu ve zlomové zóně Acambay, přednášení krátkého kurzu *Tectonic geomorphology*
- Květen 2012, paleoseismologické práce na transformním zlomu Mrtvého moře, Izrael
- 2012-2015 - hlavní řešitel česko-amer. projektu na křivní zlomy, monitoring pohybů na zlomech v zóně San Andres - až dosud, každoroční terénní práce v jižní Kalifornii
- Říjen 2013, UNAM Querétaro, Mexiko, paleoseismologický terénní výzkum v rámci společného projektu ve zlomové zóně tektonické pánve Acambay.

„Od dětství mě bavila vlastivěda, pozorování plujících oblak a krajiny z okna při cestování, ráda jsem „četla“ mapy a přitom cestovala prstem po mapě. Také mě fascinovalo to, co dokáží na zemském povrchu vytvořit dlouhodobou činností tekoucí voda, vítr, ledovec... a hlavně, co dokáže síla zemětřesení a sopečné činnosti.

A tak jsem začala studovat obor Geografie a kartografie, fyzickou geografii, objevila geomorfologii, nakonec i tektonickou geomorfologii a po letech i paleoseismologii ... vše se tedy nakonec propojilo... 😊

Chtěla bych vás, všechny studenty, povzbudit, abyste se nikdy nevzdávali svých snů a šli si za tím, co vás baví a máte pro to vlohy, protože to má, jak jsem přesvědčena, svůj smysl a věřím, že vás to dovede na místo, které budete cítit, že je to vaše pravé, i kdyby po cestě bylo tisíce překážek a pochybností, třeba, zda to zvládnete či zda se tím užíváte apod.“

Obsah této prezentace

1. Paleoseismologie jako nástroj pro hledání dokladů starých zemětřesení v geologickém záznamu
2. Paleoseismický výzkum v České republice, na příkladu výzkumu na Mariánsko-lázeňském zlomu

1. Paleoseismologie

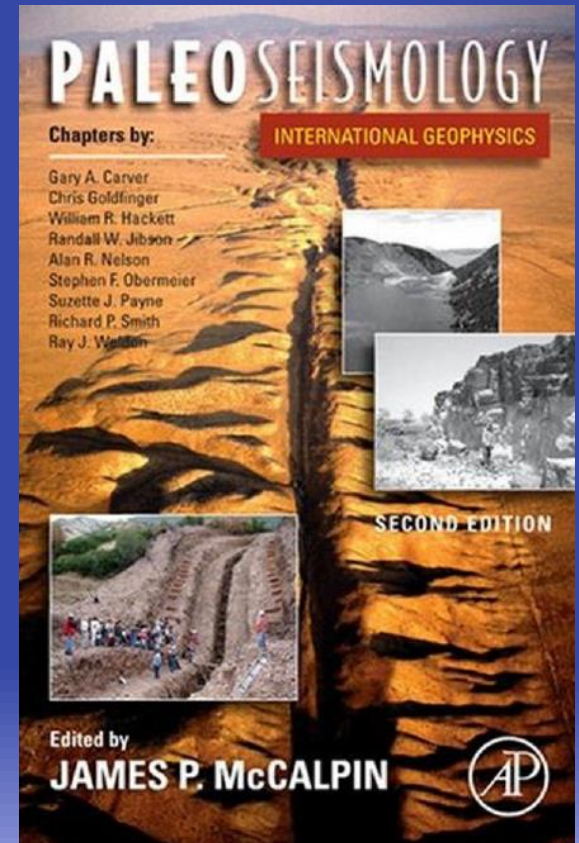
Co? - zkoumá chování seismogenních zlomů v minulosti

Paleoseismologie studuje prehistorická zemětřesení - jejich výskyt v prostoru, čase a jejich velikost.

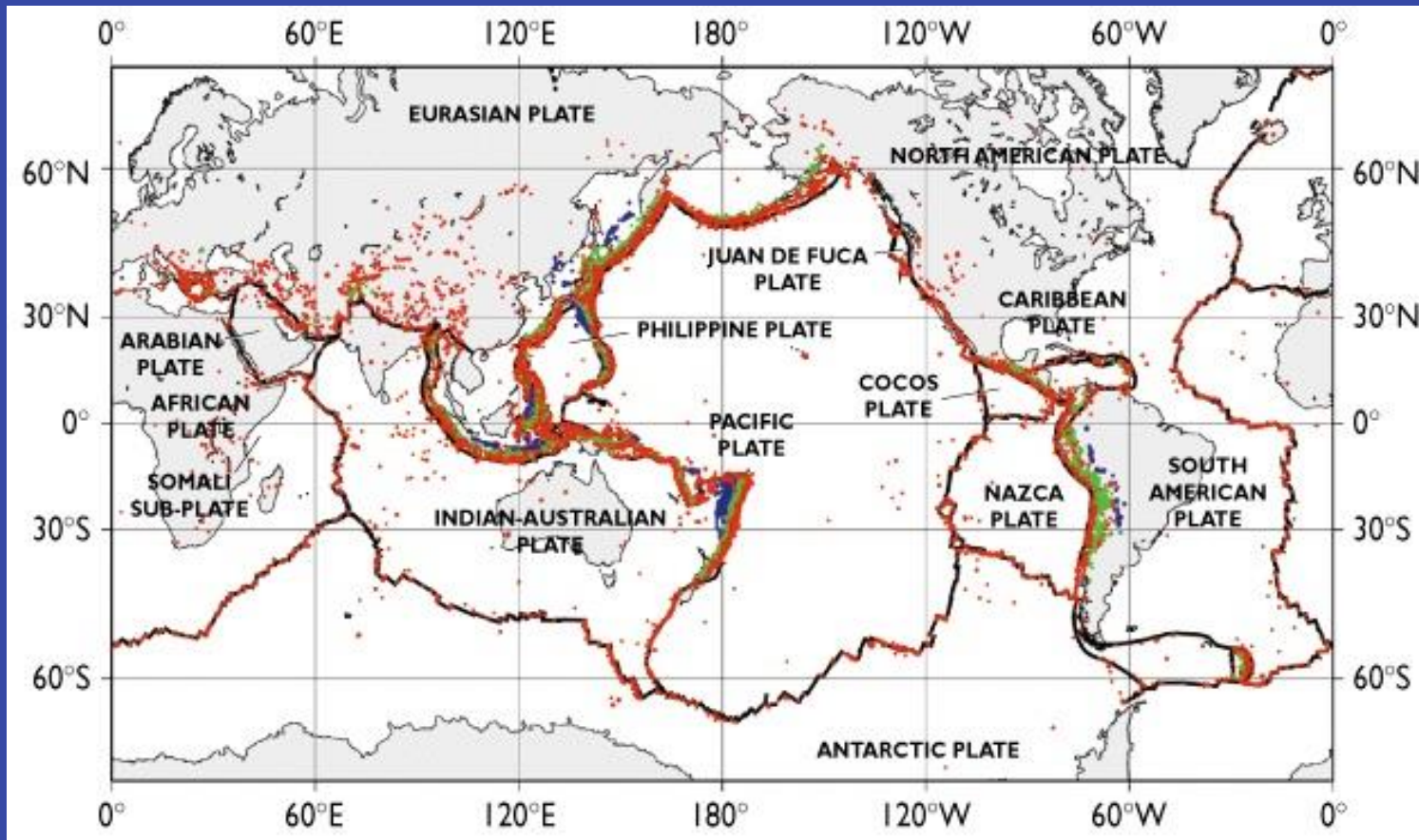
Seismologové - pracují s daty naměřenými instrumentálně během zemětřesení

X

Paleoseismologové interpretují **geologické jevy** vyvolané během jednotlivých zemětřesení, a to i starých



Proč?



Současná seismicita - vázána na rozhraní litosférických desek, někde i ve vnitroděskových oblastech

V posledních desetiletích - katastrofická zemětřesení i v oblastech na tektonických zlomech bez známé současné či historické seismicity - překvapení? Avšak výzkum chování těchto zlomů v geologické minulosti ukázal, že zde k zemětřesením docházelo opakovaně (seismický cyklus), avšak s delším s delším intervalem opakování (recurrence)

Většina zemí - záznam zemětřesení pouze několik stovek let (historická a instrumentální seismicita)

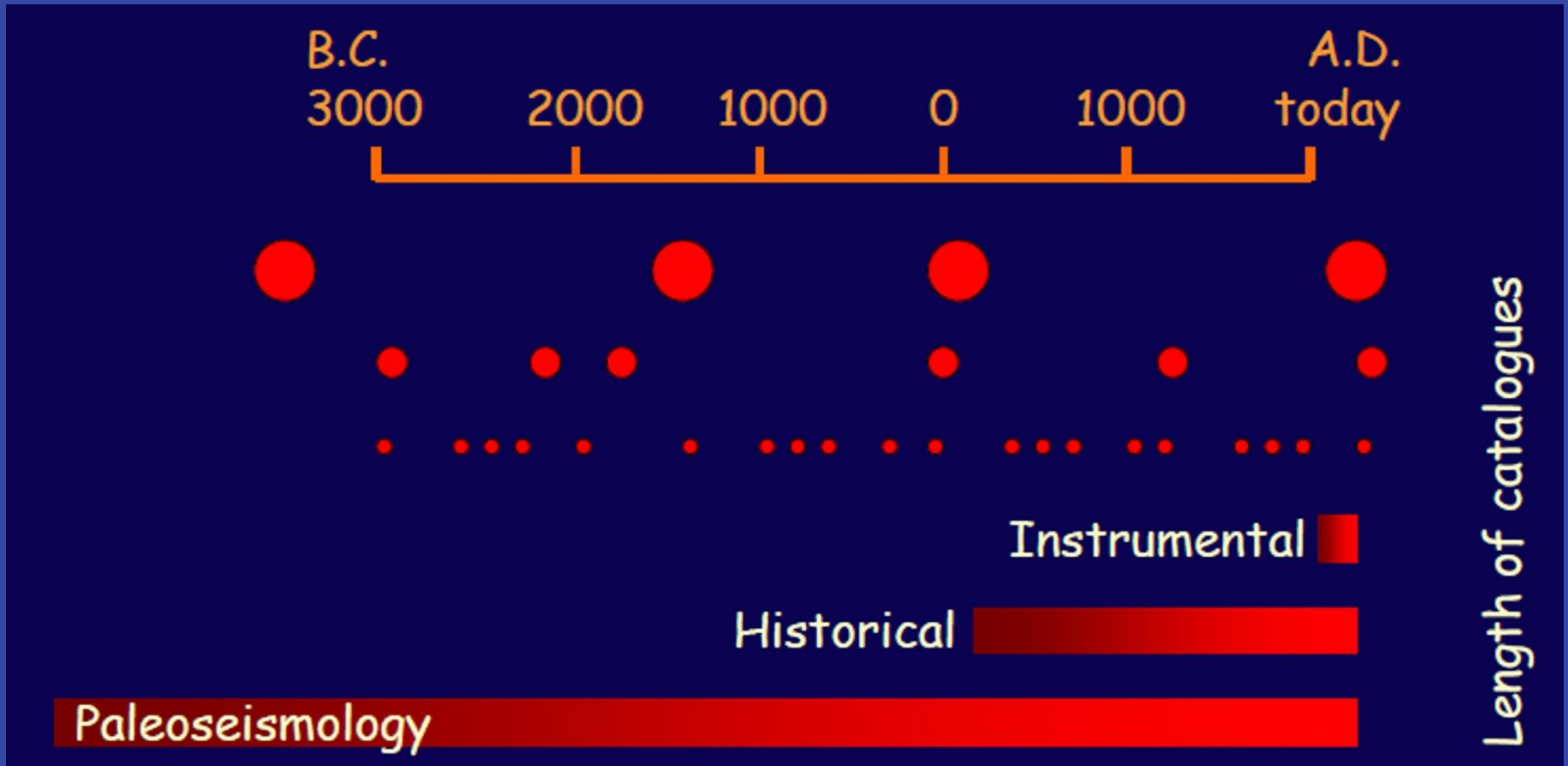
Naproti tomu máme aktivní zlomy, projevující se v geologii a morfologii - tedy nějakou dobu na nich pohyby již musely působit, ale jsou bez historického záznamu velkých zemětřesení

Čína a Střední Východ - písemný záznam tisíc a více let, přesto nedostatečný na zaznamenání zemětřesení na všech seismogenních zlomech; tzn. zlom aktivní milióny let - i 3tis let zahrnující záznam pokrývá pouze zlomek historie zlomu!

Hodnocení seismického ohrožení založené pouze na krátkém historickém záznamu - může přinést 2 problémy

❖ přecenění pravděpodobnosti budoucího zemětřesení na zlomu, na kterém došlo k velkému zemětřesení v historické době, ale má dlouhý recurrence interval (nyní je ve skutečnosti ve fázi uvolnění energie)

❖ podcenění v oblastech, kde jsou zlomy seismogenní, ale není historický záznam (může být ve fázi akumulace napětí, který může být uvolněno-
neznámo kdy)

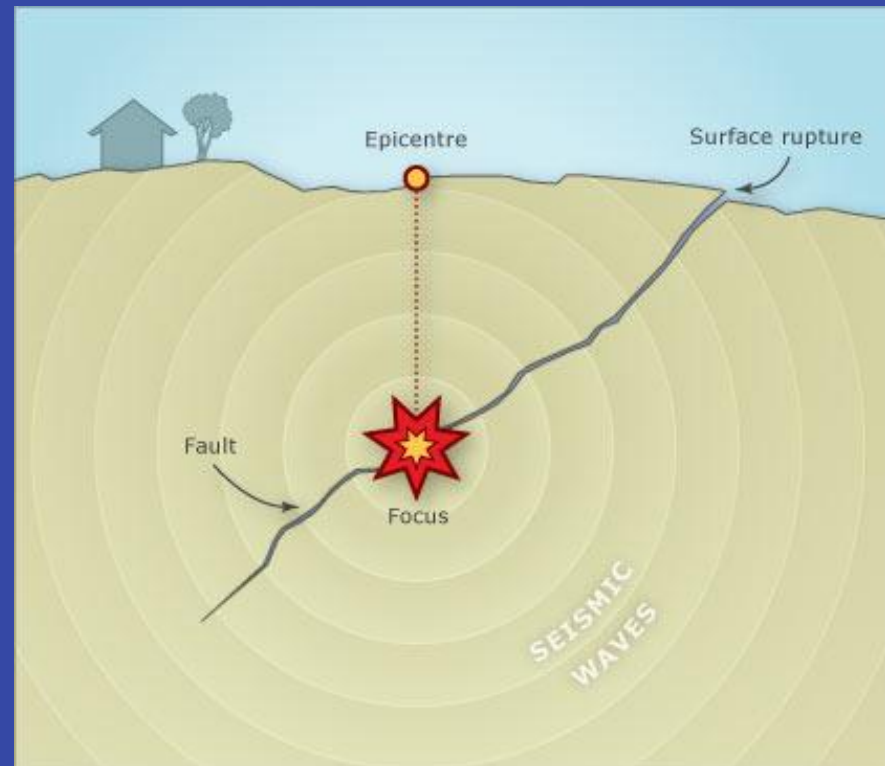


Červené tečky pod časovou osou znázorňují zemětřesení úměrně jejich velikosti, tedy čím větší zemětřesení, tím menší je jeho frekvence výskytu



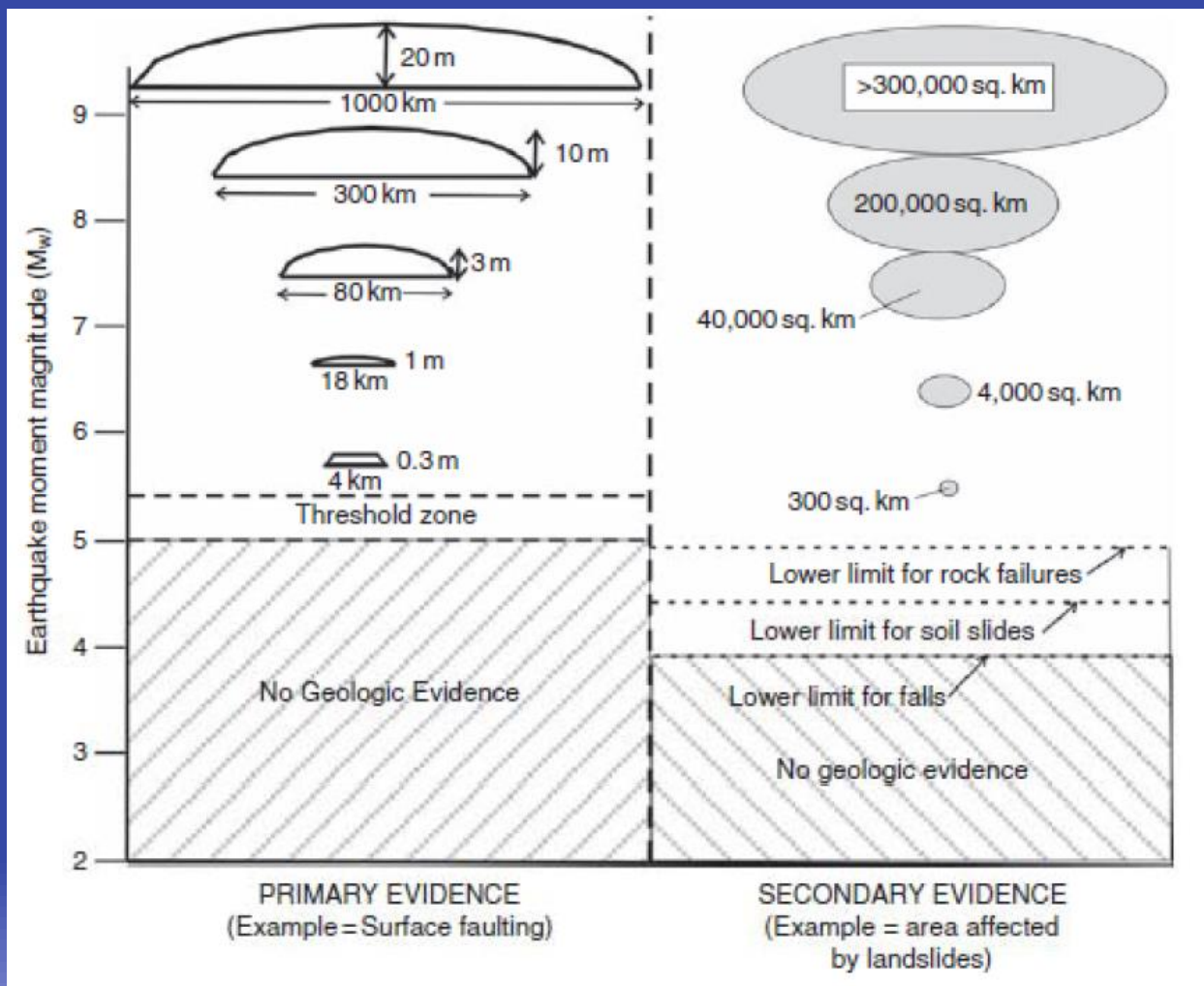
paleoseismologie rozšiřuje záznam zemětřesení směrem do minulosti, katalogy historických zemětřesení jsou často příliš krátké ve srovnání s průměrným „recurrence time“

Zakládáme na předpokladu, že pouze zemětřesení větší než **Magnitudo M= 6** může vytvořit permanentní deformaci na povrchu → topografická nerovnováha → nové procesy eroze a akumulace → nové formy a struktury → vznik geologického záznamu zemětřesení

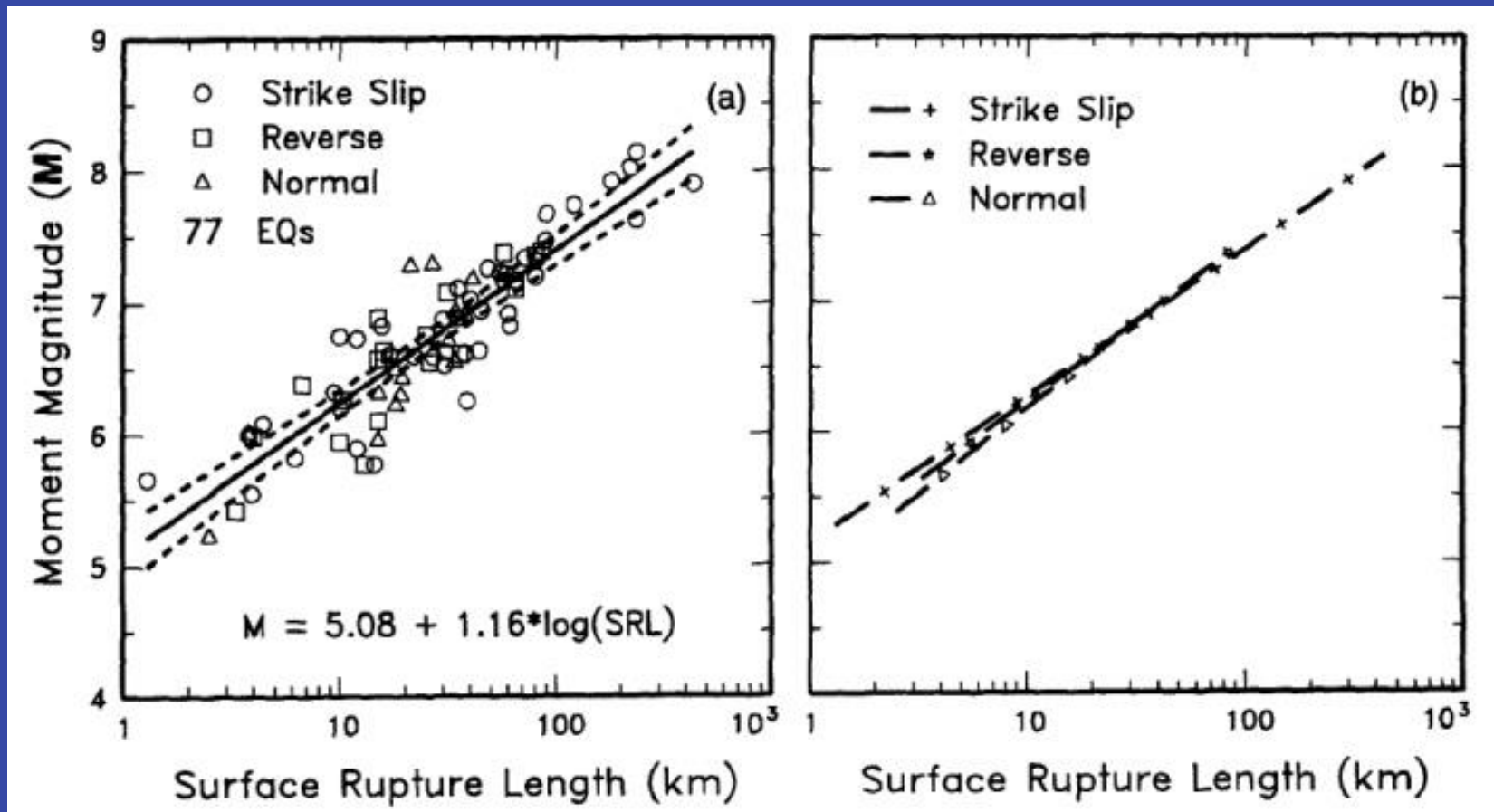


Menší zemětřesení - geologický projev se zřídka kdy vytvoří či zachová
Záleží na typu zlomů - např. **poklesy** potřebují $M \geq 6,3$, aby se pohyb přenesl z ohniska v hloubce až na povrch v projevu posunu a porušení povrchu (viz též obr. vpravo u **přesmyku**);
horizontální posuny v Kalifornii, viditelné na povrchu, od $M = 6,25-6,5$

Existují empirické vztahy - byly odvozeny z historických zemětřesení i s menším Magnitudem - prehistorická zemětřesení - lze studovat pouze ta s větším M, protože menší nezanechala po sobě v geologickém záznamu stopy

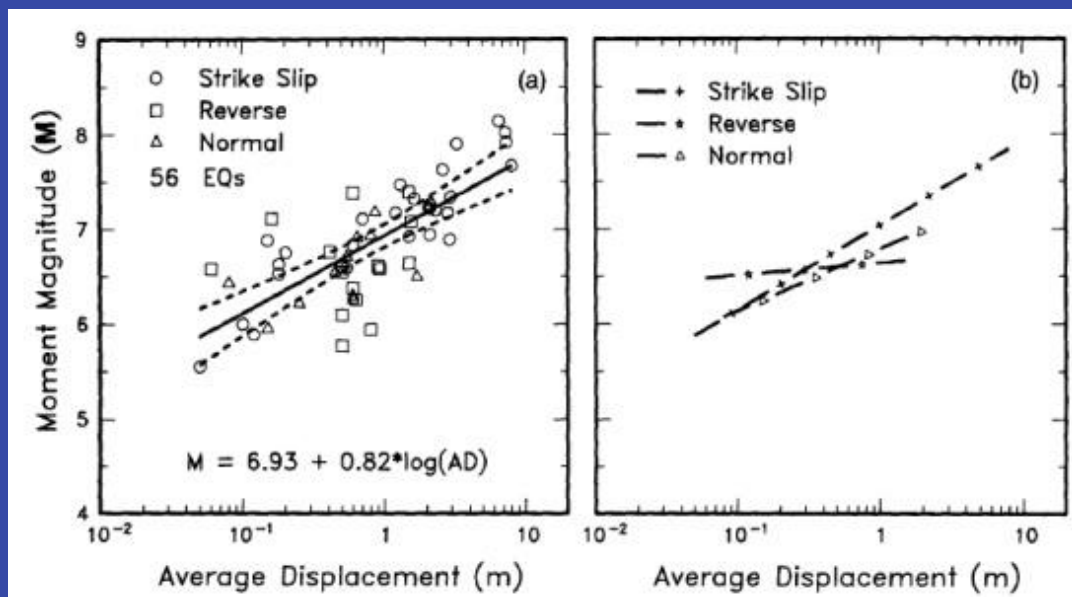
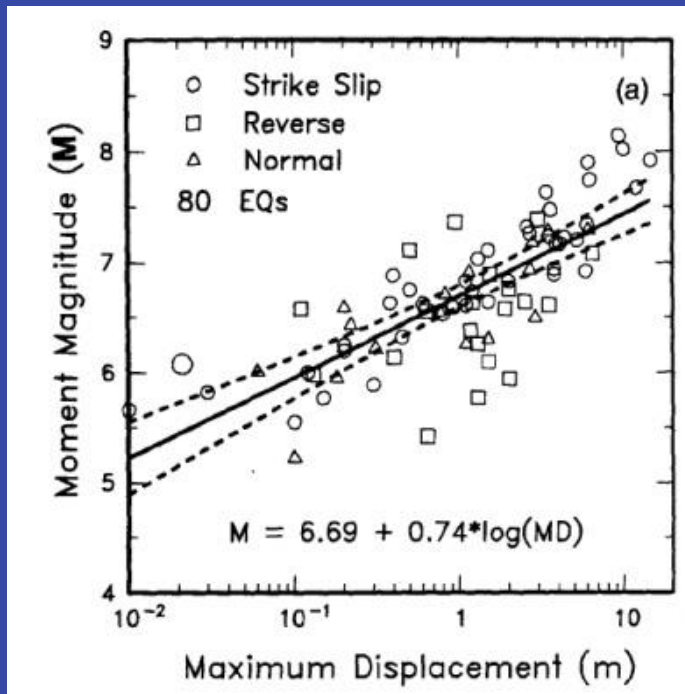


Existují empirické vztahy mezi délkou zlomu, velikostí posunu na něm, velikostí magnituda, které je zlom schopen vygenerovat - viz. obrázek výše
např. zlom o délce 80km vygeneruje zemětřesení $M_w=7,5$ a posun průměrně okolo 3m



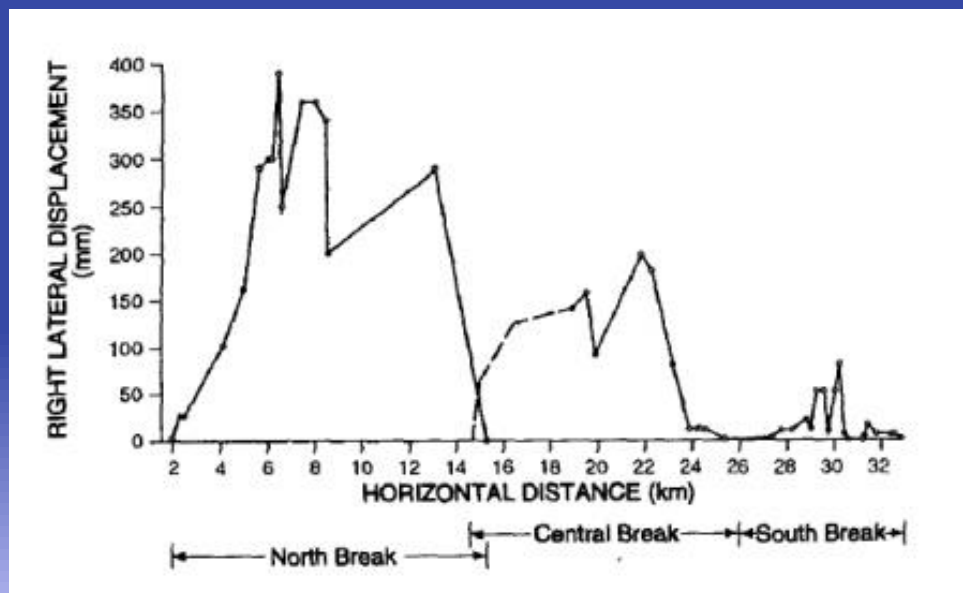
Empirické vztahy - na základě souboru 421 historických zemětřesení, s ohniskem <40km, $M_w > 4,5$

Wells, and Coppersmith 1992

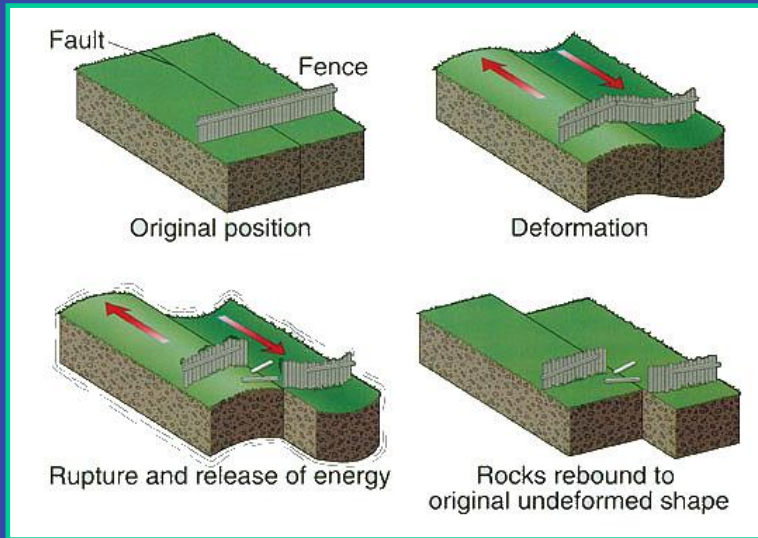


Průměr mnohočetných měření posunů podél zlomu

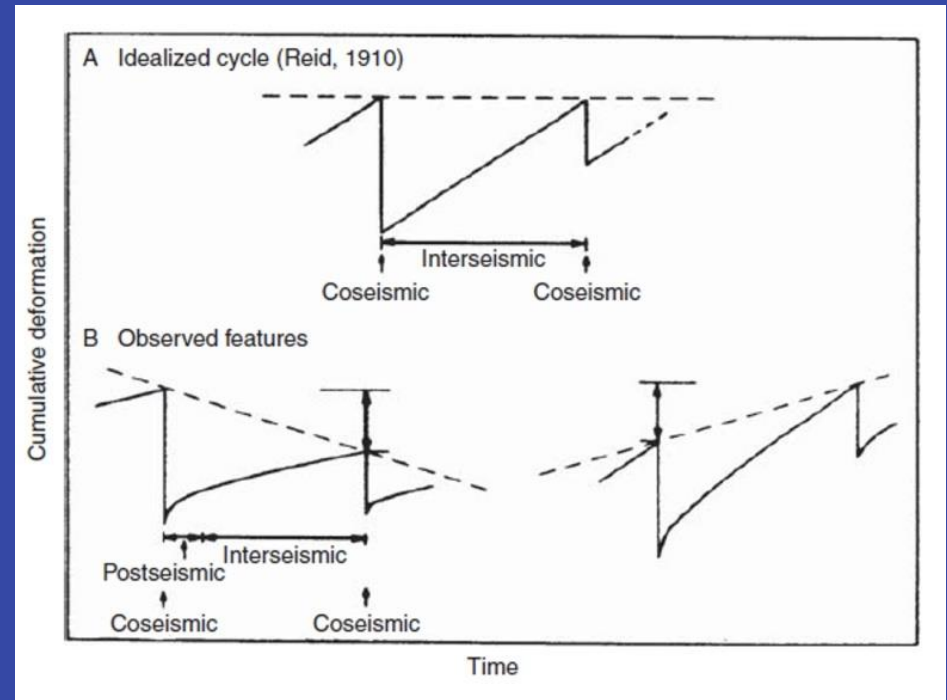
Měření pravostranného posunu podél zlomu při zemětřesení Borrego Mts 9. 4. 1968, California



Seismický cyklus - elastický model



1. Akumulace napětí = elastická deformace
2. Během zemětřesení napětí uvolněno a dochází k permanentní deformaci - porušení hornin, napětí klesne (stress drop) = **elastic rebound** (deformovaný materiál do původního tvaru - vyrovnání)



Idealizovaný seismický
deformační cyklus -
charakteristické zemětřesení

Paleoseismologické studium zlomů

Co nás zajímá, co chceme zjistit:

- ❖ Lokalizace a geometrie zlomu (geomorfologické a geologické mapování)
- ❖ Slip rate - rychlost zlomu (= posun : čas)
- ❖ Slip per event - charakteristický posun při jednotlivých zemětřeseních (EQ=earthquake)
- ❖ Recurrence period - interval opakování (při opakovaných EQ), frekvence EQ
- ❖ Elapsed time - čas uplynutý od posledního EQ
- ❖ Maximální magnitudo

Rekonstrukce chronologie pohybů

doklady:

❖ stratigrafické, strukturní, geomorfologické, biologické...



archeologické doklady



archeoseismologie



Rekonstrukce chronologie pohybů

- ❖ na základě datování dislokovaných tvarů / jiných indikátorů pohybu - zjišťujeme charakteristiku proběhlých pohybů
- ❖ datování vícenásobných pohybů na daném zlomu -
zjistíme recurrence interval, dlouhodobější slip-rate, variabilitu pohybů při zemětřeseních



na základě těchto údajů je možné do jisté míry předpovídat, kde a k jak velkému zemětřesení může v budoucnu dojít

Kdy - to zatím žádný z oborů současné vědy říct nedokáže

Přímé pozorování dislokovaných tvarů, posunutých objektů - na povrchu, v odkryvech, v umělých rýhách

a) na povrchu - z morfologie a postižených tvarů reliéfu, údolí apod.

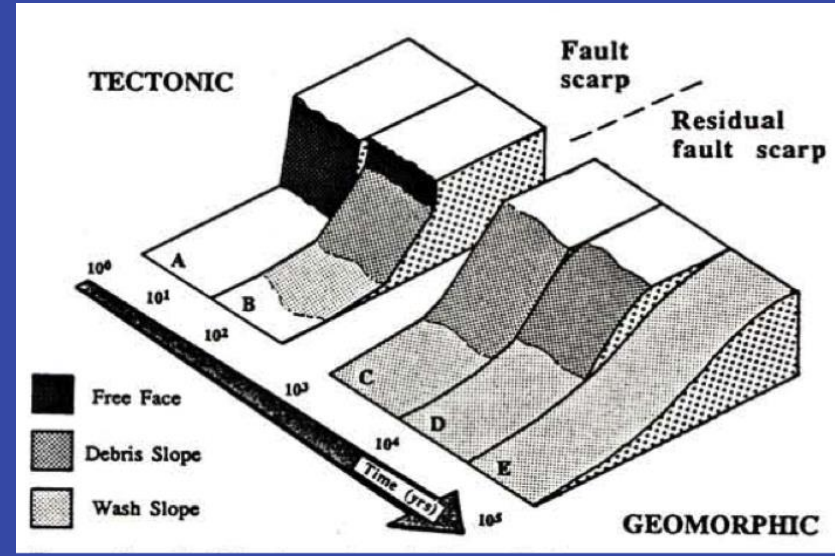
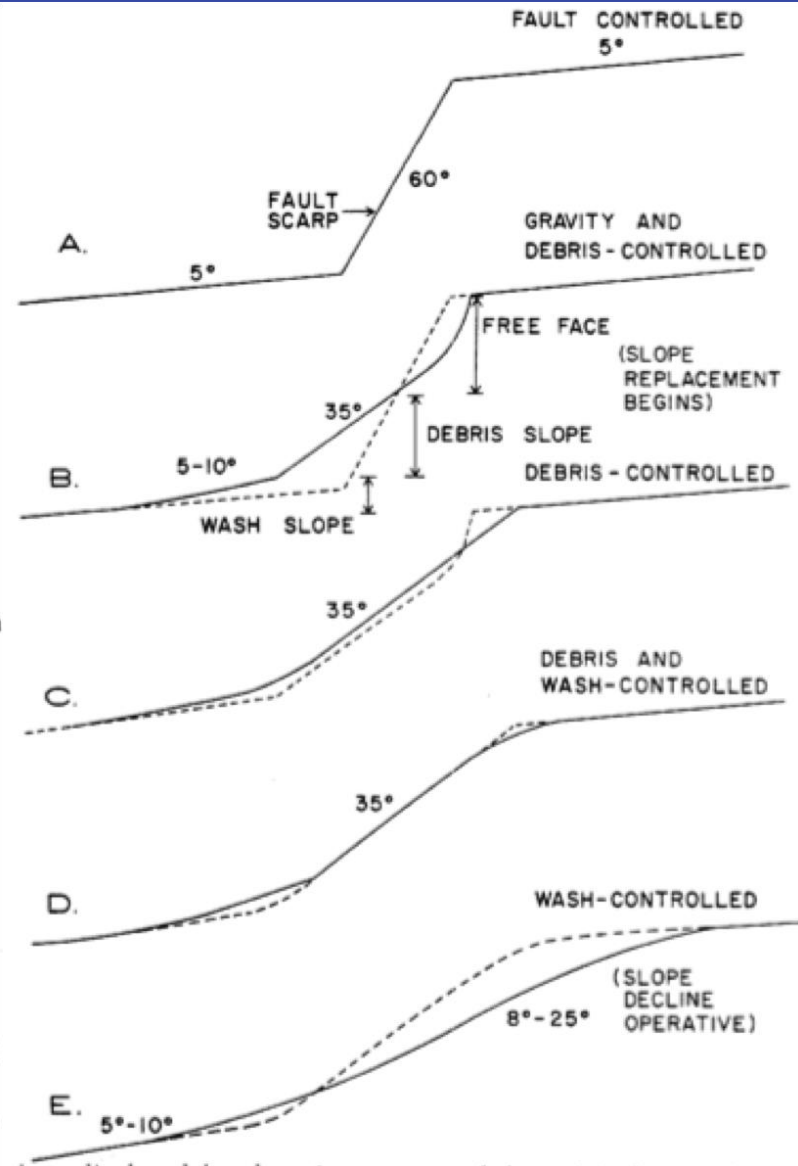
b) umělé rýhy (trench) - jeden ze základních nástrojů pro sběr paleoseismických dat pro hodnocení seismického rizika



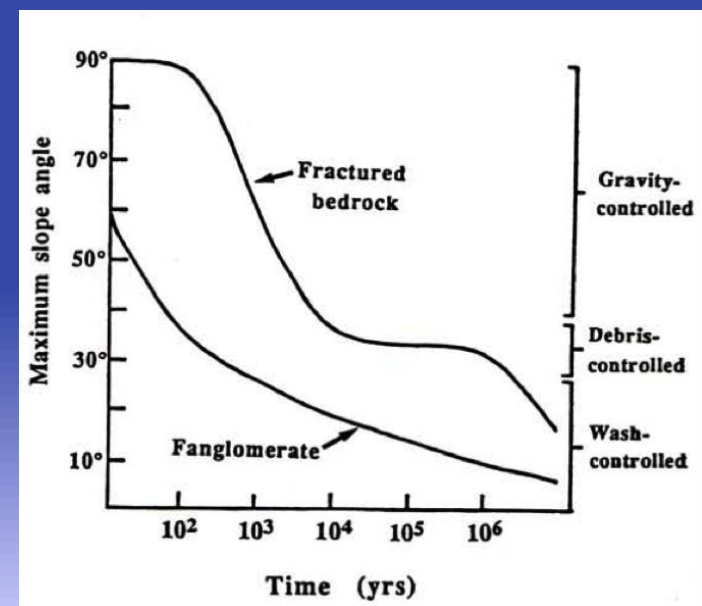
- ❖ v sedimentech jemnozrnných, vrstevnatých - dobře rozeznatelné posuny vrstev, ne příliš mocných (hloubka)
- ❖ aluviální kužely, jezerní sedimenty (vhodné) X přívalový proud (nevhodný)
- ❖ datovatelný materiál - určení chronologie pohybů

Poklesové zlomy

Na povrchu - zlomový svah - fault scarp (degradace zlomového svahu v čase



Stewart, Hancock, 1990



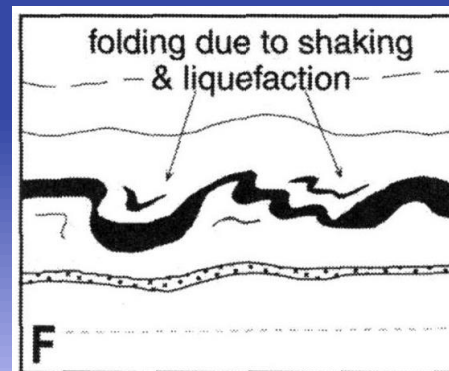
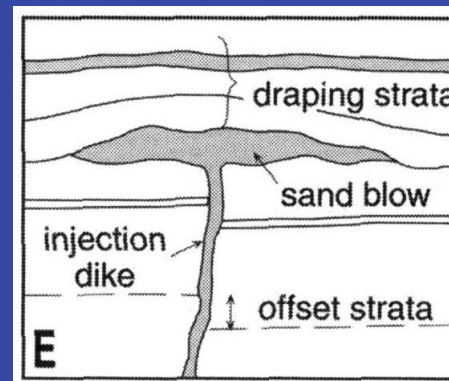
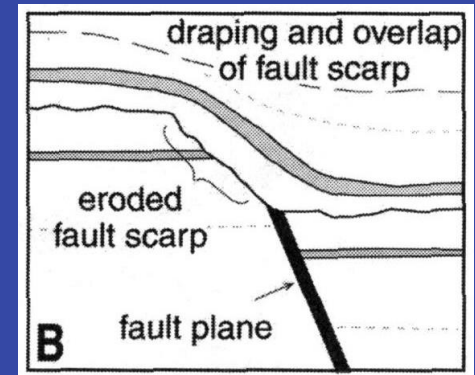
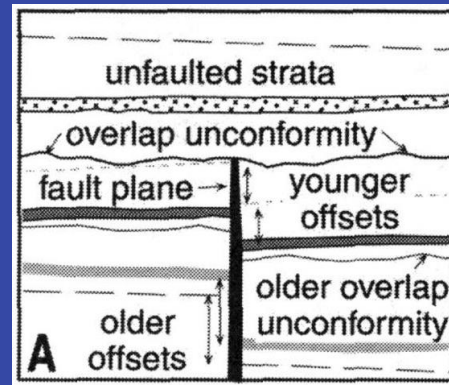
Wallace, 1977

Poklesový zlom Krupnik, Bulharsko, 1904 $M=7,8$



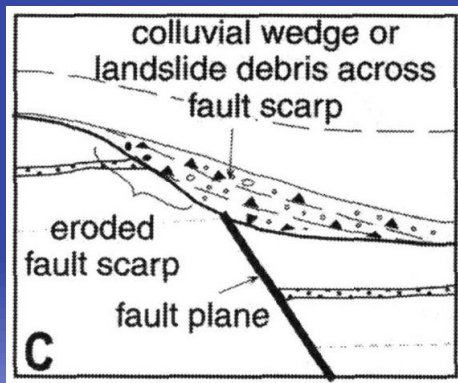
Doklady zemětřesení v geologickém záznamu (v rýhách)

- Rozdíly v kumulativním offsetu (posunu) vrstev (A)
- Překrytý zlomový svah (fault scarp) (B)
- Sand dyke (klastická žíla) - materiál injikovaný při otřesech (E)
- Vrstvy s likvefakcí (ztekucení sedimentu při otřesech) (F)

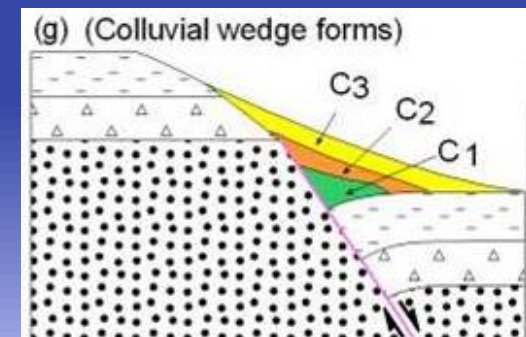
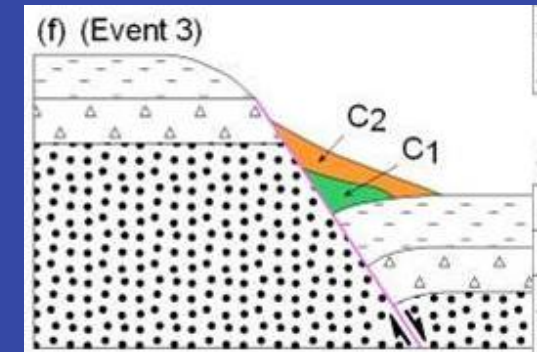
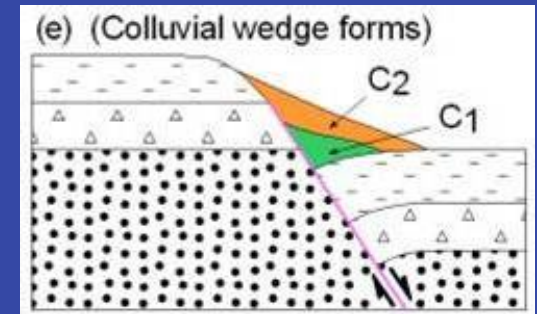


Allen (1986)

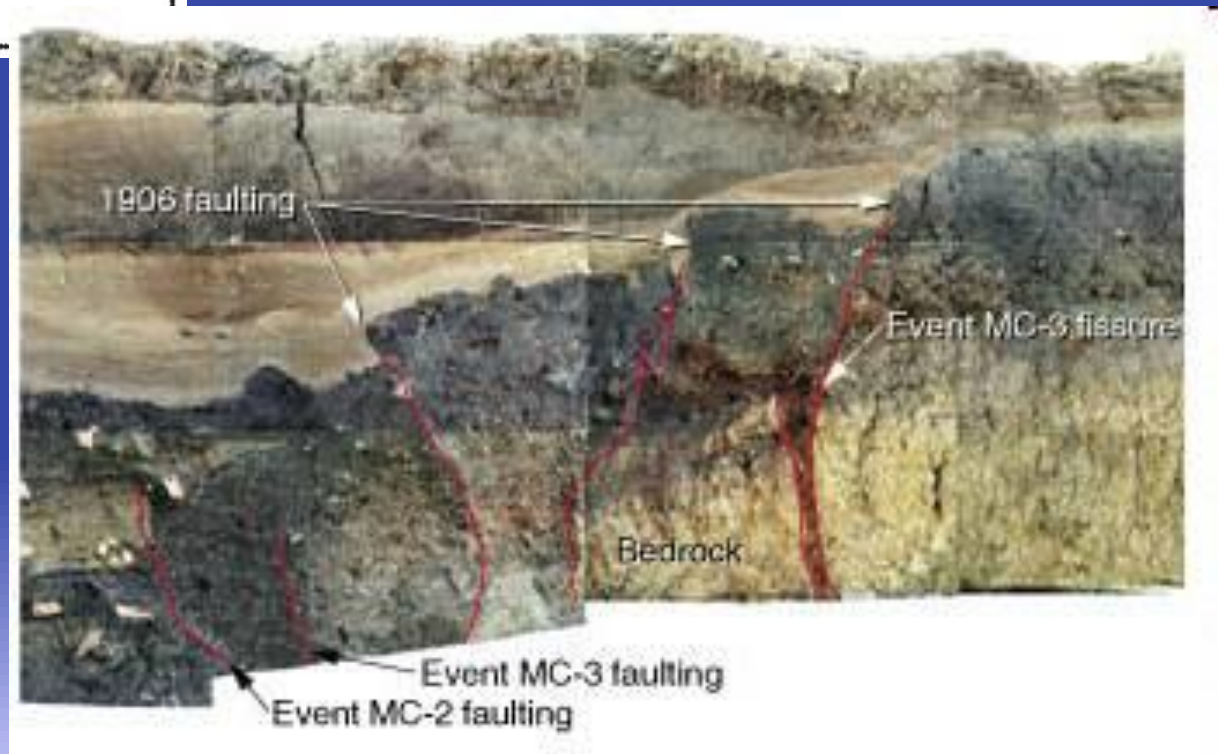
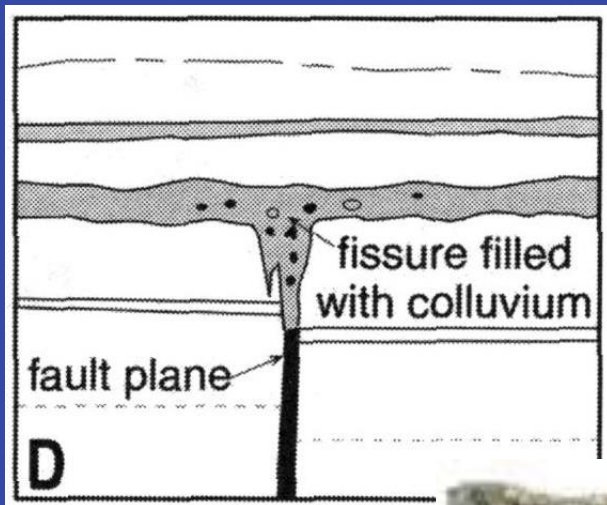
- Koluviální klín (coluvial wedge) - typický doklad náhlého pohybu



Po pohybu, kdy vznikne zlomový svah, vzniká gravitační nestabilita, z okraje svahu se sype materiál na pokleslejší část a vzniká klín, materiál tvořící wedge pochází z fault scarp



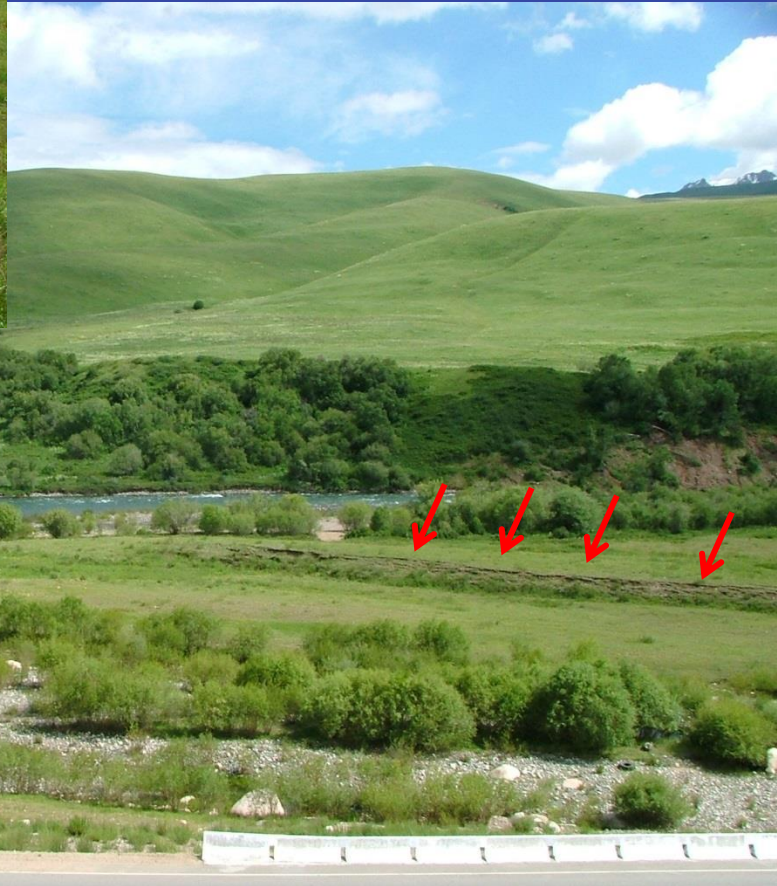
- Vyplnění vzniklých trhlin



Fault scarp na přesmyku

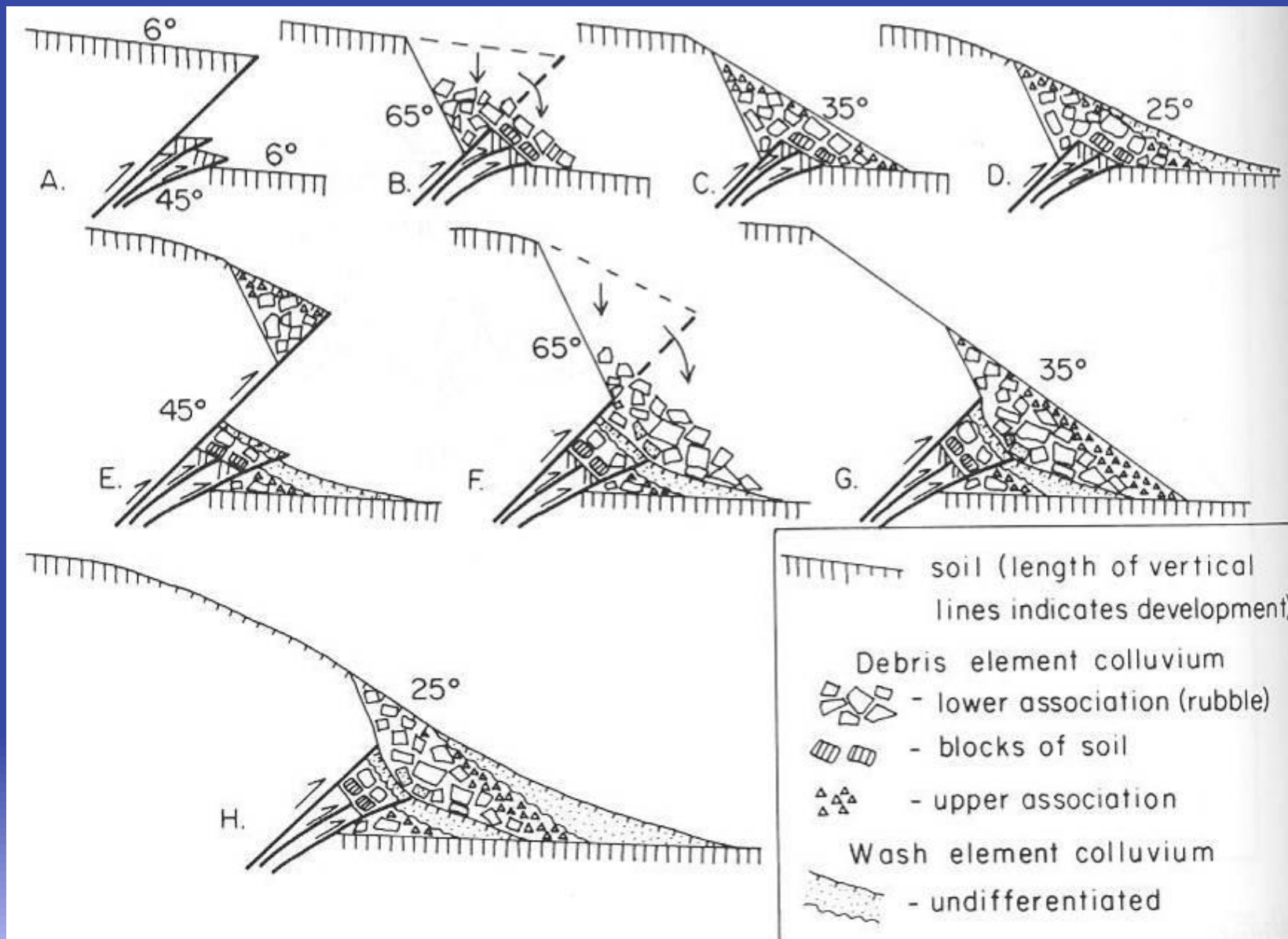


Zemětřesení Chichi 1999, Taiwan



Suusamyr, 1992, M=7,4
Kyrgyzstan

Přesmykové zlomy - colluvial wedge



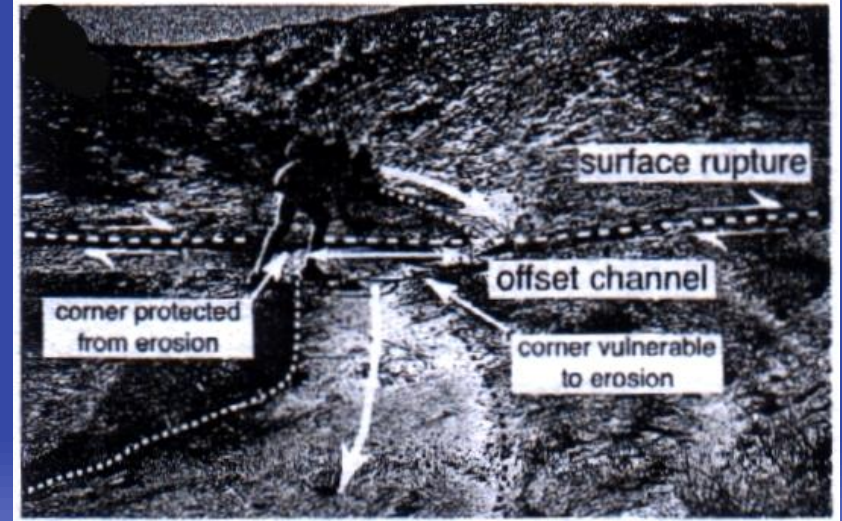
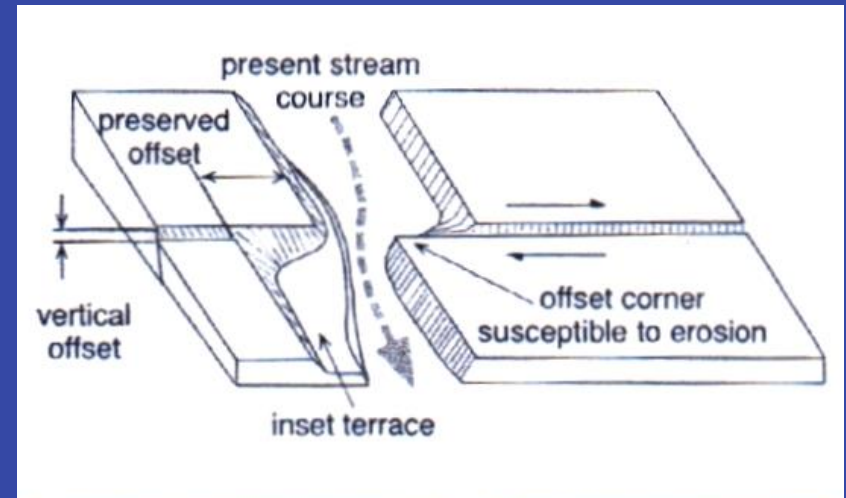
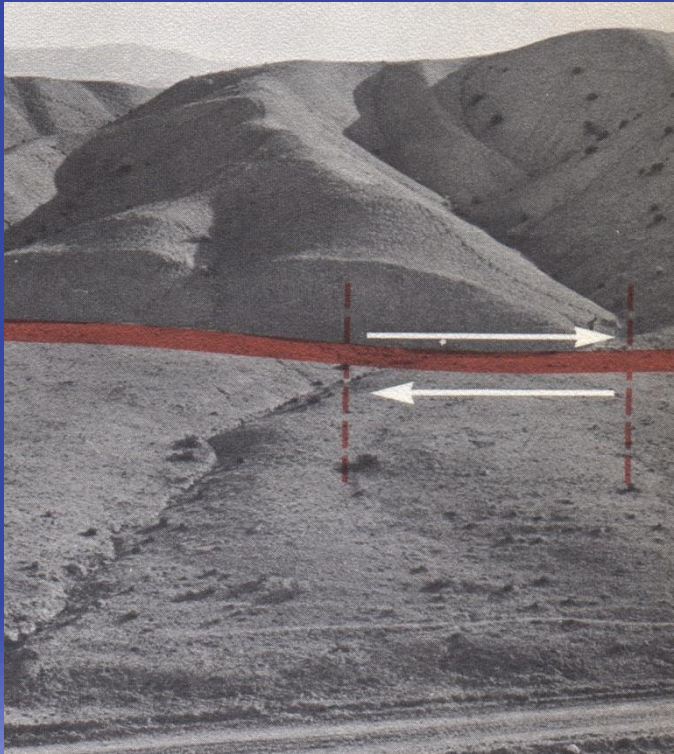


Alhama de Murcia fault, Španělsko



Horizontální posuny:

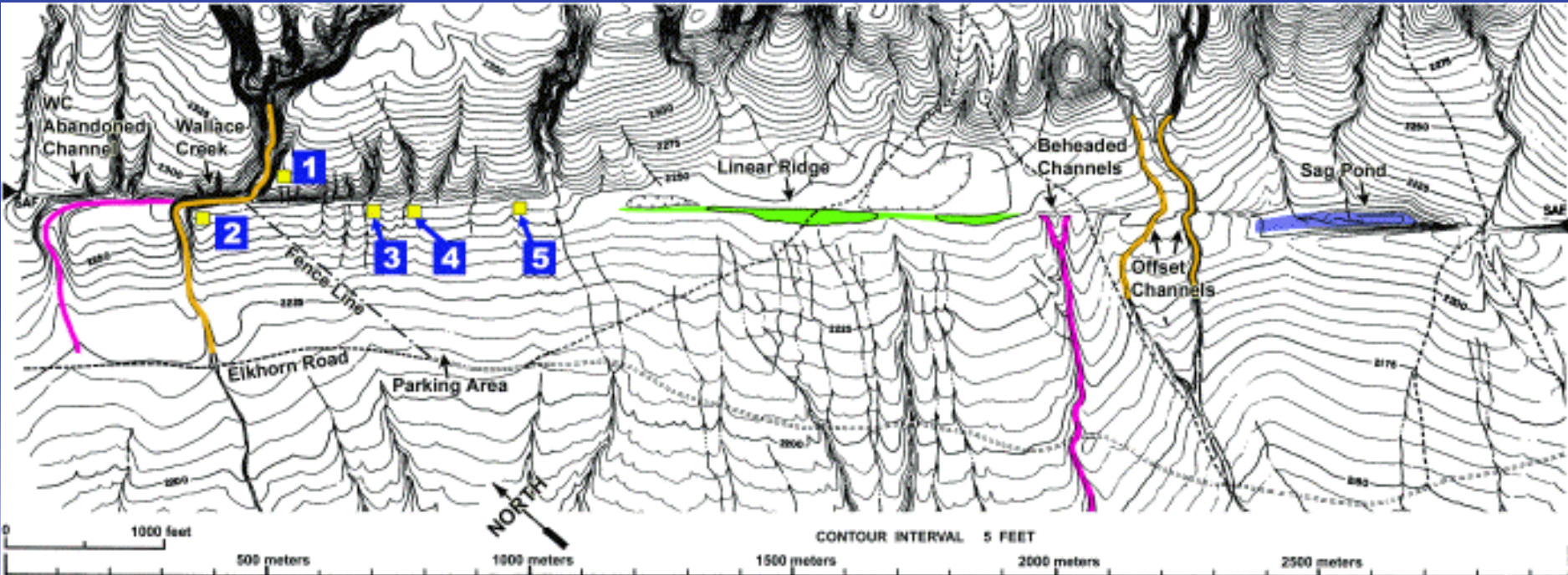
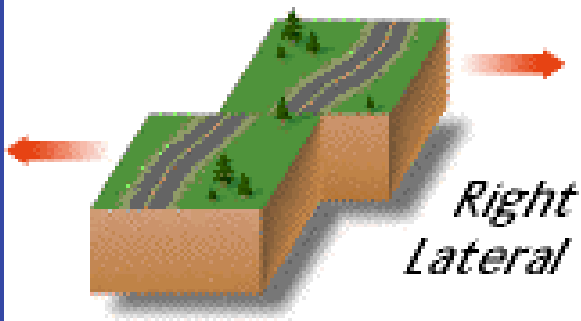
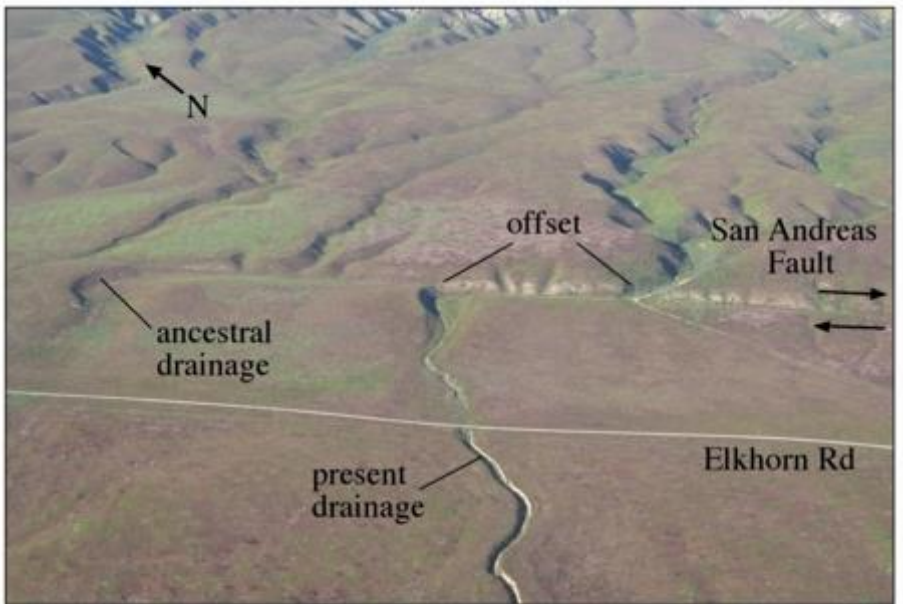
offsety (posuny) vodních koryt, údolních svahů, menších náplavových kuželů, hřebítků, strží, akumulací přívalových proudů, terasových stupňů





Imperial fault, jižní Kalifornie, EQ - 1940, $M=7$, délka 60km,
horizontální offset 6m s vertikální složkou, o které svědčí scarp na fotce vlevo

San Andreas Fault, Carrizo plain v Kalifornii s naučnou geologickou stezkou



Elsinore fault, Coyote Mts, CA - pravostranný zlom

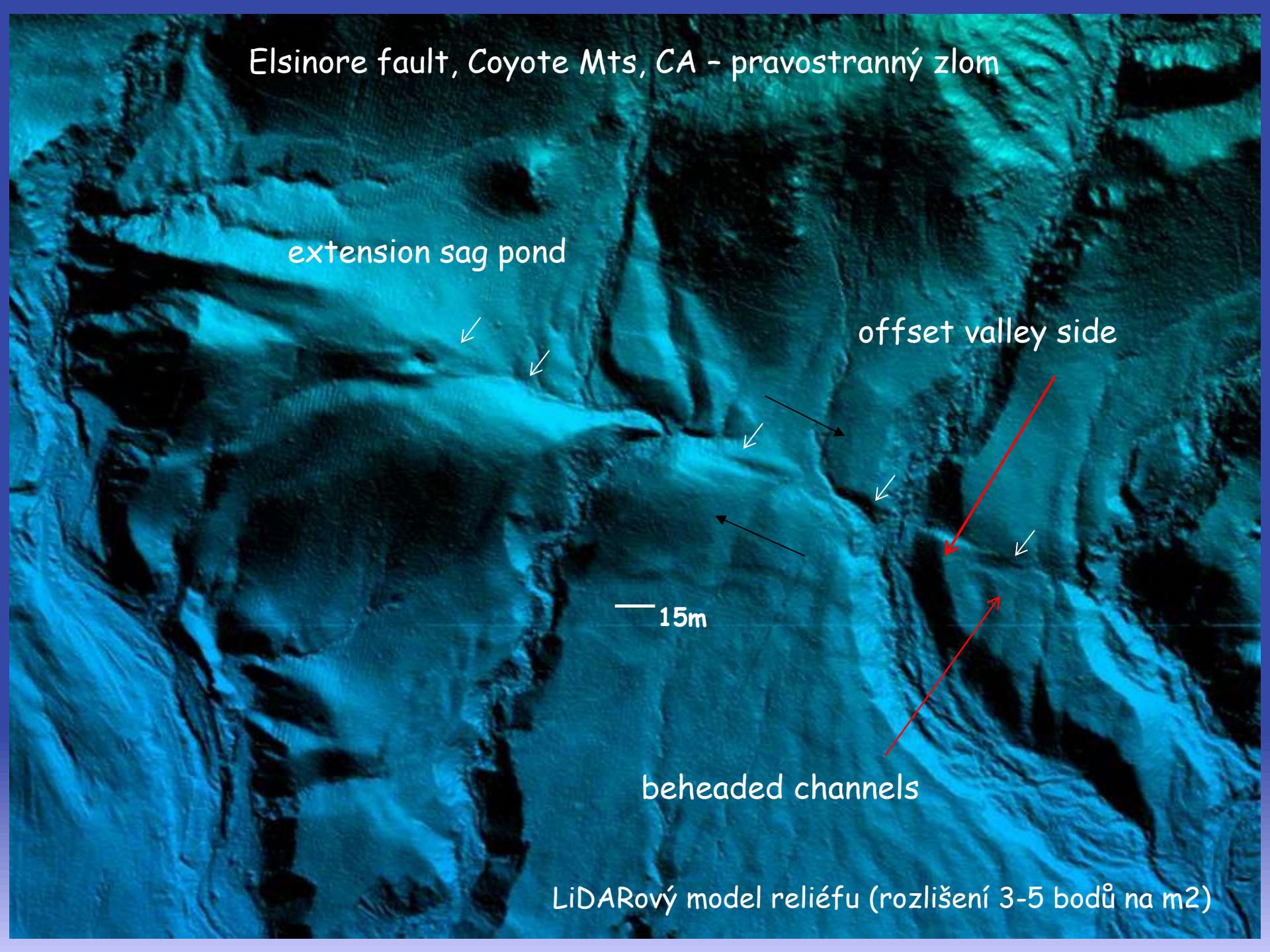
extension sag pond

offset valley side

15m

beheaded channels

LiDARový model reliéfu (rozlišení 3-5 bodů na m2)



offset (2m) údolíčka z předchozího LiDARového snímku v reálu –
LiDAR pomohl tyto drobné tvary identifikovat před samotným terénem, jinak snadno
přehlédnutelné



offset channel



Zemětřesení El Mayor -
Cucapah earthquake,
4.4.2010, severní Mexiko

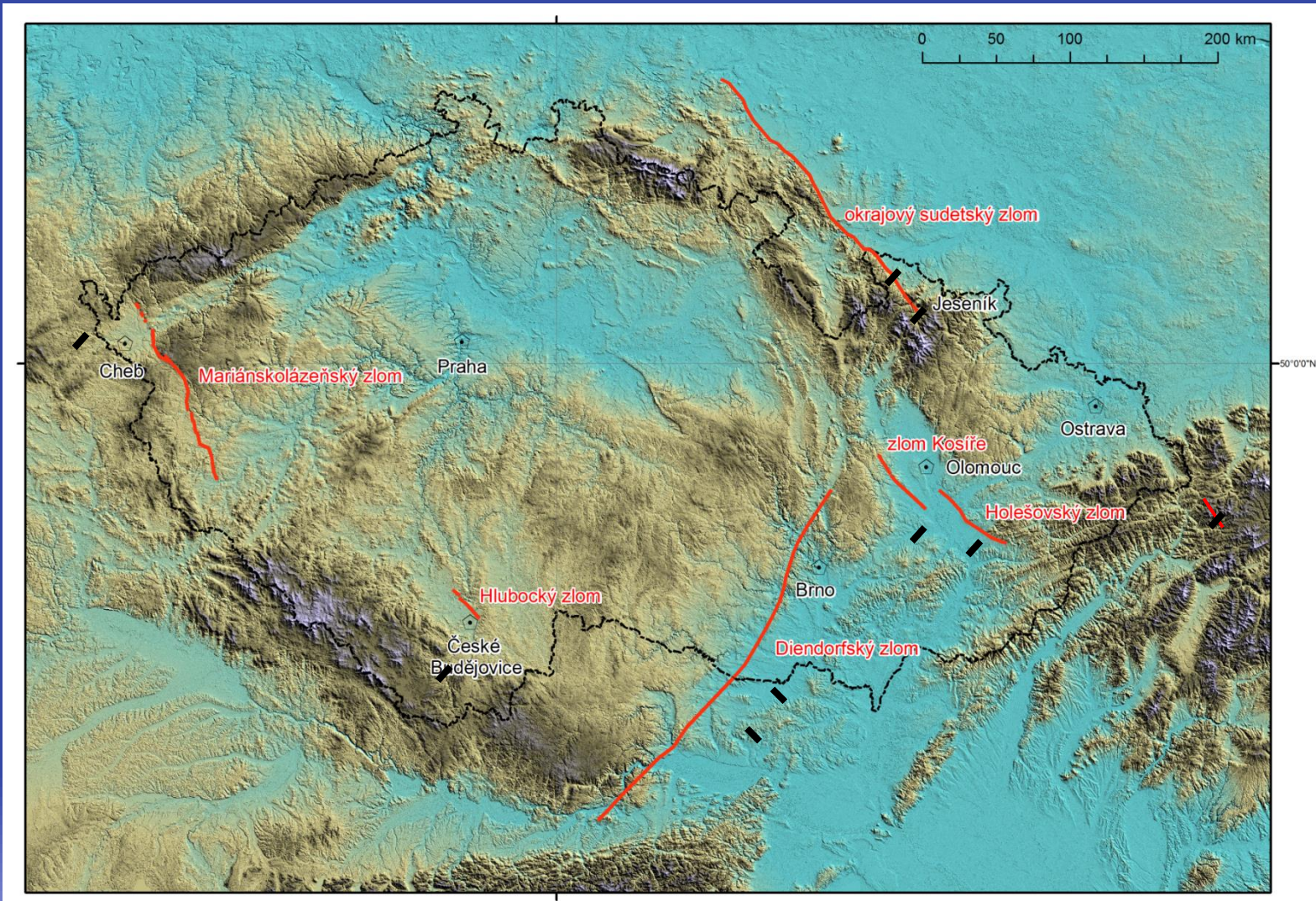
offset valley side



Měření offsetu = magnitudo,
rychlost pohybů

2. Paleoseismický výzkum v České republice

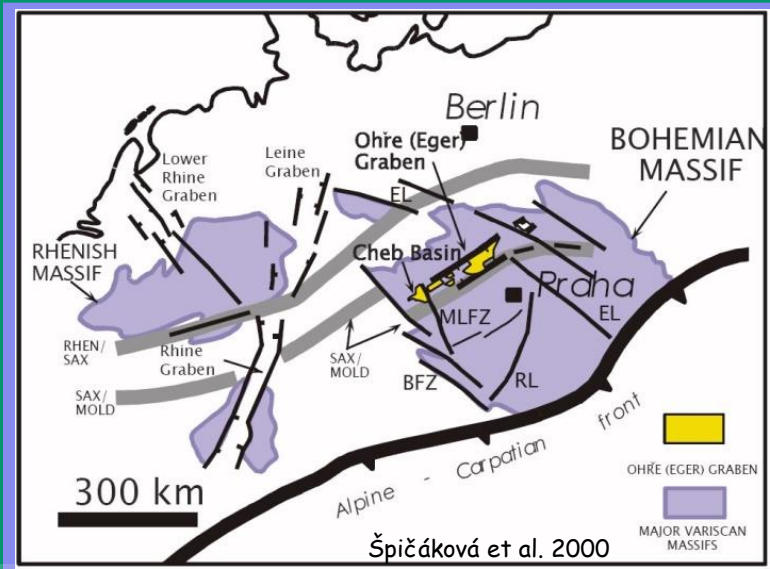
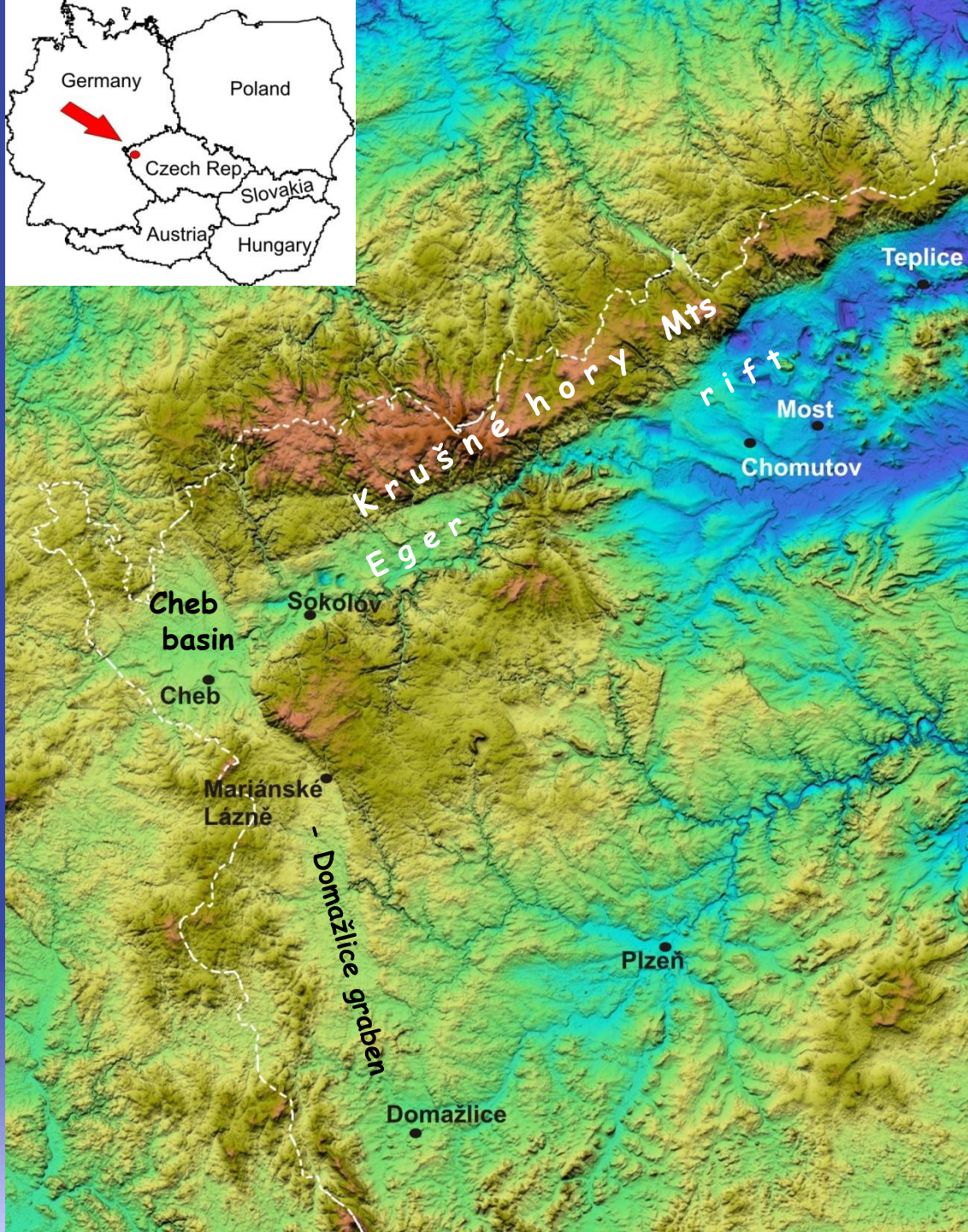
Zkoumané lokality a týmy



Štěpančíková a kol. ÚSMH AV ČR-od r. 2006 (okrajový sudetský zlom, mariánsko-lázeňský výzkum)
Špaček P. a kol. Ústav fyziky Země, Masarykova univerzita - od r. 2010 (hlubocký, hornomoravský úval aj.)
Prachař I. a kol. Energoprůzkum s.r.o. (diensdorský zlom aj.)

Cíl projektů

- **charakterizace tektonických pohybů na vybraném zlomu**
 - kvartér až současnost
 - typ pohybu
 - frekvence
 - velikost a rychlost pohybu



Chebská pánev

součást pozdně-kenozoického oherského riftu -

- Křehká korová deformace
- Poklesové pánve (35-1.5 Ma, 17-4.5 Ma hiatus)
- Vulkanická aktivita

Chebsko-domažlický příkop
- ohraničen mariánsko-lázeňským zlomem (MLZ) na východě

Chebská pánev

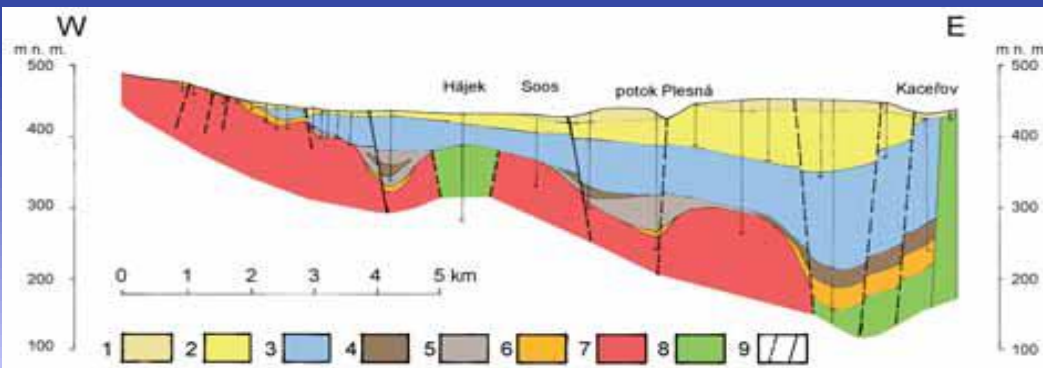
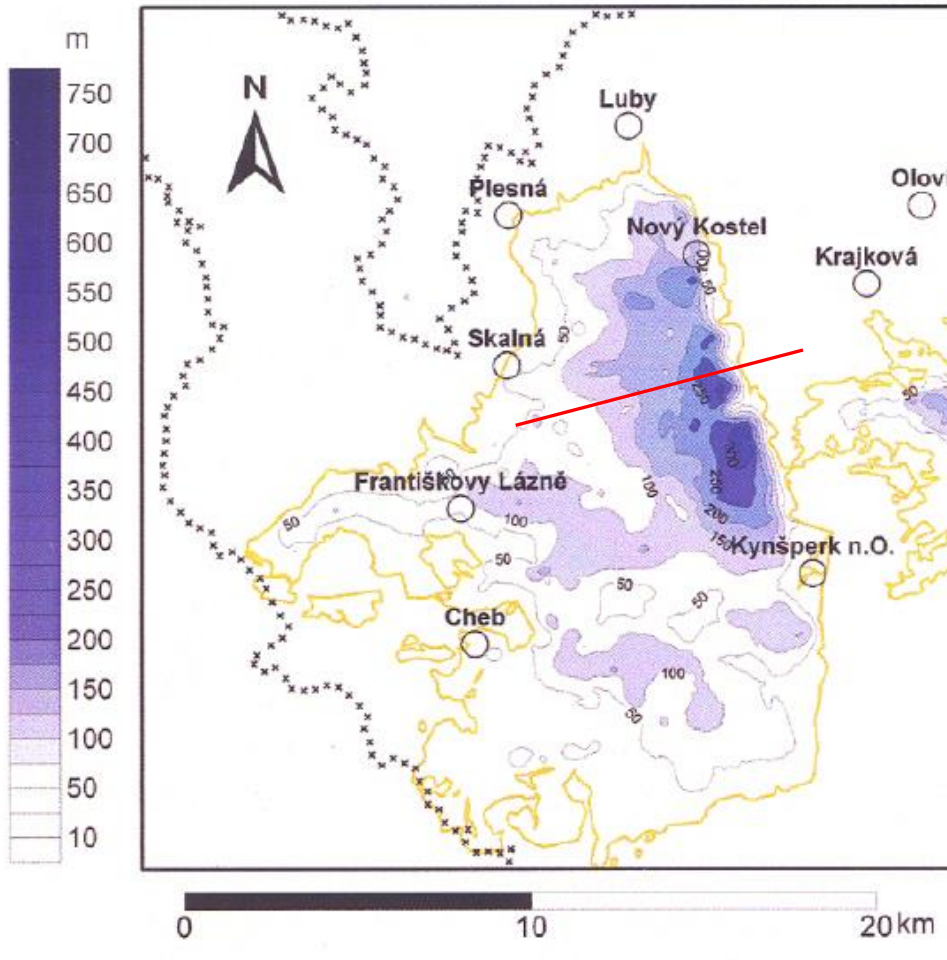
Half graben - eocénní až plio-kvarterní fluvio-lakustrinní sedimenty a vulkanoklastika (300m mocnost, maximální při MLZ)

- poklesový zlom s pravostran. posunem

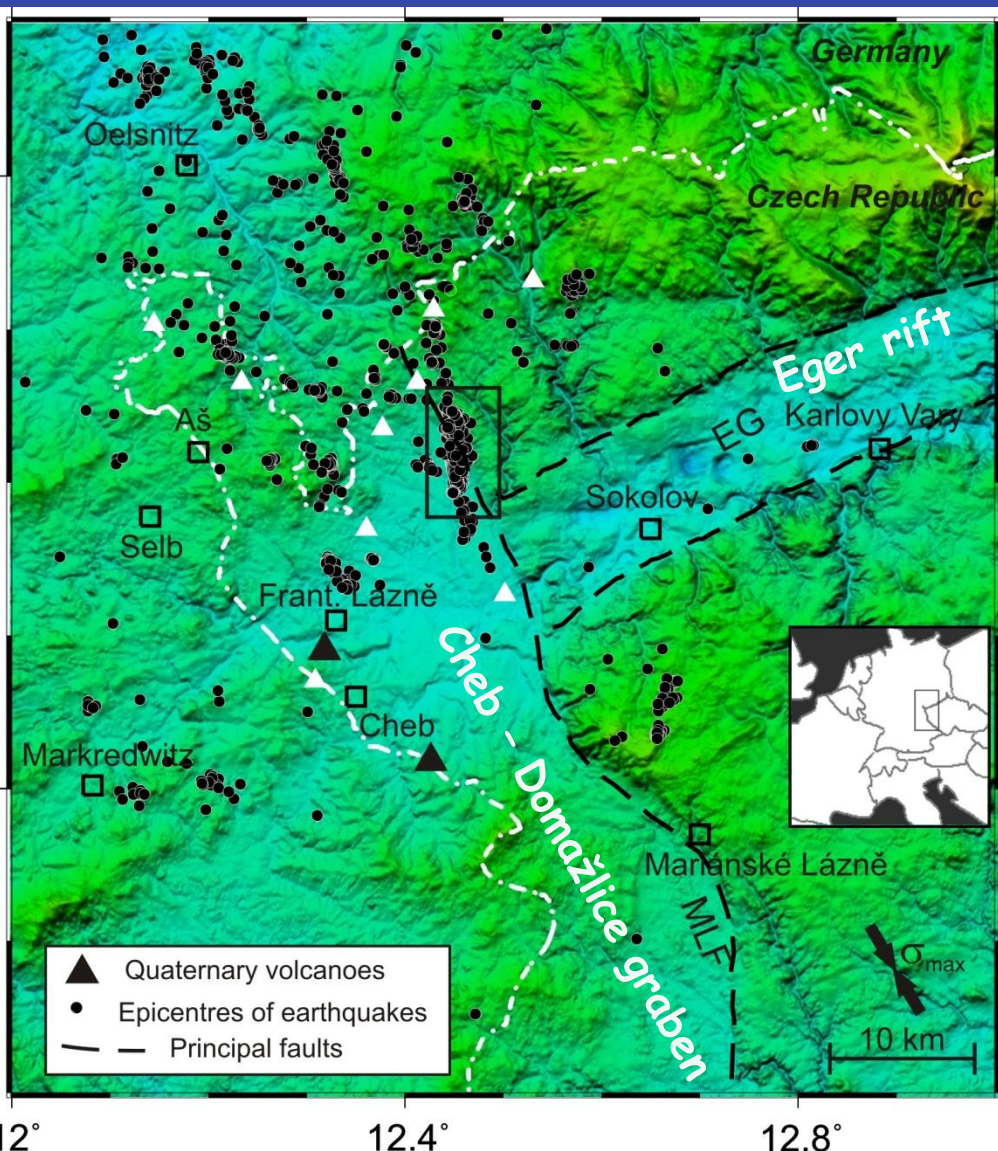
Pitra et al. (1999), Grünthal et al. (1990), Švancara (2000)

- levostranný strike-slip
Špičák (1988), Spičáková et al. (2000), Peterek et al. (2011)

Současné max. horiz. napětí
NW-NNW



Mariánsko-lázeňský zlom



Chebská pánev - geodynamicky aktivní

- na křížení oherského riftu a chebsko-domažlického příkopu
- současná seismicita - roje ohnisková oblast Nový Kostel
- mofety s výrony CO_2
- středně- až pozdně pleistocenní vulkanismus (430 - 110 ka) - nejmladší v ČR

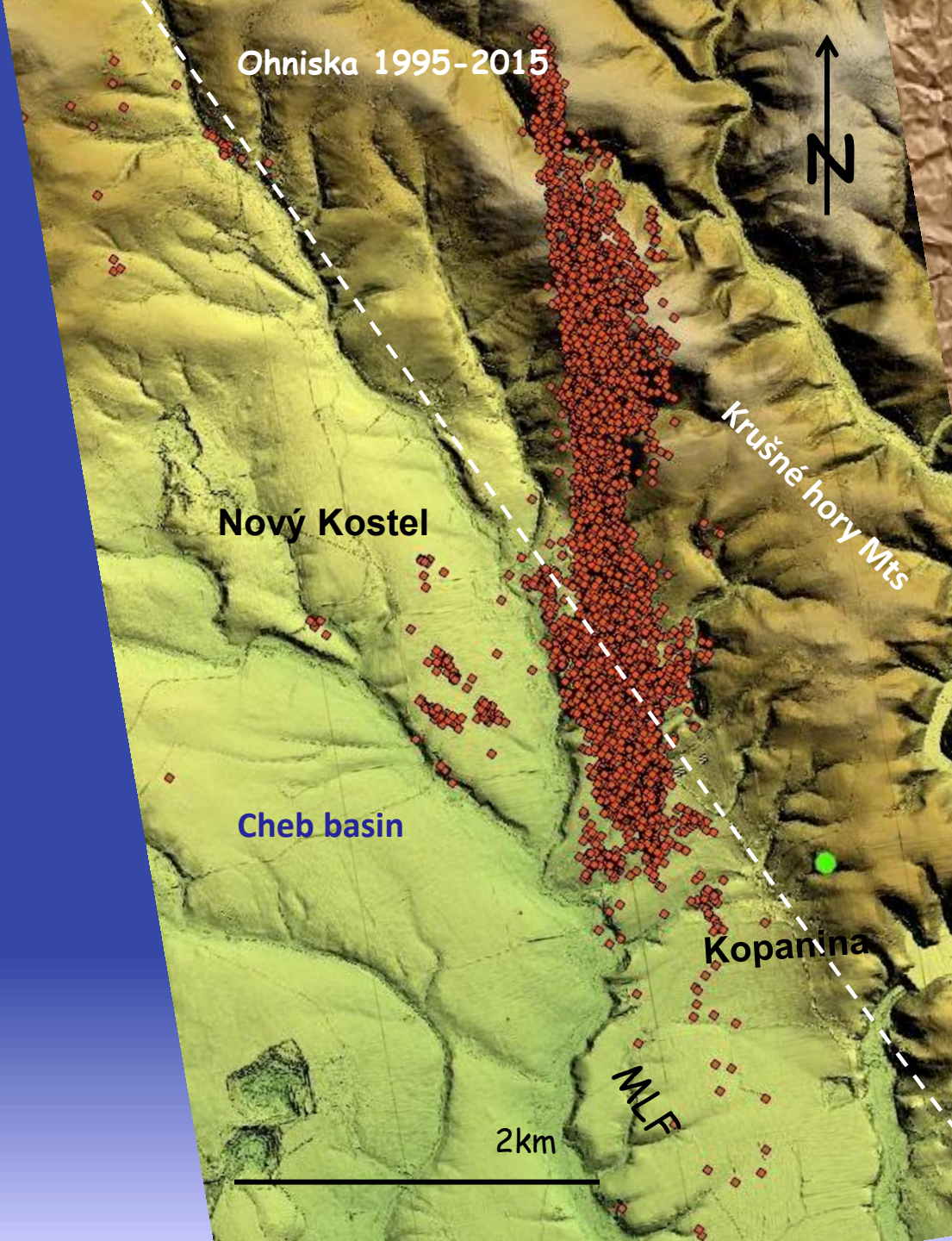
- Ohniska - NNW-SSE, WSW-dipping

Počátky-Plesná Fault Zone

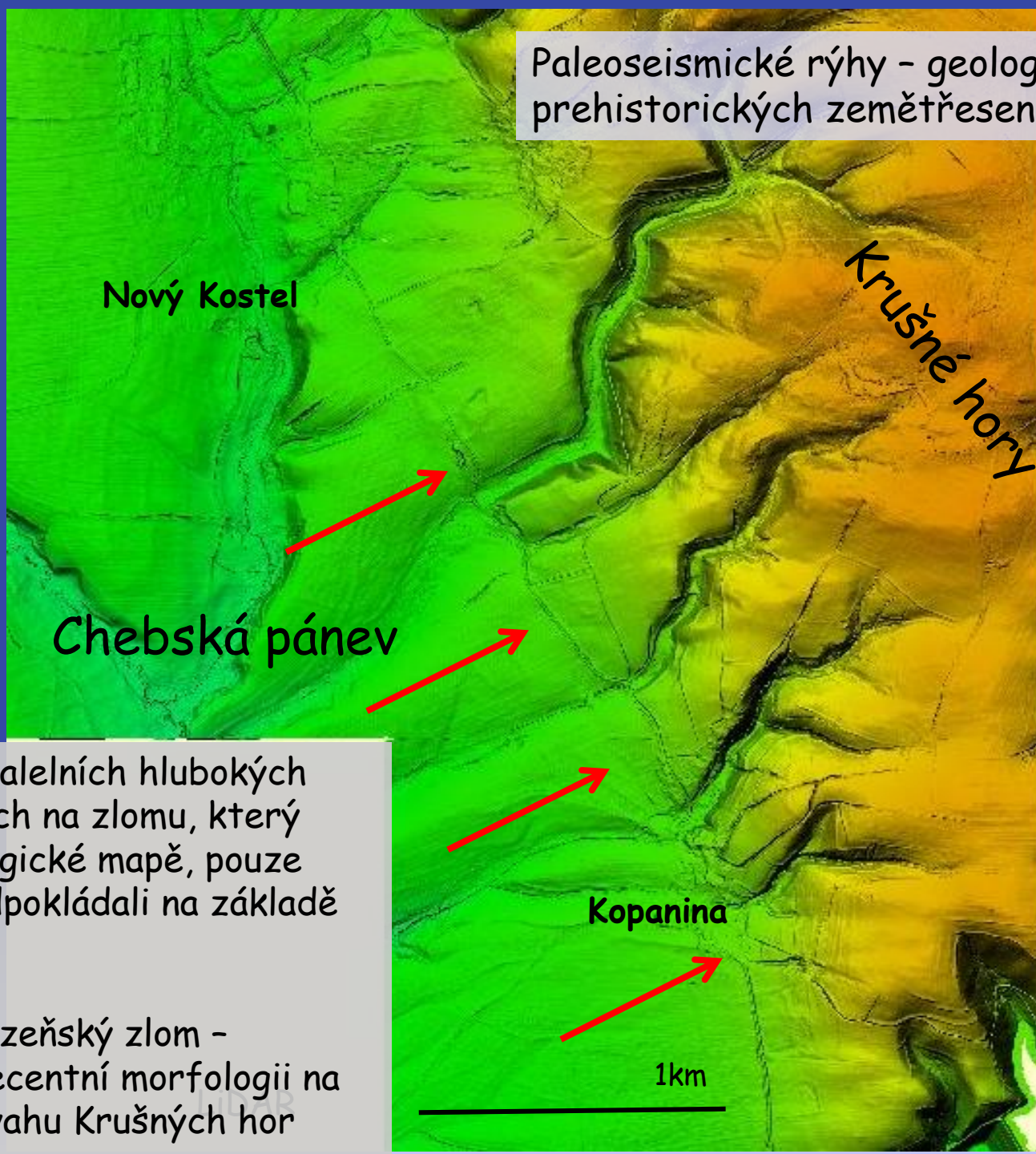
Není v geologii ani morfologii
- roje (M=4.5; June, 2014)

- Mariánské lázně fault (NW-SE)- morfologicky výrazný,
no součas. seism.

- ? Morfogenní zemětřesení v
minulosti = morfologie,
výzdvih Krušných hor



Paleoseismické rýhy - geologický záznam
prehistorických zemětřesení



Nový Kostel

Krušné hory

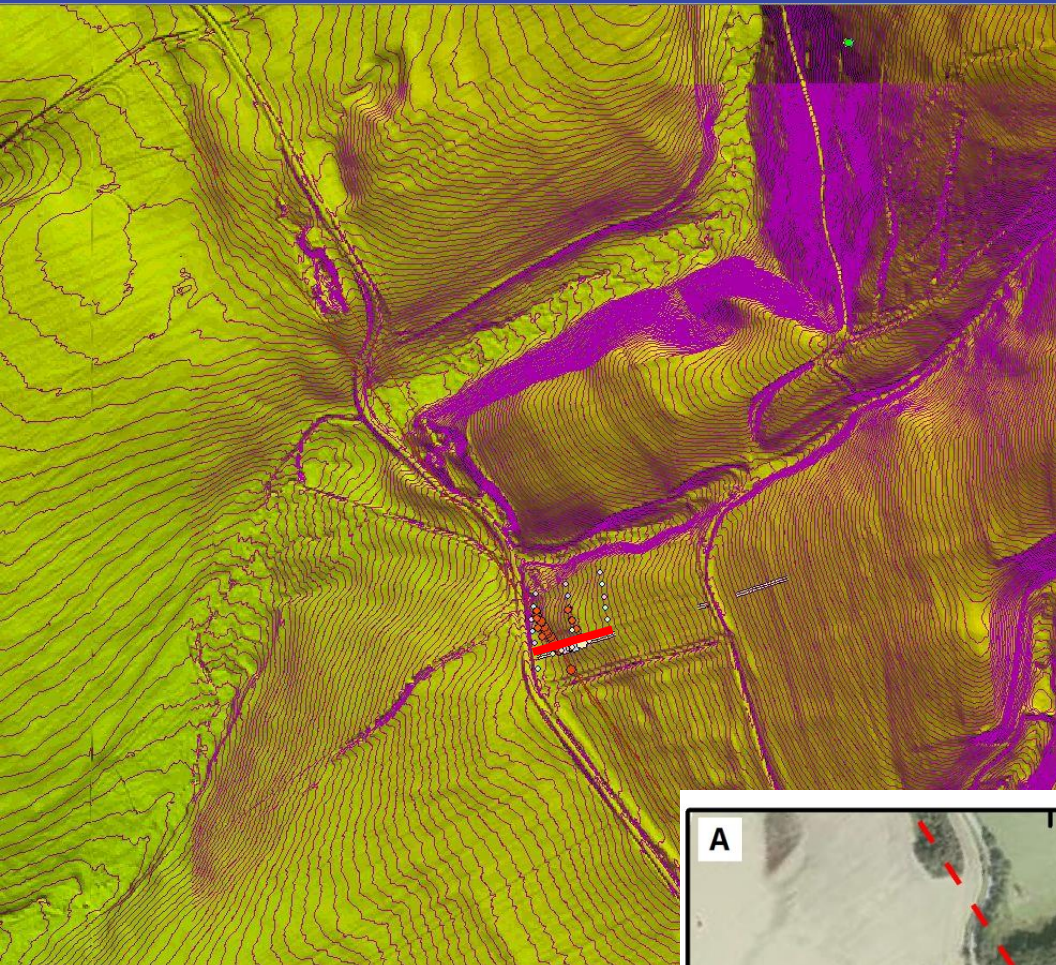
Chebská pánev

Kopanina

1km

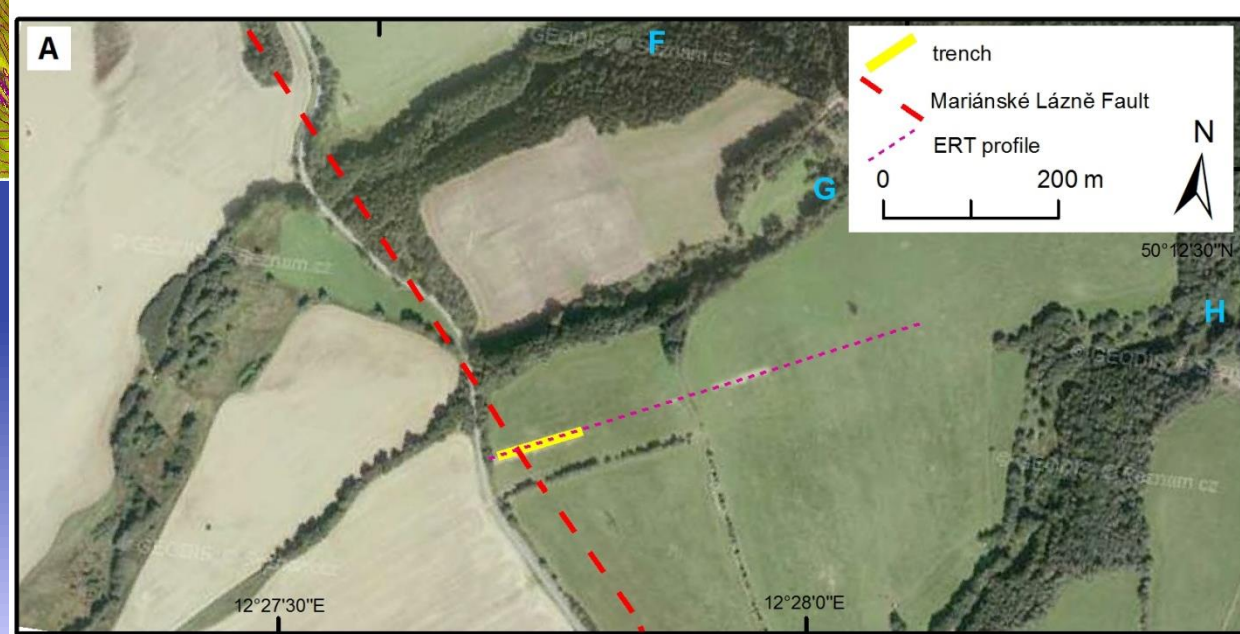
Série subparalelních hlubokých údolí končících na zlomu, který nebyl v geologické mapě, pouze jsme ho předpokládali na základě morfologie

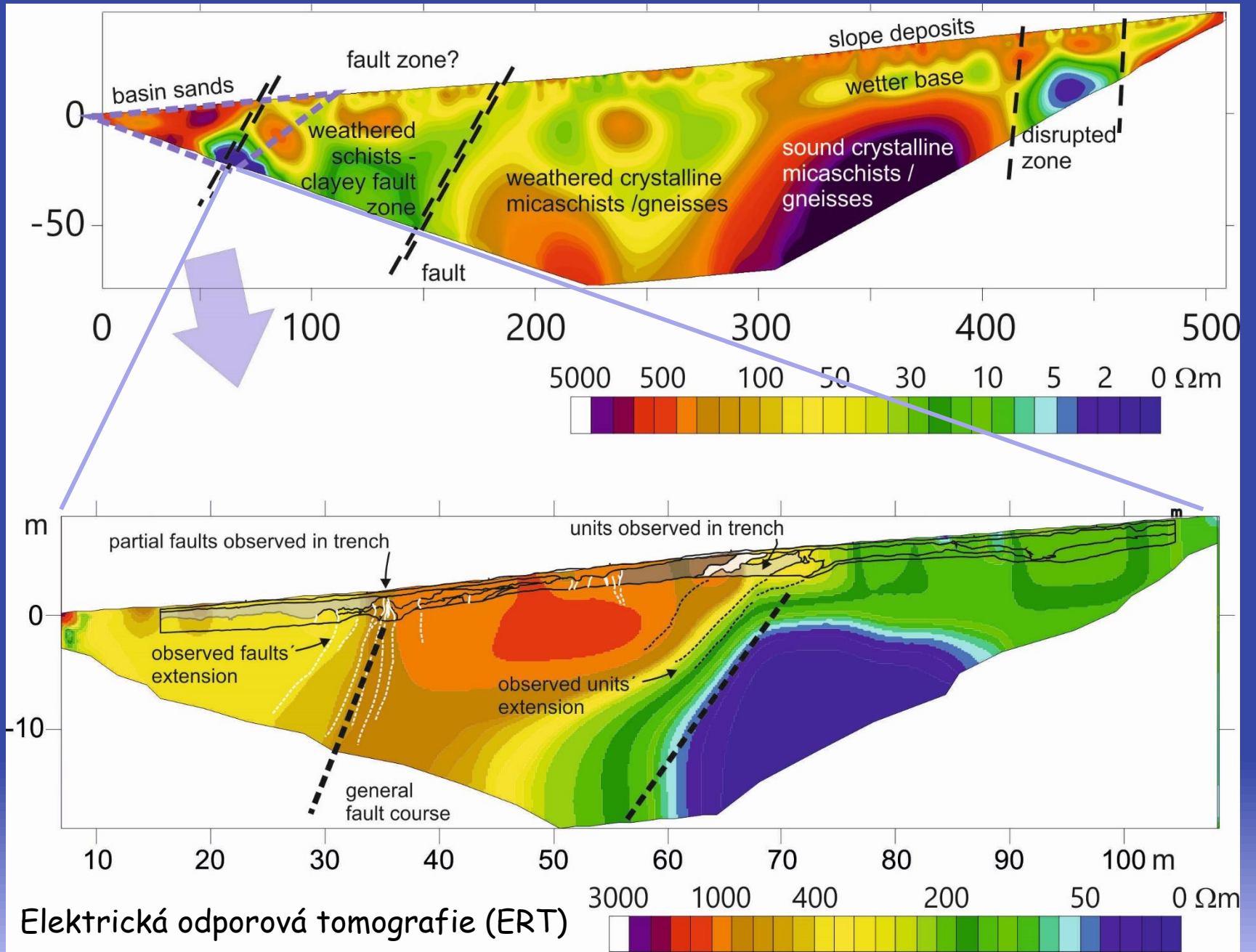
Mariánsko-lázeňský zlom - kontroluje recentní morfologii na okrajovém svahu Krušných hor



Vybrána lokalita Kopanina
pro trenching

Současně geofyzikální průzkum
Elektrická odporová tomografie (ERT)

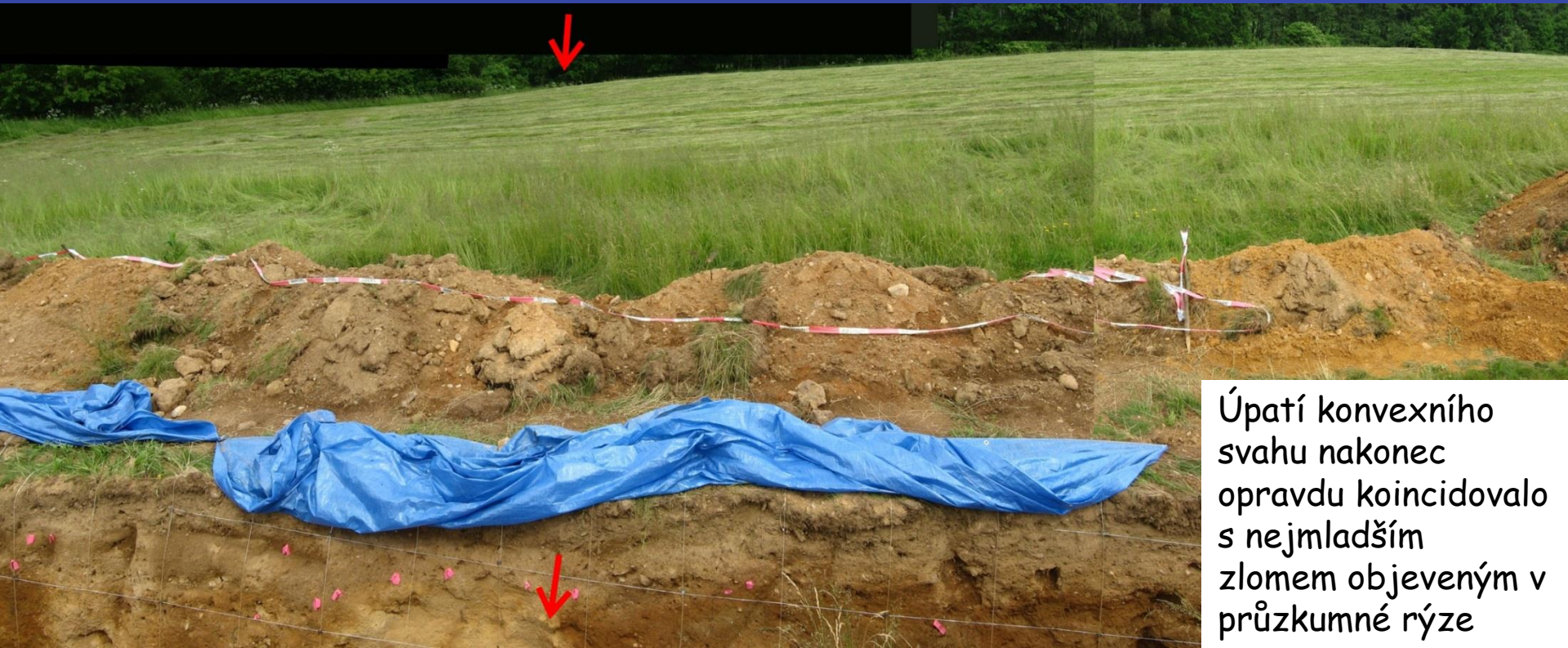




Elektrická odporová tomografie (ERT)



Mírně konvexní svah - Krušné hory/Chebská pánev



Úpatí konvexního svahu nakonec opravdu koincidovalo s nejmladším zlomem objeveným v průzkumné rýze

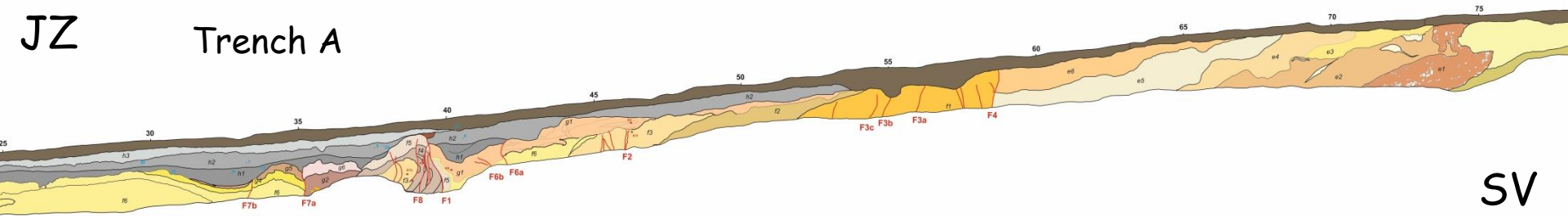
100 m, 1,5-2,5 m



0,5m
referenční
grid

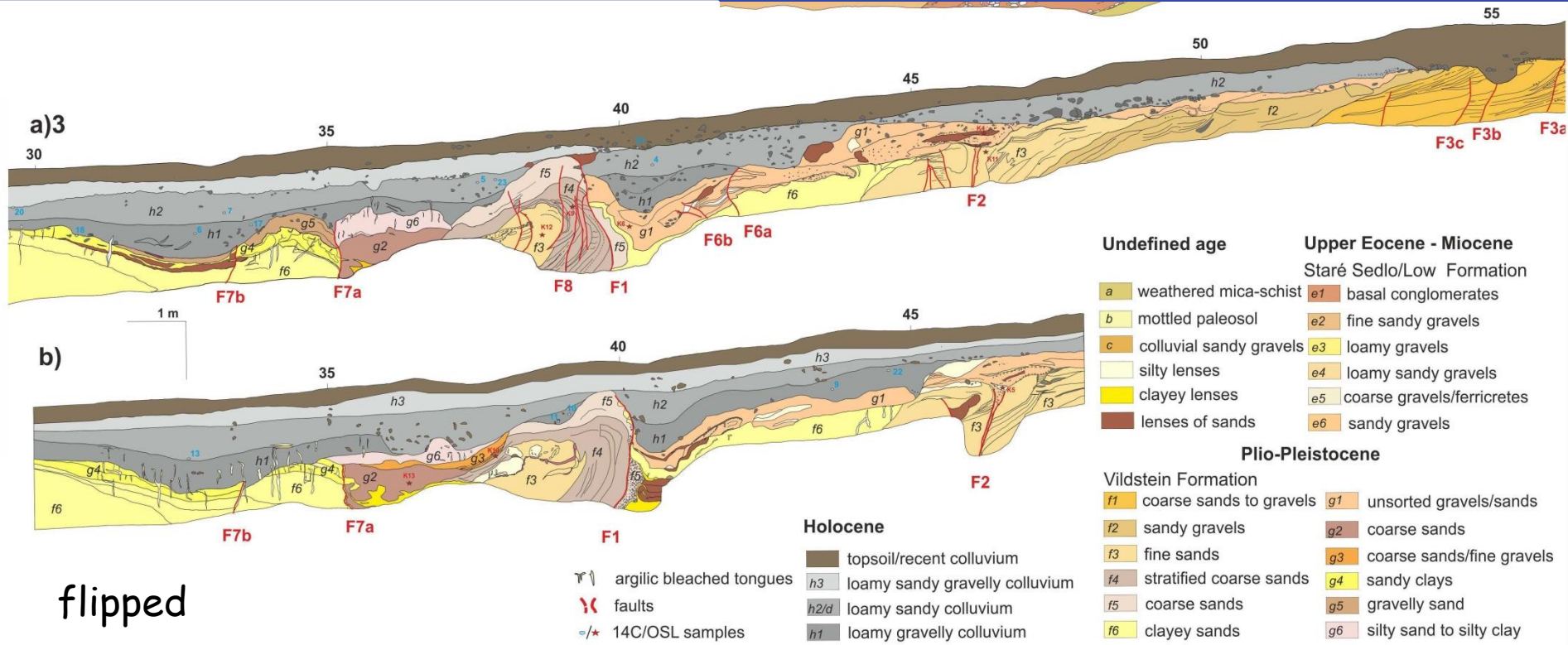
Odhaleny opakované pohyby, několik větví zlomů s různým stářím pohybů a různou kinematikou

JZ Trench A



SV

Geologický profil rýhou (a); stranově převrácená opačná strana rýhy (b)



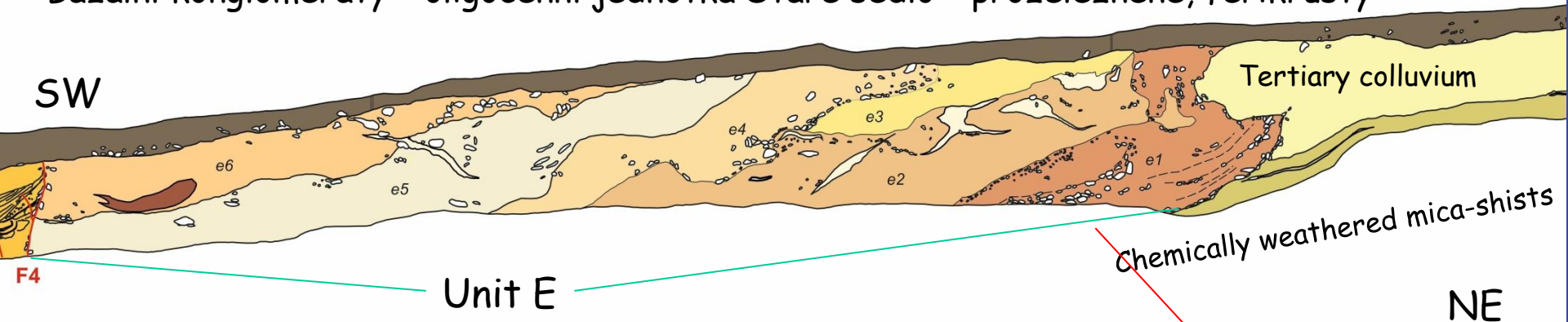
Undefined age		Upper Eocene - Miocene	
Staré Sedlo/Low Formation		Staré Sedlo/Low Formation	
a	weathered mica-schist	e1	basal conglomerates
b	mottled paleosol	e2	fine sandy gravels
c	colluvial sandy gravels	e3	loamy gravels
	silty lenses	e4	loamy sandy gravels
	clayey lenses	e5	coarse gravels/ferricretes
	lenses of sands	e6	sandy gravels
Plio-Pleistocene			
Vildstein Formation			
f1	coarse sands to gravels	g1	unsorted gravels/sands
f2	sandy gravels	g2	coarse sands
f3	fine sands	g3	coarse sands/fine gravels
f4	stratified coarse sands	g4	sandy clays
f5	coarse sands	g5	gravelly sand
f6	clayey sands	g6	silty sand to silty clay
Holocene			
	topsoil/recent colluvium		
h3	loamy sandy gravelly colluvium		
h2/d	loamy sandy colluvium		
h1	loamy gravelly colluvium		

argilic bleached tongues
 faults
 14C/OSL samples

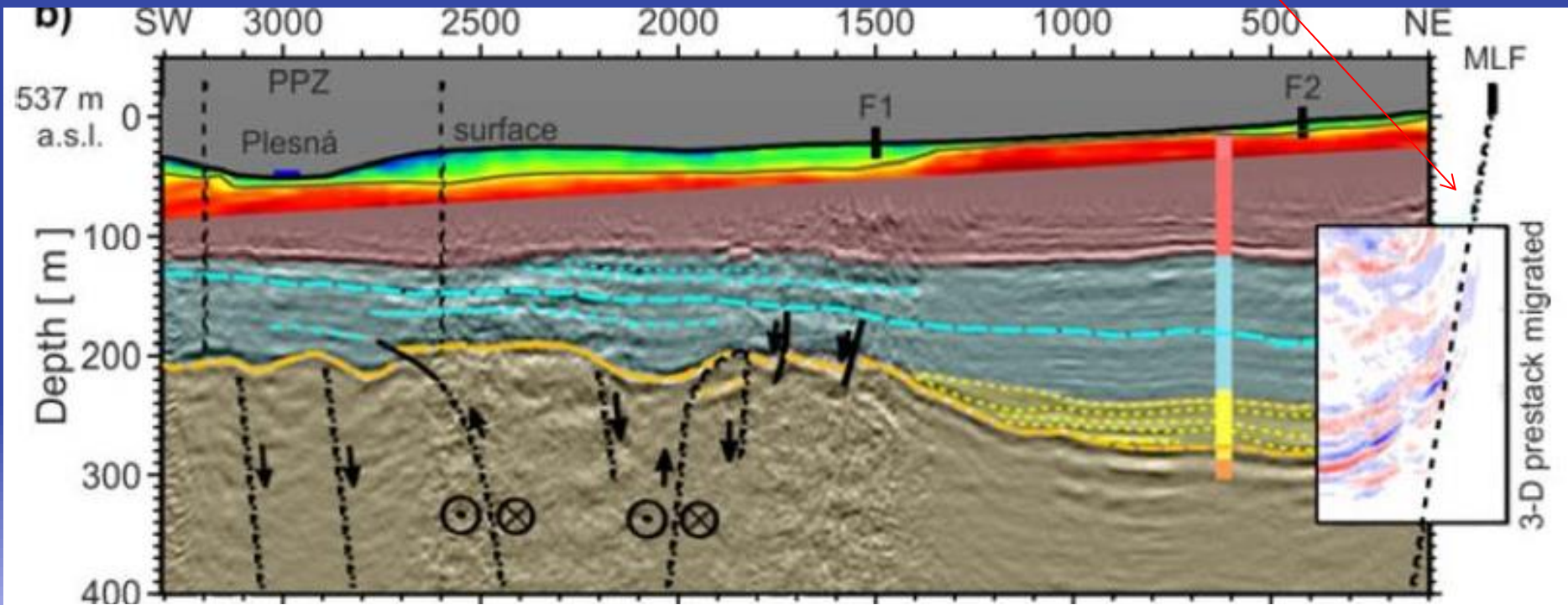
flipped

Krátká exkurze rýhou od SV k JZ do pánve

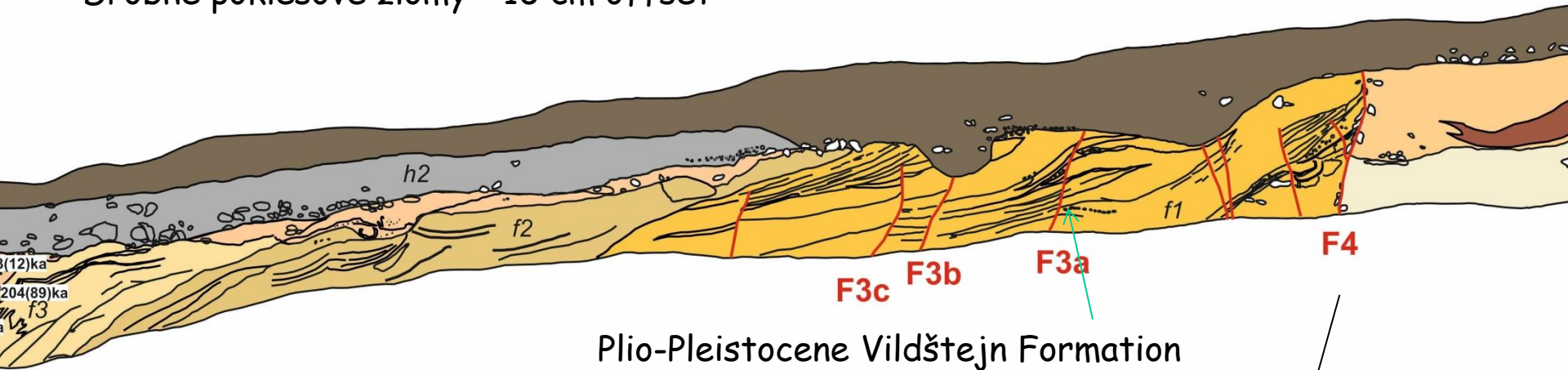
Bazální konglomeráty - oligocenní jednotka Staré sedlo - proželezněné, ferikrusty



Vrstvy jednotky E jsou vyvěčeny podél MLF, jak ukazuje také seismický profil níže



Drobné poklesové zlomy - 10 cm offset

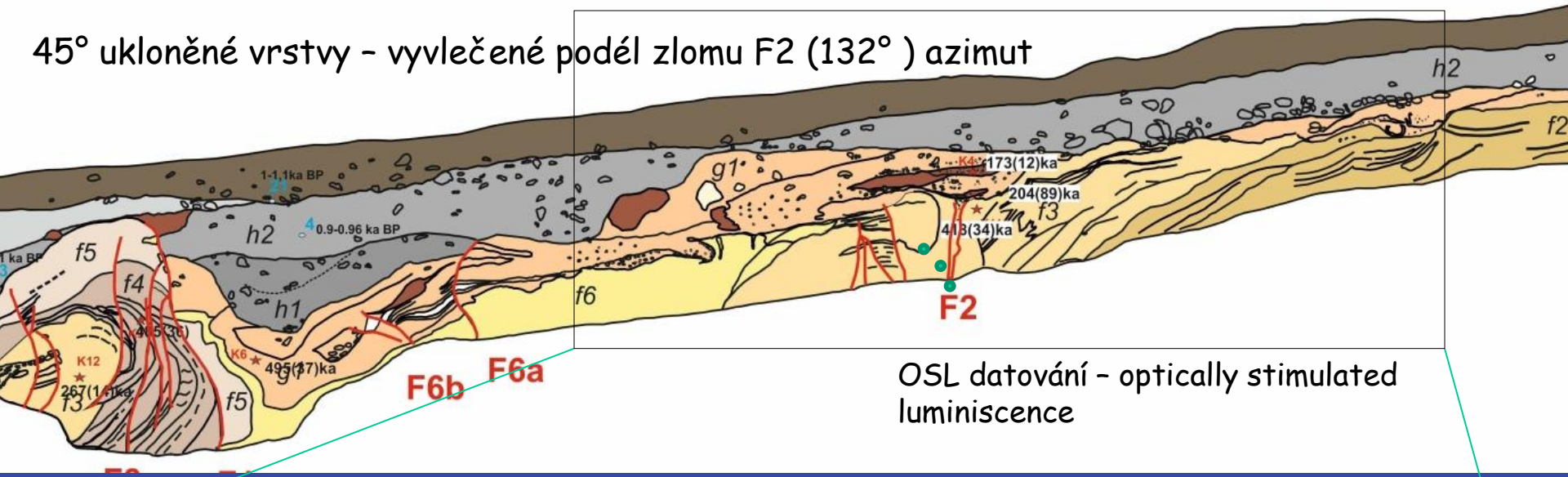


Plio-Pleistocene Vildštejn Formation
Zlom F4 omezuje vildštejnské souvrství - 162° azimut





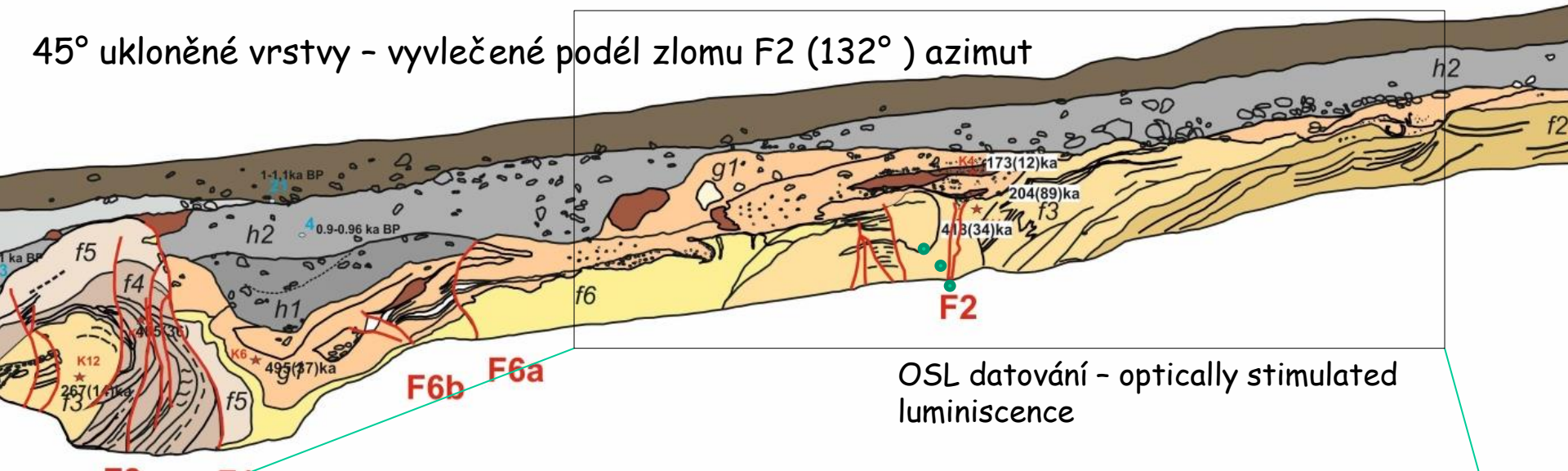
45° ukloněné vrstvy - vytažené podél zlomu F2 (132°) azimut



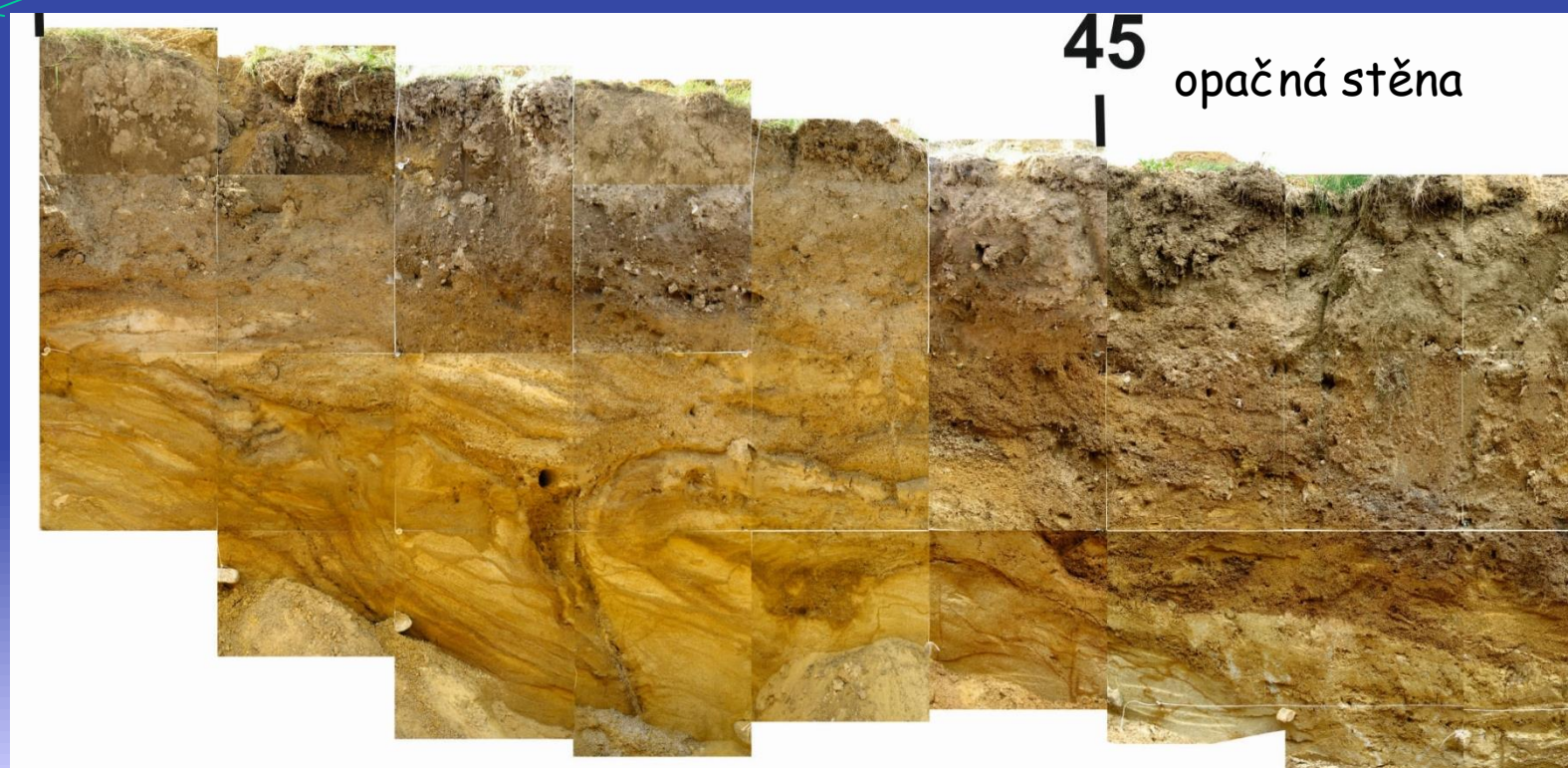
OSL datování - optically stimulated luminescence

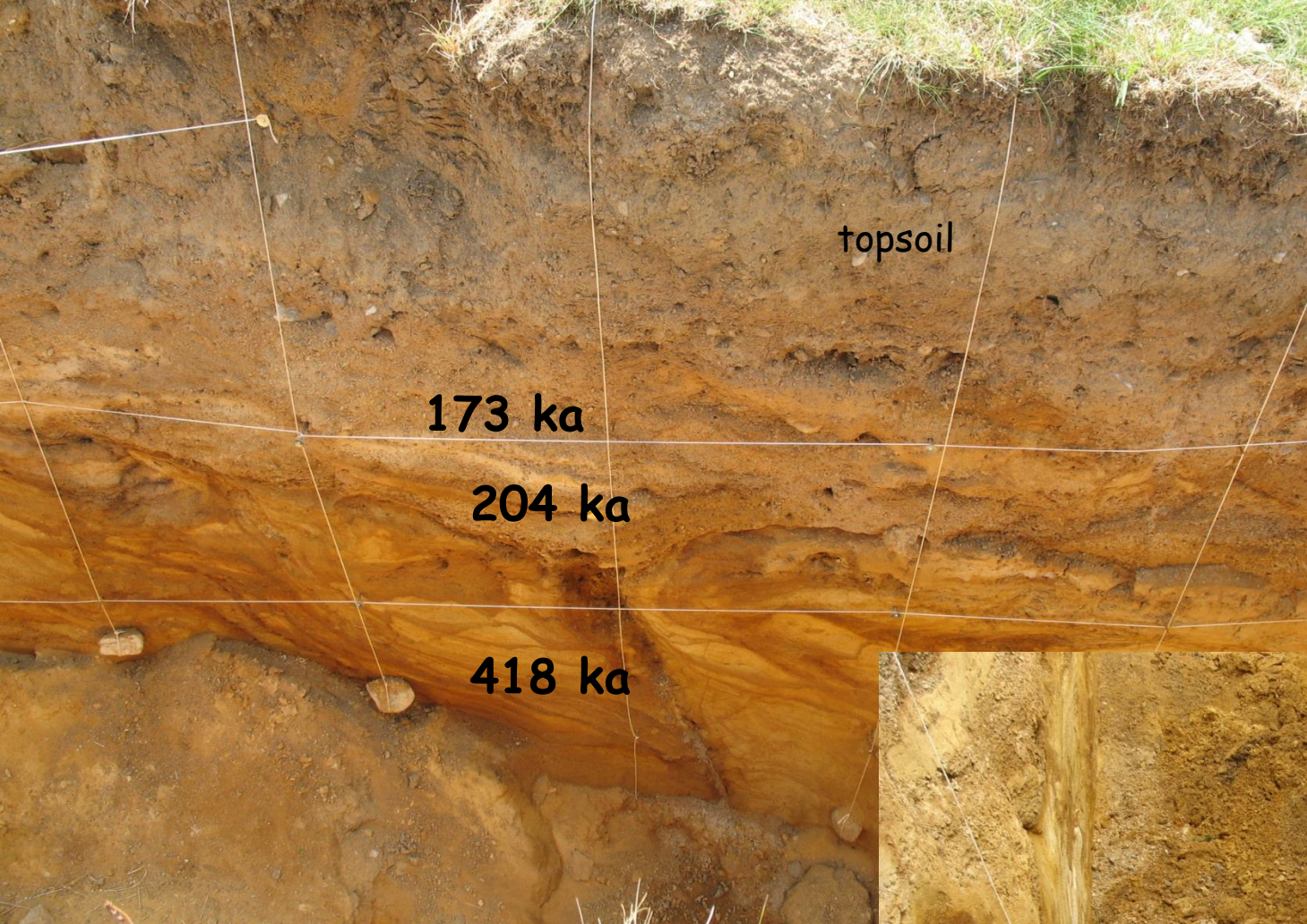


45° ukloněné vrstvy - vyvlečené podél zlomu F2 (132°) azimut



OSL datování - optically stimulated luminescence

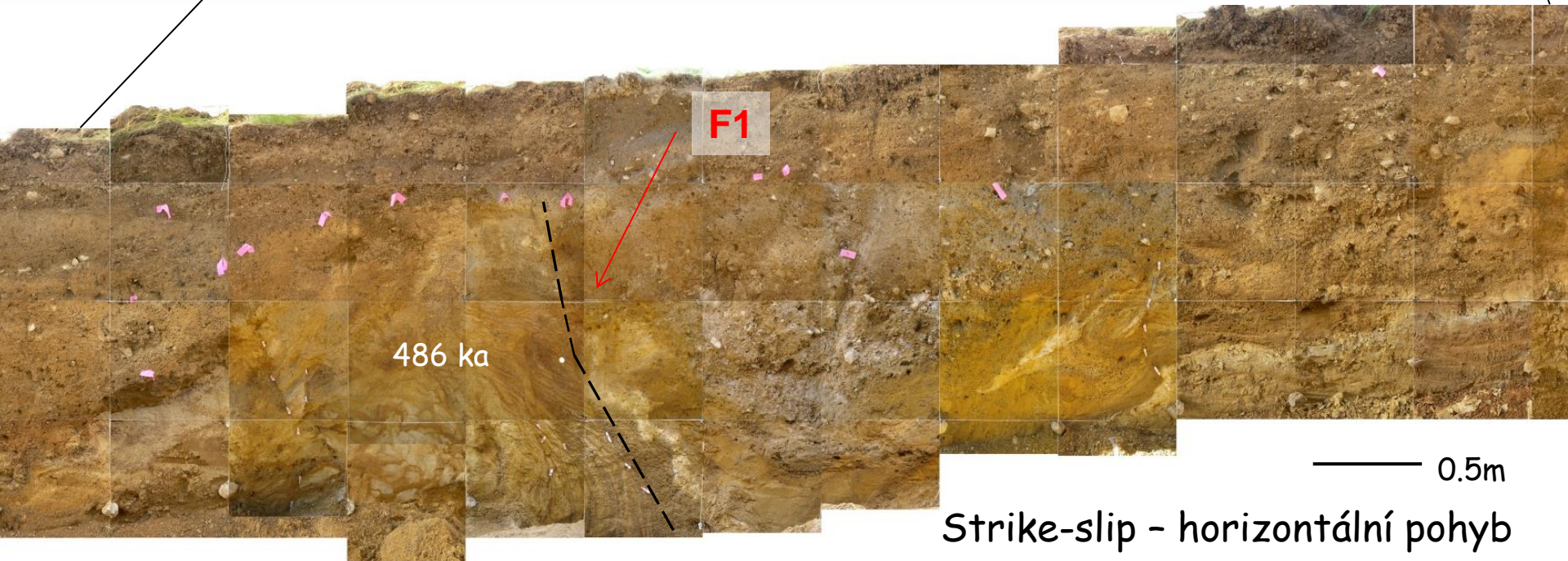
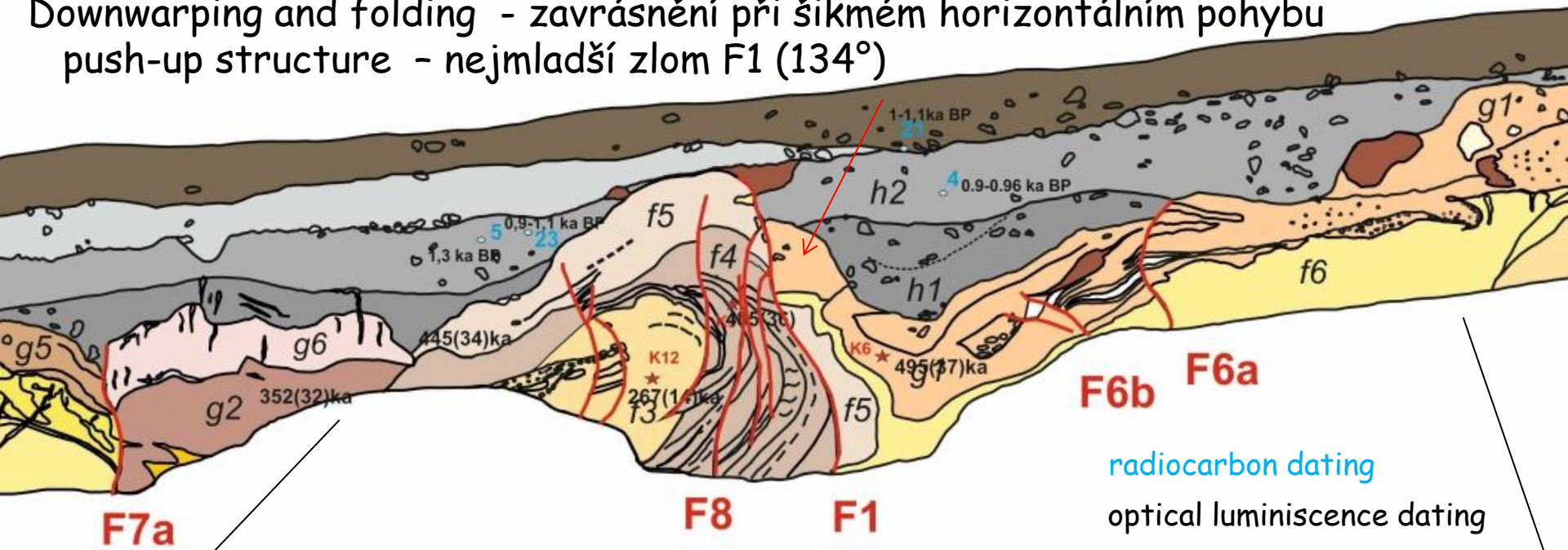


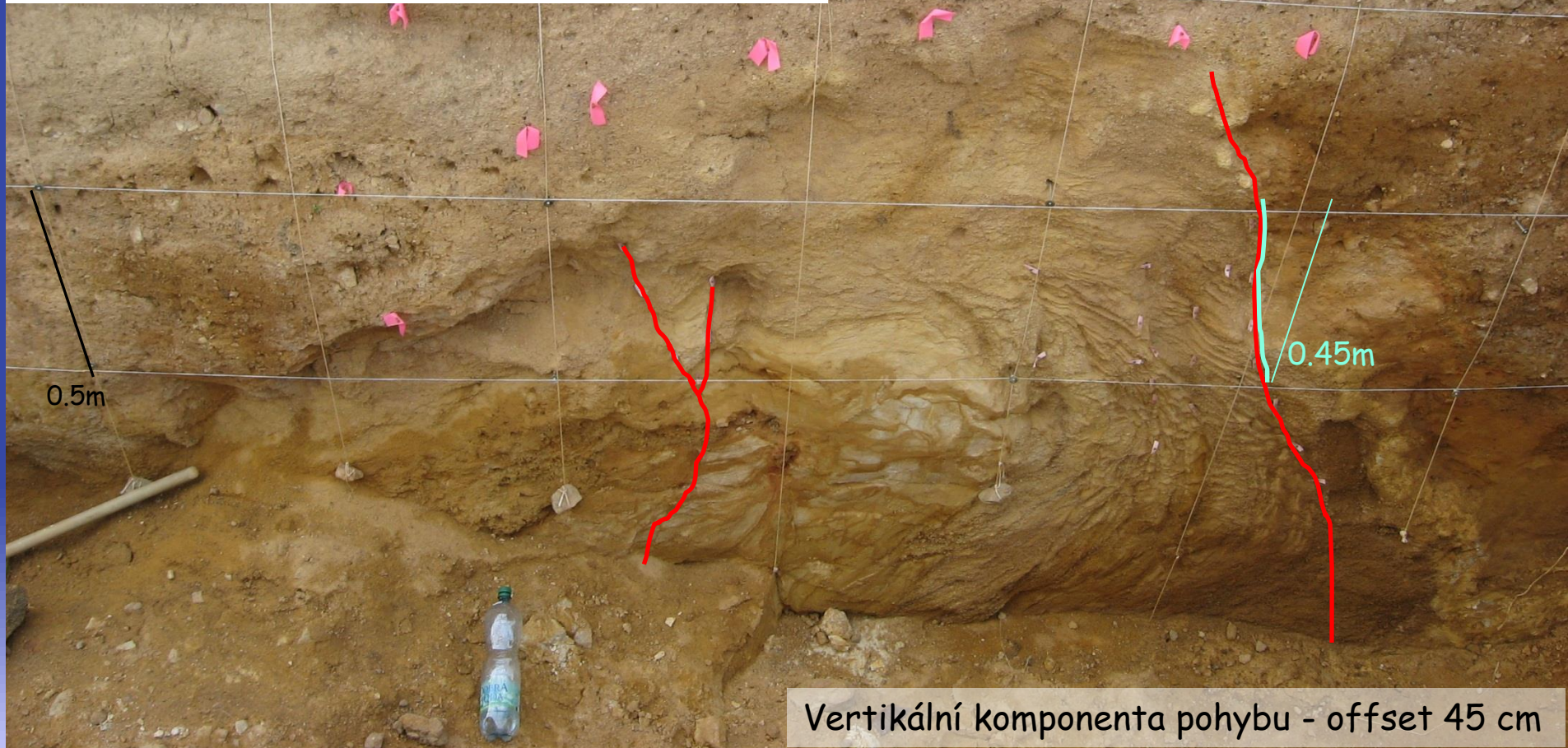
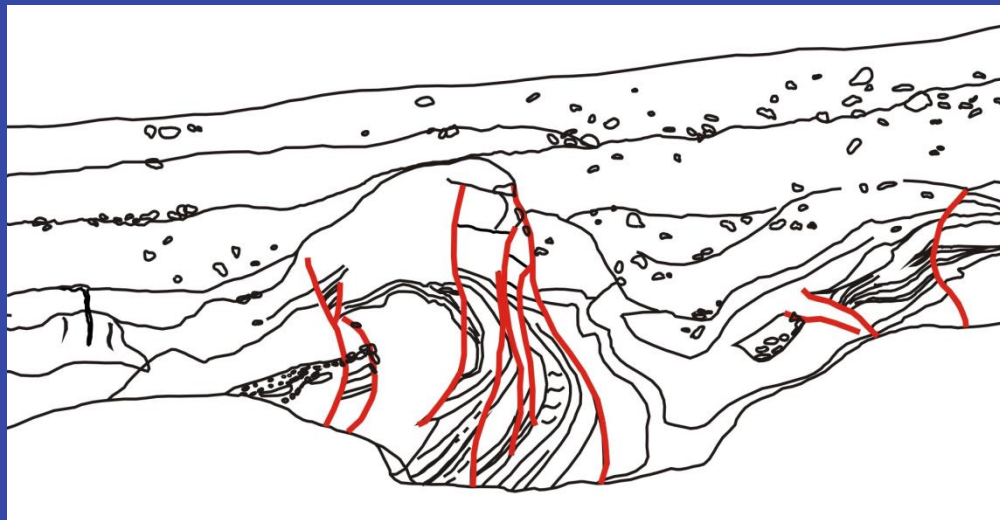


Výplň zlomu bílým jílem a železitá mineralizace kolem zlomu

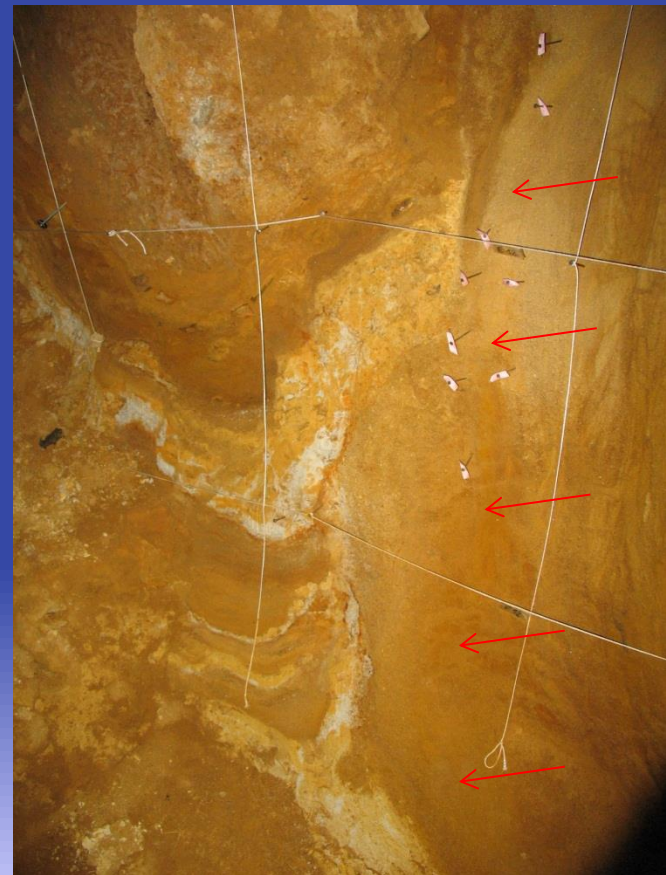
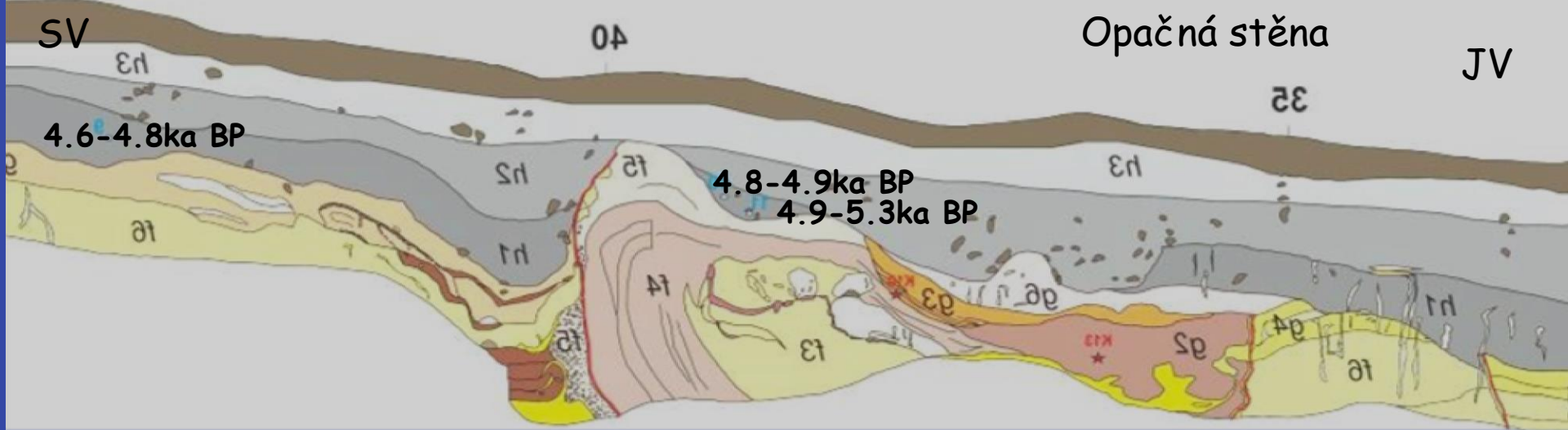


Downwarping and folding - zavrásnění při šikmém horizontálním pohybu
push-up structure - nejmladší zlom F1 (134°)

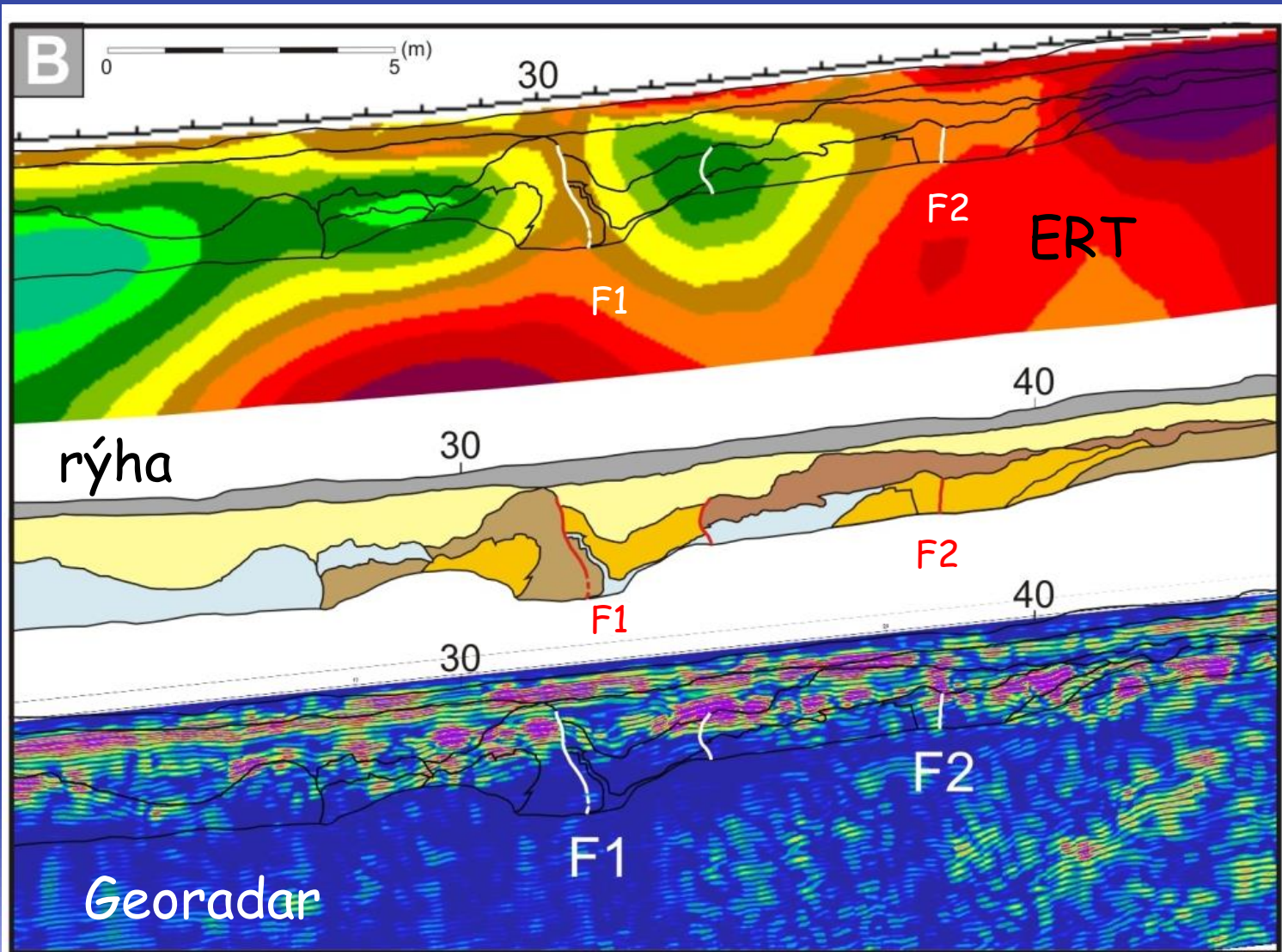




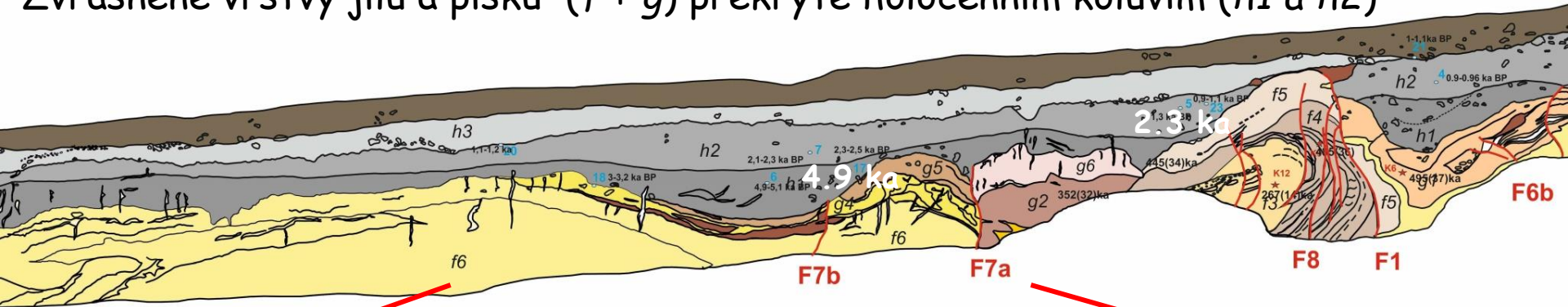
Vertikální komponenta pohybu - offset 45 cm

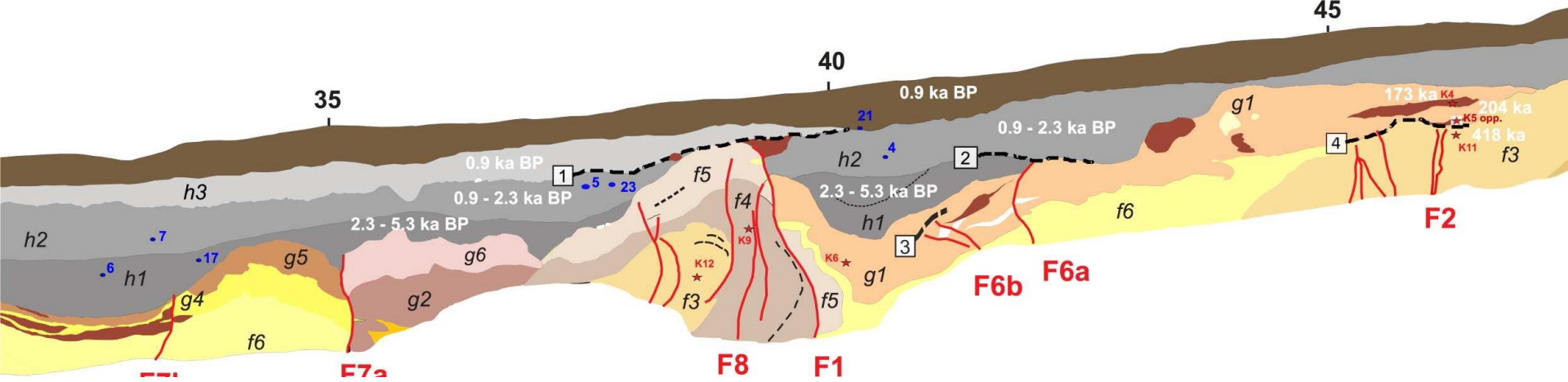


Korelace ERT a georadaru s geologickým profilem rýhou



Zvrásněné vrstvy jílu a písku (f + g) překryté holocenním koluvim (h1 a h2)





Použitý vztah velikosti Magnitudo X délka zlomu
 Magnitudo x posun (displacement) (Wells and Coppersmith 1994)

Event (bracket. units)	Age range	Faults involved	Expected minimum magnitude (used parameter)
Event 7 e1/f1	pre-Pliocene – post Oligocene	basin limit/flexure	
Event 6 f1/f2	pre-~500 ka – Pliocene	F4	
Event 5 f1/f2	pre-~500 ka – Pliocene	F3	$M_W = 6.3 \pm 0.1$ (MD-N)
Event 4 f3/g1	452 ka – 213 ka	F2	
Event 3 g1, f5/h1	3336 BC – 213 ka	F8, F6b	
Event 2 h1/h2	1134 BC – 192 BC	F1, F6a, F7a, F7b	$M_W = 6.5$ to 6.6 (MD-SS) $M_W = 6.4$ to 6.5 (MD-All)
Event 1 h2/h1	792 AD – 1020 AD	F1	$M_W = 6.5 \pm 0.05$ (MD) $M_W = 6.3 \pm 0.2$ (SRL- SS) $M_W = 6.1$ to 6.4 (SRL-All)

Nejmladší námi zjištěné zemětřesení s M 6.3 a více, 792-1020 AD - srovnání s katalogy historických zemětřesení

Earthquake Catalogue for Central and
Southeastern Europe 342 BC - 1990 AD
(Shebalin, N. V., Leydecker, G. et al., 1998):

TUR 790 2 8 i 41.0 d 29.0 d 20s 5.0e 6.0c ho1 egu
SLO 792 2 i 46.0 d 14.5 d 16s 6.0e 8.0c scn khb
TUR 795 j 41.0 d 29.0 d 20s 4.7e 5.5c egu
TUR 797 5 h 41.0 d 29.0 d 20s 5.0e 6.0c ho1 egu
TUR 815 8 h 41.0 c 28.5 c 16c 7.4c10.0b khb egu flo
* 45/0450

CZH 819 k 50.0 d 13.0 d 10s 5.1e 7.5

TUR 840 j 41.0 d 29.0 d 20s 4.7e 5.5c egu
TUR 861 8 i 41.0 d 29.0 d 20s 4.7e 5.5c egu
TUR 865 5 16 g 41.0 d 28.8 d 20s 5.8e 7.5c khb pp ho1 egu
TUR 867 1 9 f 40.8 c 29.3 c 20s 6.6e 8.5c pp khb egu
TUR 869 j 41.0 d 29.0 d 20s 4.7e 5.5c egu
GR 896 3 i 40.6 c 22.5 c 30s 6.7e 8.0c vgl khb pp
MAC 896 9 4 i 41.7 d 22.9 d 30s 7.3e 9.0c khb
TUR 926 j 41.0 d 27.5 d 20s 5.8e 7.5c pp egu
TUR 945 j 41.0 d 29.0 d 20s 5.6e 7.0c khb egu
GR 968 12 12 g 39.7 c 19.9 c 20c 6.5d 8.5c mon sie khb gl
* 35/0360

ROM 984 i 46.0 c 21.0 c 16c 5.8c 8.0b flo re cm
* 50/0120

SLO 985 i 46.1 c 14.4 c 10s 4.2f 6.0d ho1
TUR 990 j 41.0 d 27.0 d 30s 6.0e 7.0c egu

CZH 998 7 h- 50.4 c 13.4 c 30b 6.2b 8.0

* kmm sie npt pa2
* PER aim3
* 70/0045 50/0220
* 35/0400
A 1000 3 29 g 46.5 c 14.0 d 28b 6.9c 8.0b khb mon kmm
* alx1 vgl pa2 EV
* las MO
* 30/0640

TUR 1010 1 8 f 40.6 c 27.0 c 27c 7.2c 9.0c pp ho1 egu
* 60/0160

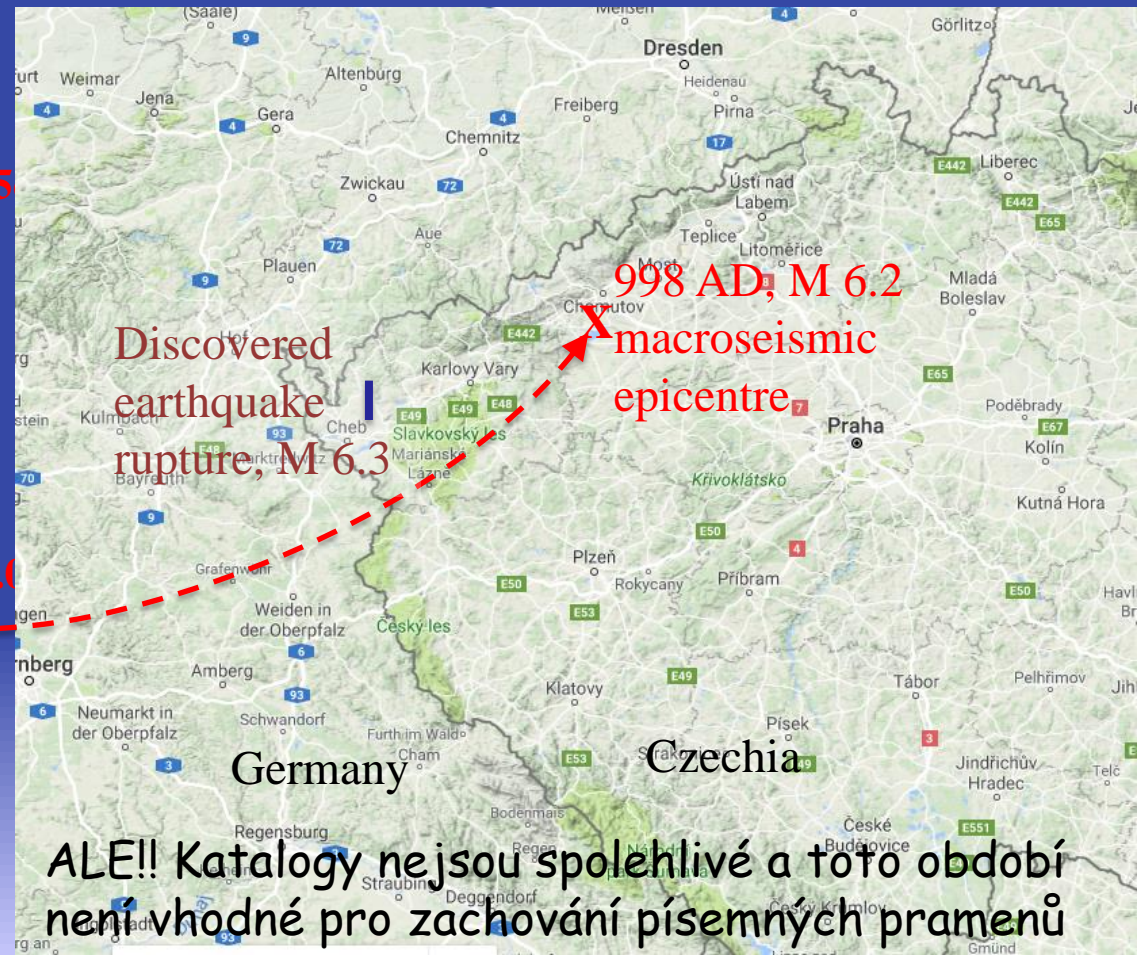
TUR 1010 3 9 i 41.0 c 28.8 c 20s 6.5d 8.5b mon ho1 khb
CZH 1011 i 50.6 b 15.6 b 20s 4.6d 6.0b si2 pa2 kmm

POL 1014 11 18 f 50.5 c 17.0 d 20c 5.2c 6.5b si2 pa2 kmm
* 50/0060 35/0210

POL 1016 7 25 h 49.5 b 20.0 d 20s 4.3e 5.5c las PER MO EV1
* pa1 kmm

Earthquake catalogue for Germany and adjacent
areas for the years 800 to 2008 (Leydecker, 2011).

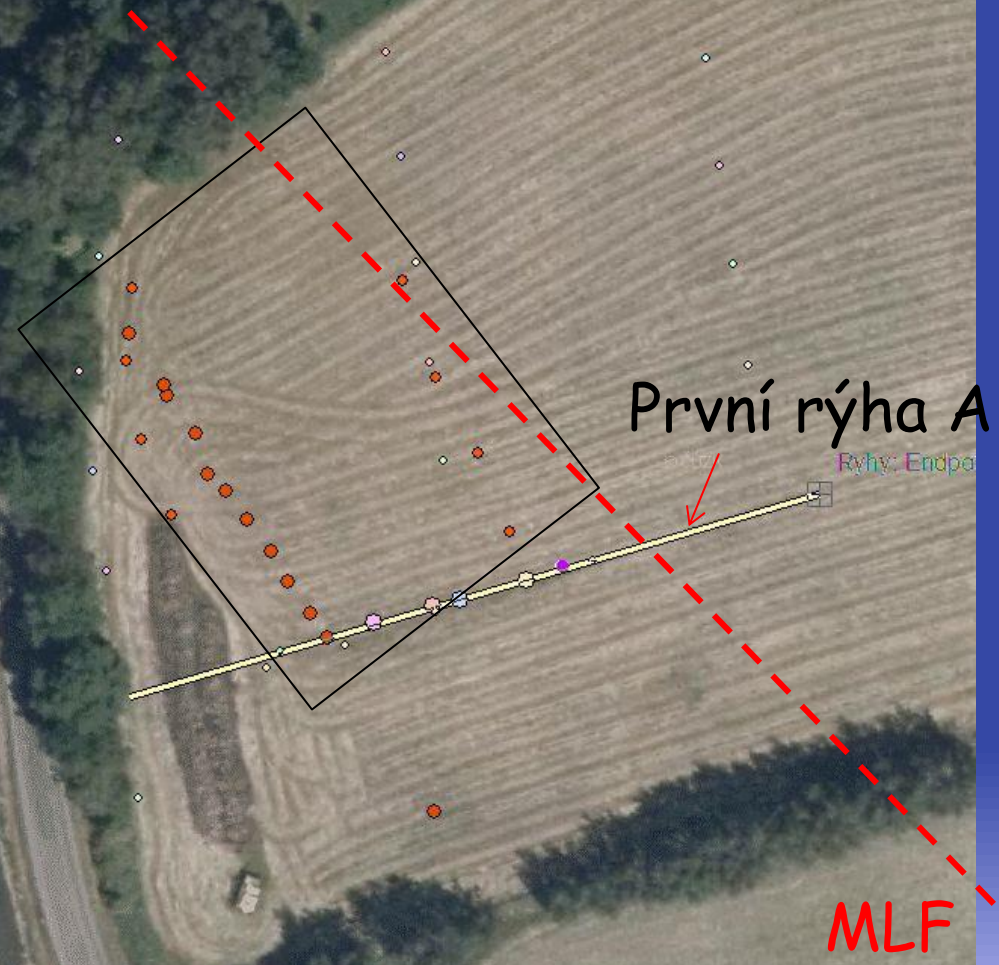
813	35048	606	3NBNW	MK402	SAY	AACHEN
823	5048	606	4NBNW	MK702	220	SAY AACHEN
823	51	6012480	5CSSA	MK703	G1y	N-SACHSEN
827	51	6012480	5CSSA	MK753	G1y	N-SACHSEN
834	5048	606	4NBNW	MK602	SAY	AACHEN
841	51	012120	4CSAH	MK403	G1y	ZEITZ
8580101	45000	818	4NRRP	MK702	130	SAY MAINZ
868	51	012120	4CSAH	MK552	G1y	ZEITZ
8721203	5000	818	3NRRP	MK552	SAY	MAINZ
997	52	6011360	5AMAH	MK602	G1y	ALTMARK
1011	5036	1536	SUCR	MK60	SHY	TEPLITZ
1012 1012	5230	1130	4AMAH	MK55M	100	SAY ALTMARK



ALE!! Katalogy nejsou spolehlivé a toto období není vhodné pro zachování písemných pramenů

Pro potvrzení a upřesnění nejmladšího zemětřesení - 3D trenching ro zachycení něčeho, co by bylo přetato a horizontálně posunuto

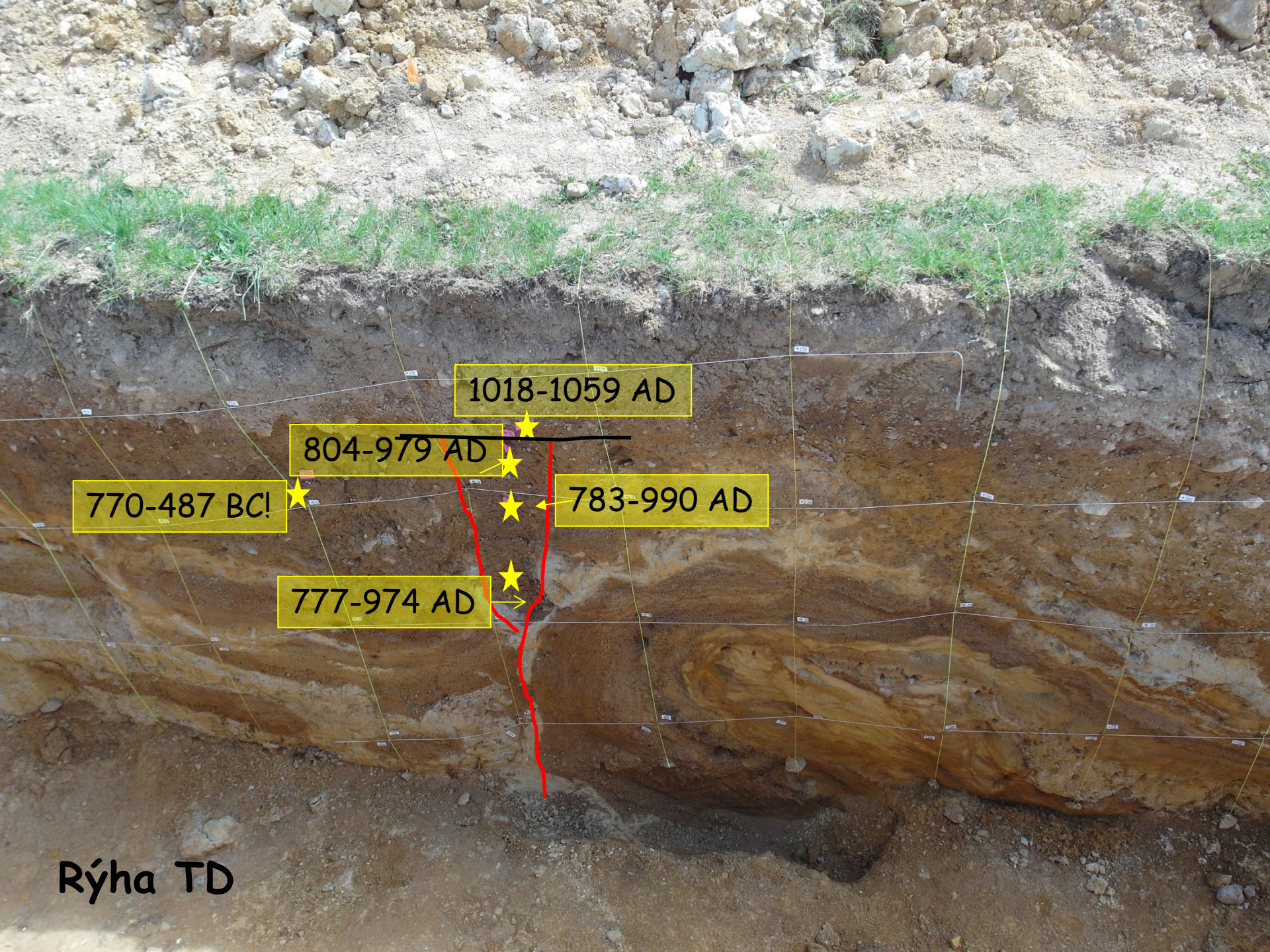
3D trenching, microtrenches



Pro potvrzení a upřesnění nejmladšího zemětřesení - 3D trenching ro zachycení něčeho, co by bylo přetáto a horizontálně posunuto

3D trenching,
microtrenches





1018-1059 AD

804-979 AD

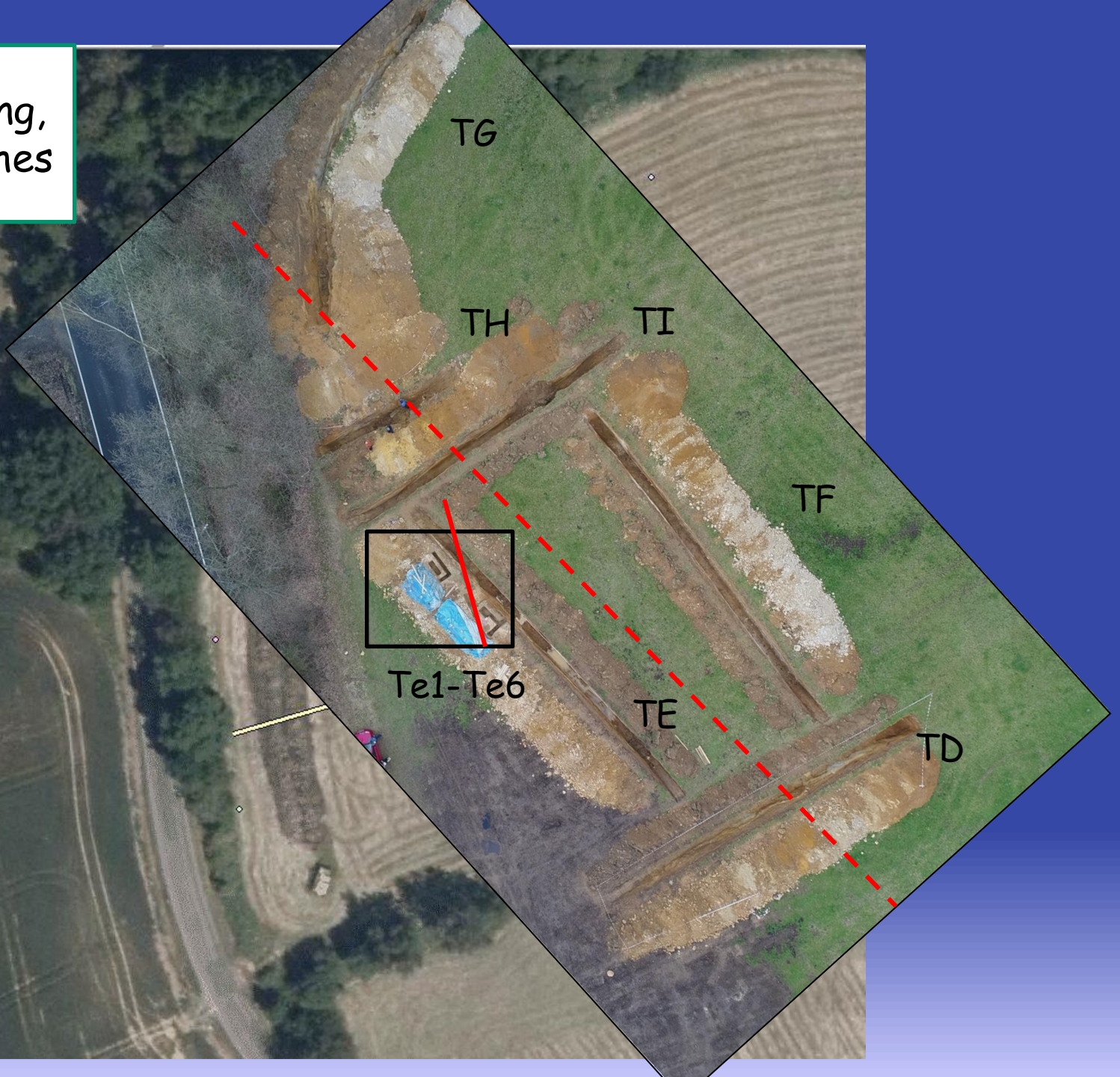
770-487 BC!

783-990 AD

777-974 AD

Rýha TD

3D trenching,
microtrenches





Rýha TE - stěna exponovaná k SV,
korýtko s holocenními sedimenty utřáté zlomem

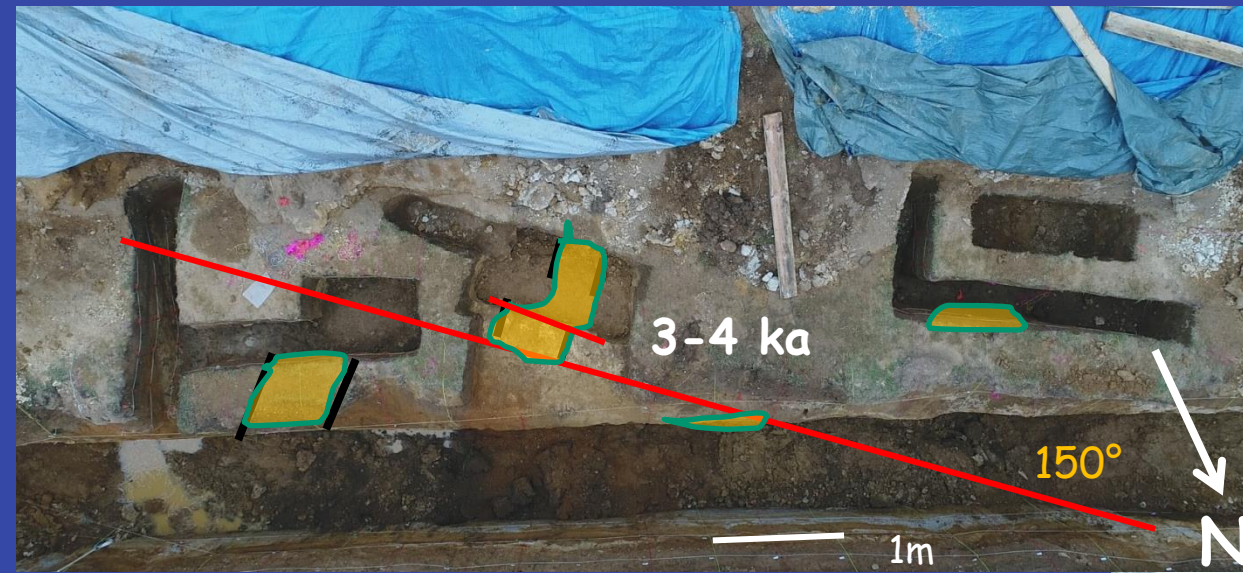


Rýha TE - stěna exponovaná k SV,
korýtko s holocenními sedimenty utřené zlomem



Rýha TE - stěna exponovaná k SV,
Druhé korýtko s holocenními sedimenty utřáté zlomem

Mikrotrenche - v nich postupné odkrývání porušených sedimentů korýtka po 10 cm řezech až naražení na zlom (150°azimut) a uskočené korýtka (oranžová výplň) -viz foto vlevo



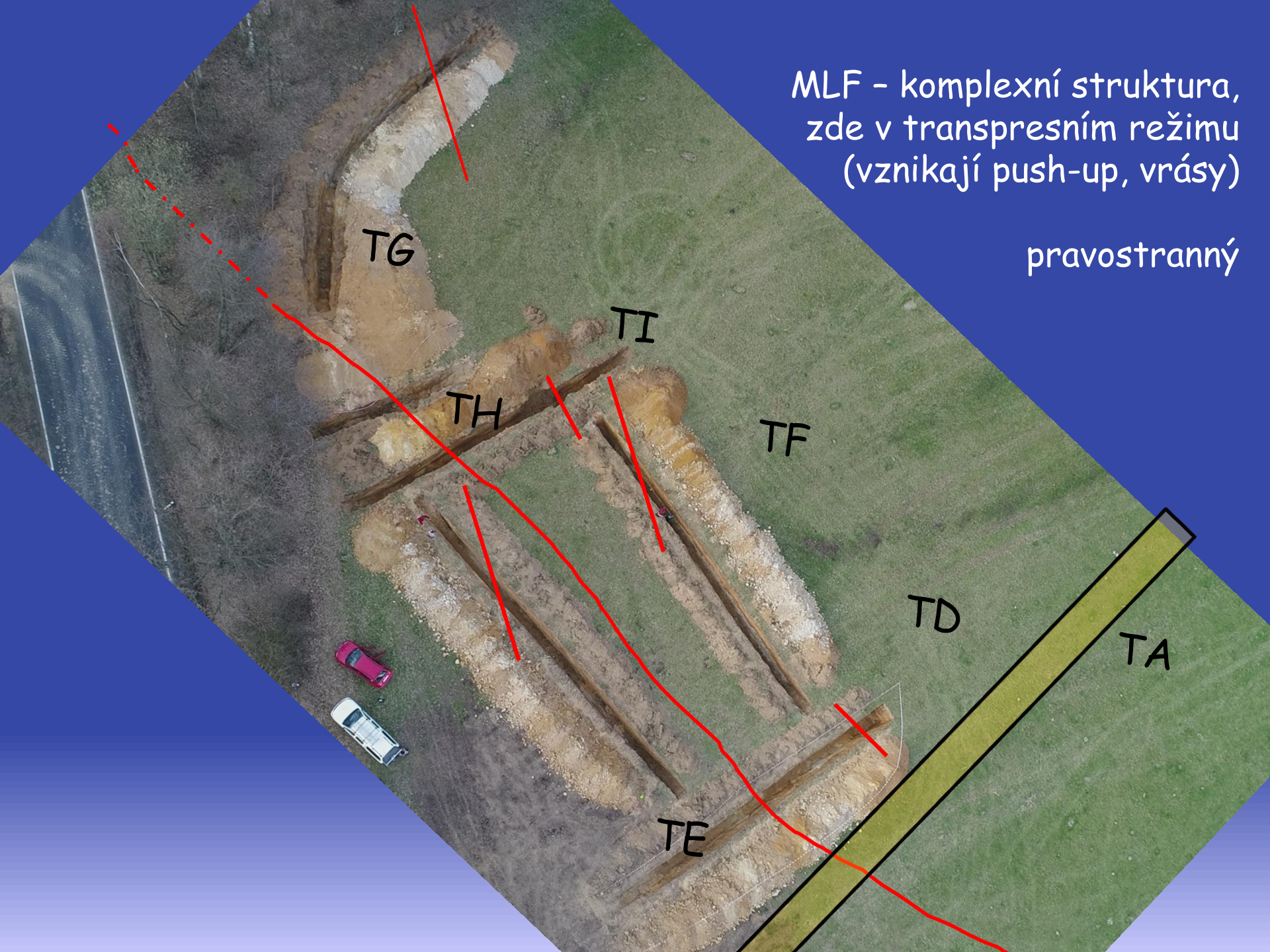
1-1,5m pravostranný offset
výplně korýtka datovaného na 3-4 tis. let

Odpovídalo by to dvěma
událostem/zemětřesením v souladu s
předchozími rýhami, viz výše
(0,5-0,75m per event)



MLF - komplexní struktura,
zde v transpresním režimu
(vznikají push-up, vrásy)

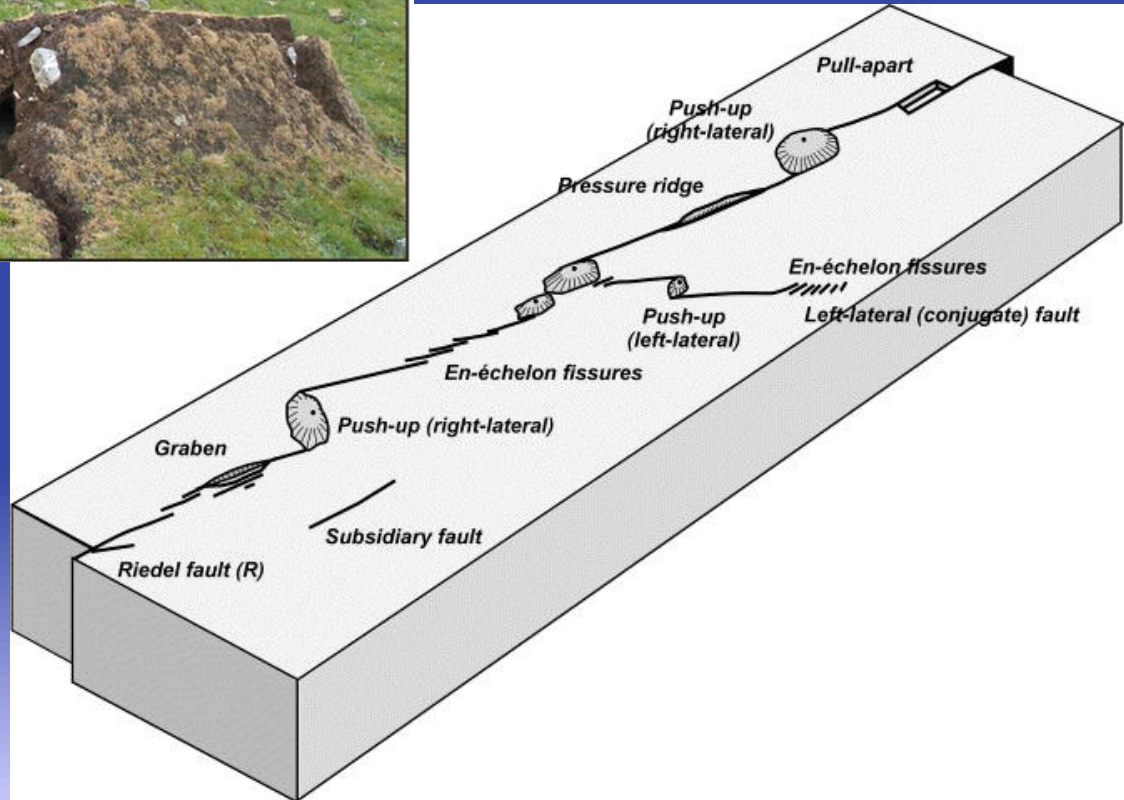
pravostranný

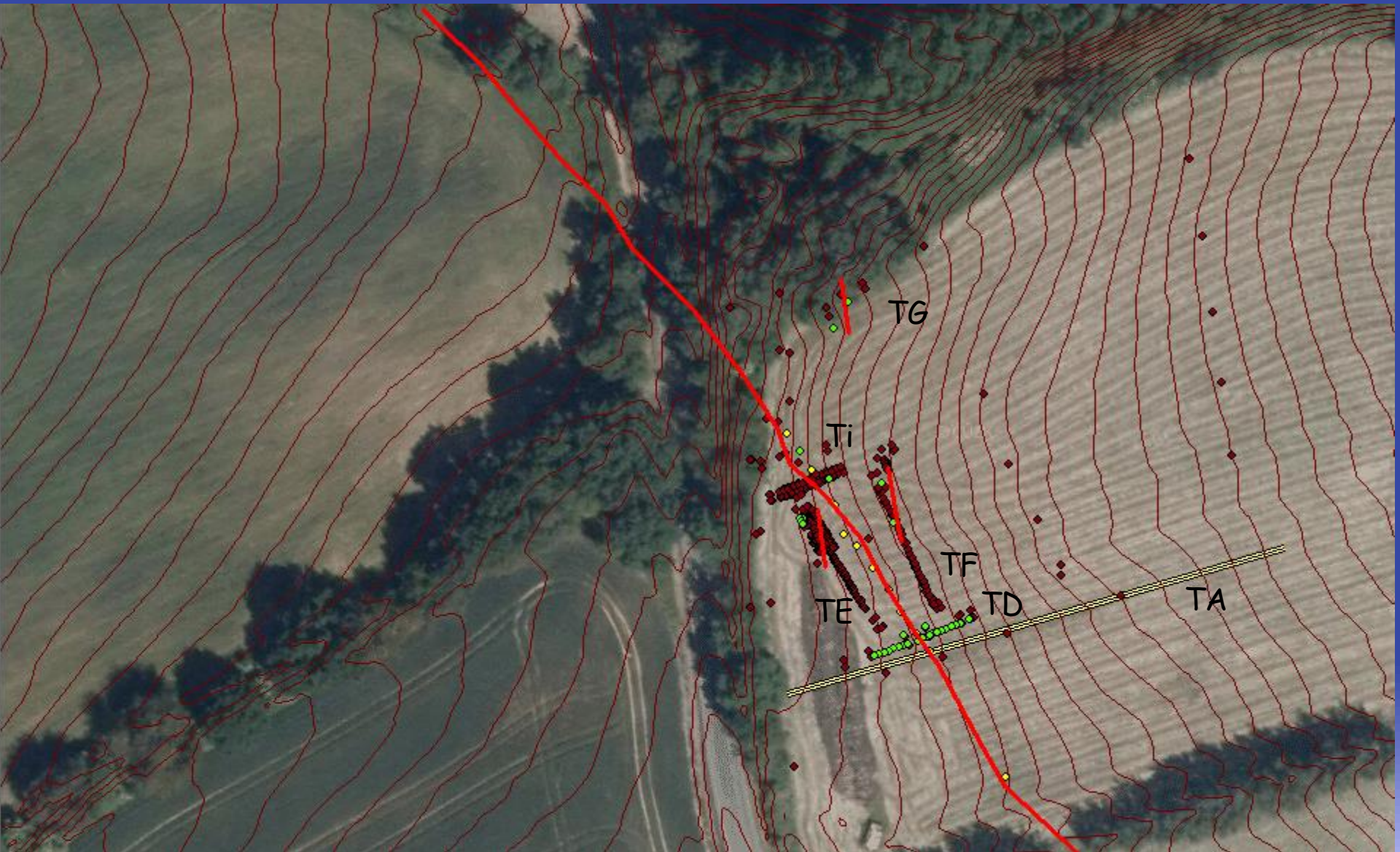




(a)

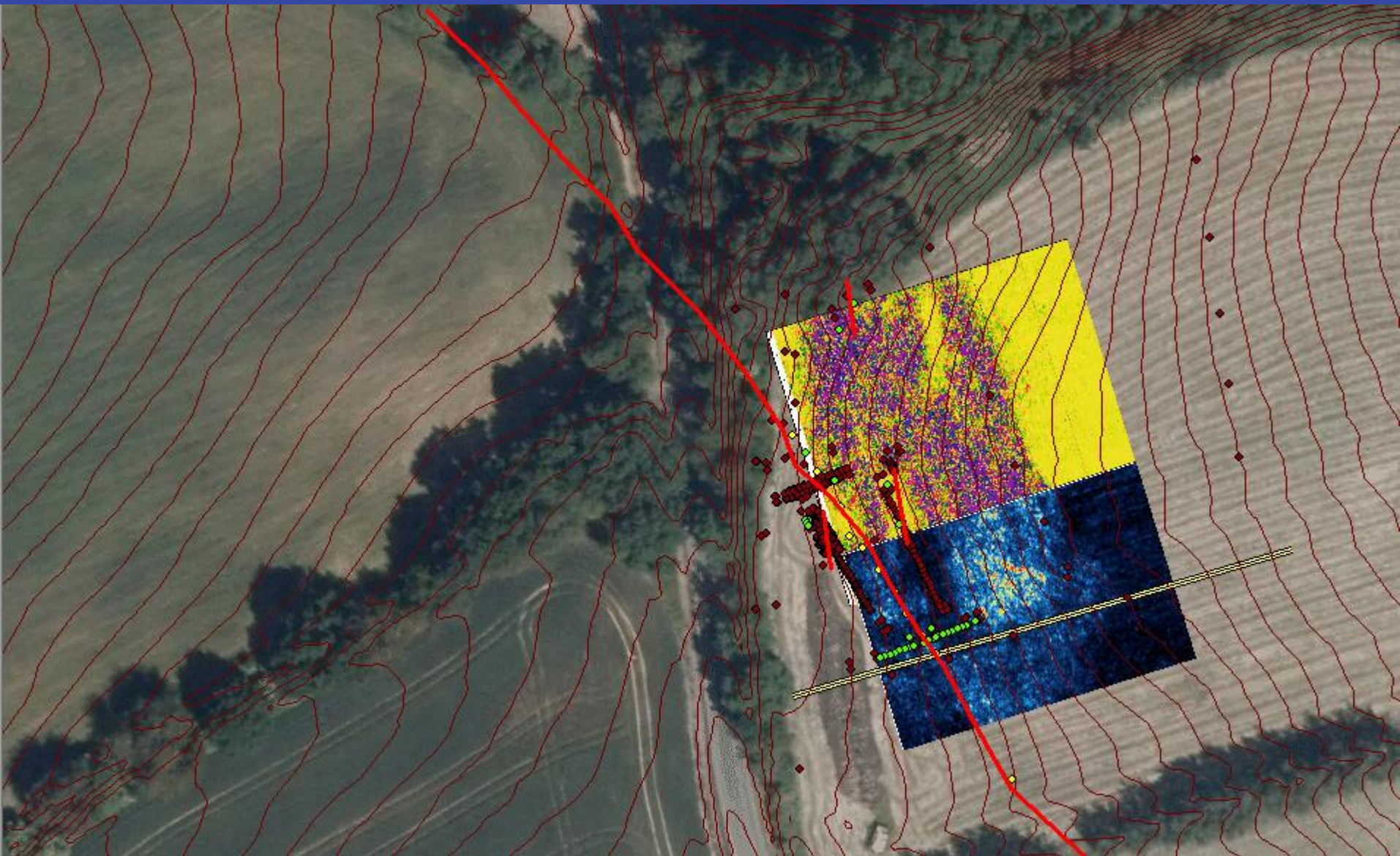
Takto složitě např. vypadá povrch čerstvě po pravostranném pohybu v transpresním režimu



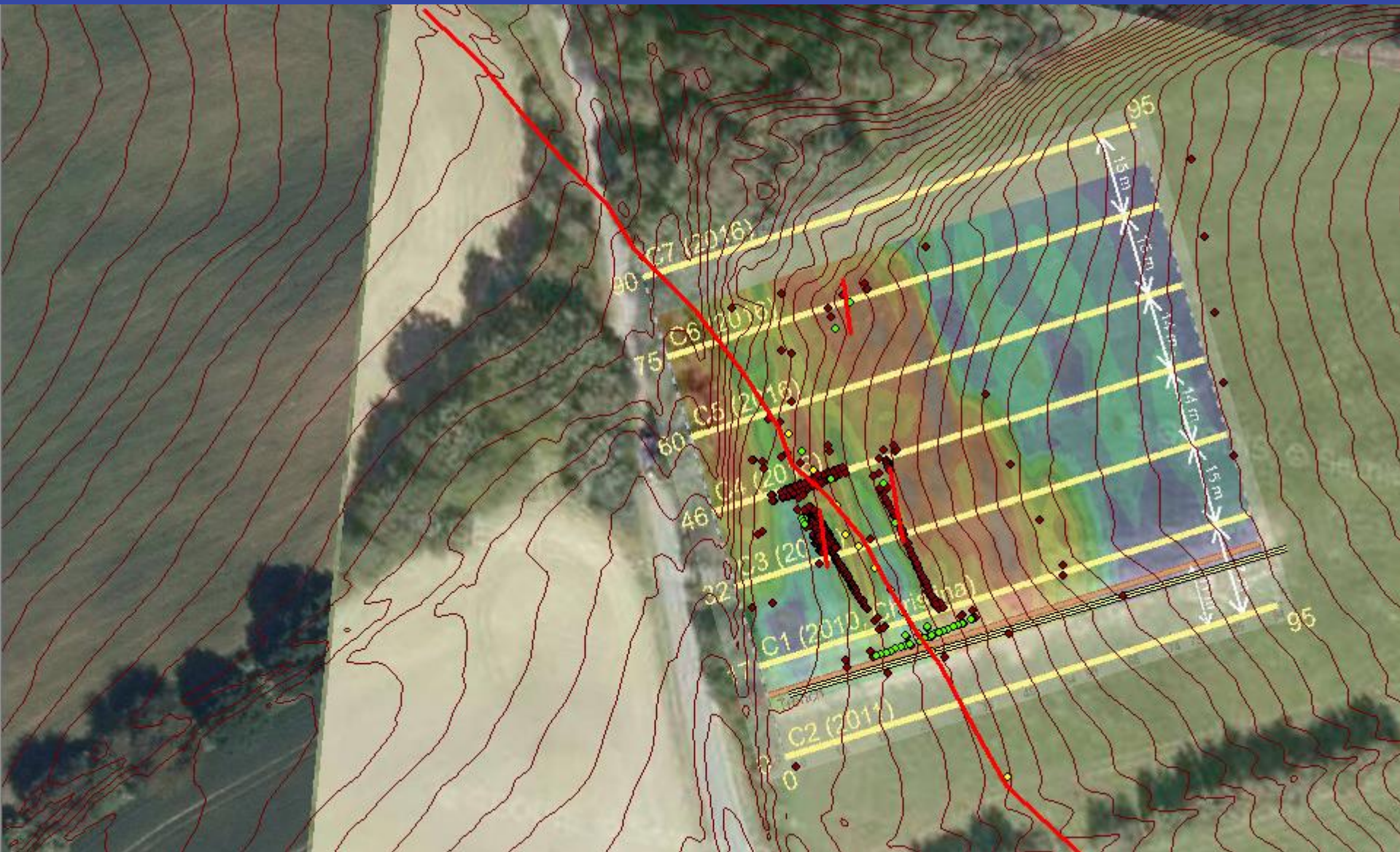


Složitost struktury ukazuje i geofyzikální obraz, který je v souladu s
nalezenými zlomy odkrytými v rýhách

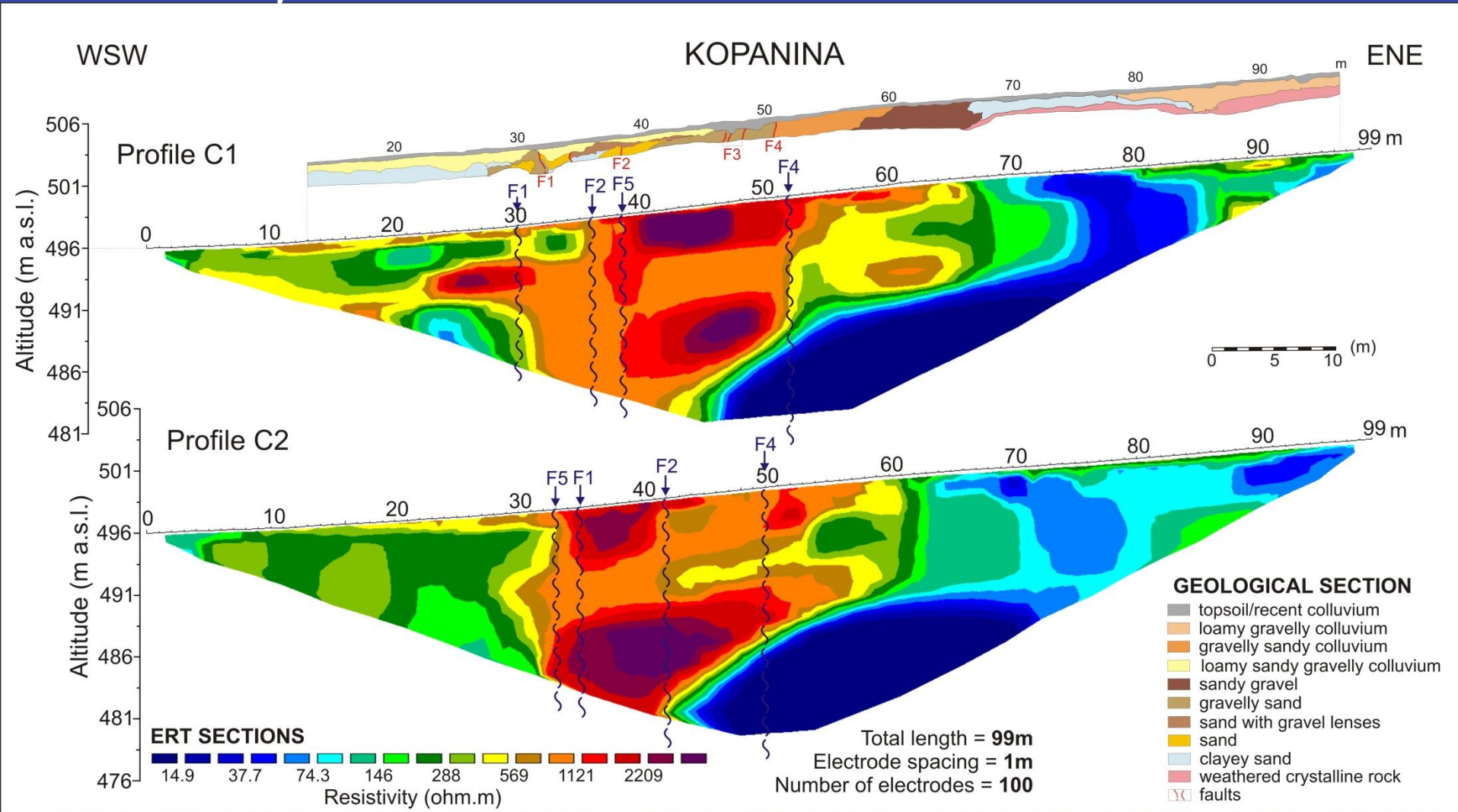
3D Georadar GPR 250MHz anténa



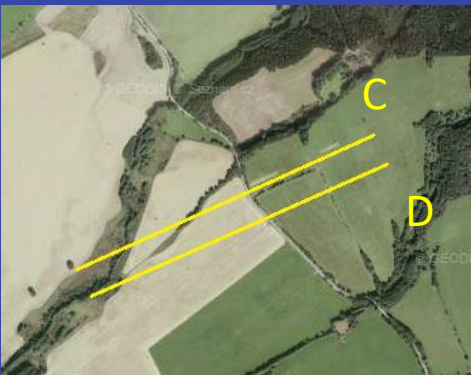
Pseudo-3D ERT



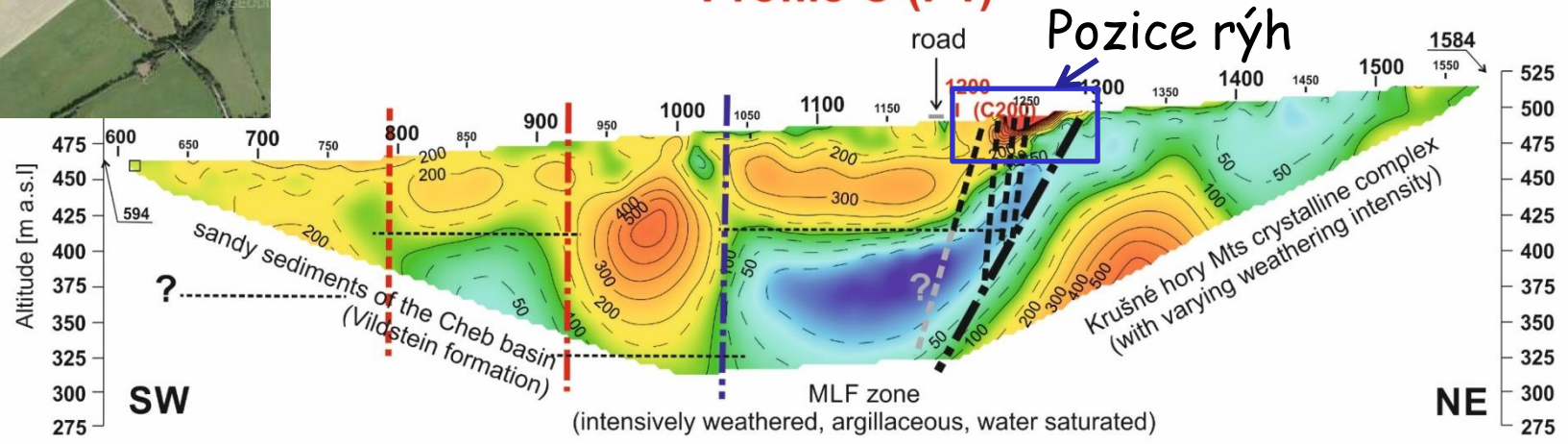
ERT a rýha A



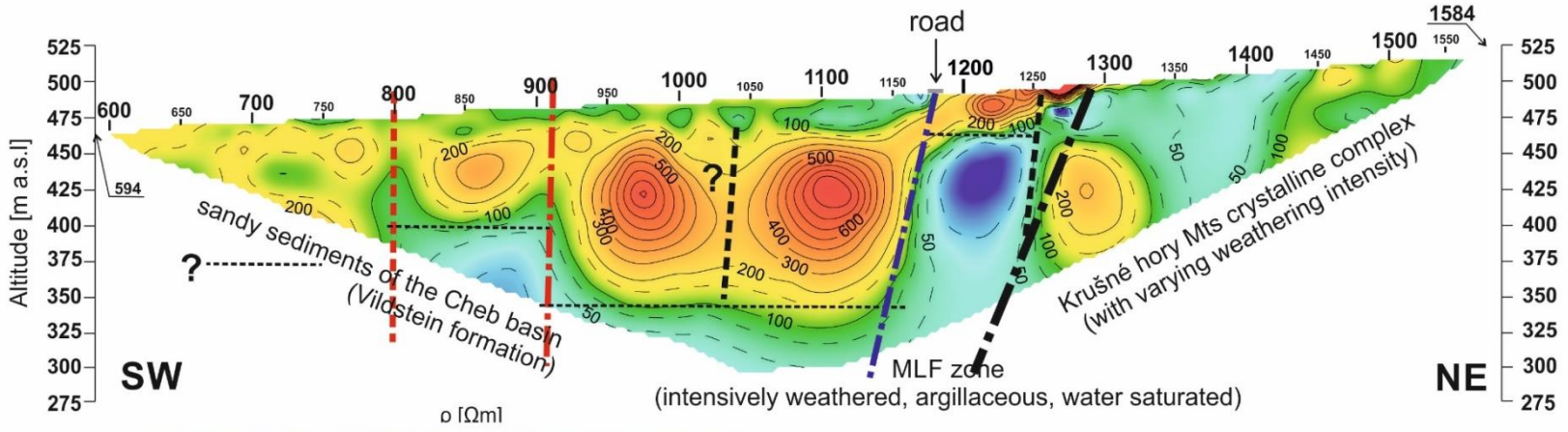
Hlubkový geofyzikální obraz MLF zřejmě jeden společný zlom v hloubce



Profile C (P1)



Profile D



Výsledky a závěry

- Odkryli jsme zlomovou zónu 28 m širokou -
Větve zlomu o různé kinematice a stáří (oligocén až holocén),
migrující aktivita směrem do pánve, zřejmě jeden společný
zlom v hloubce
- Rychlé pohyby = zemětřesení
Na základě morfologie (fault scarp, folds, push-up, fissures), a
porušené stratigrafie
- Dvě holocenní zemětřesení o M 6.3 - 6.5
1134 BC - 192 BC
792 AD - 1020 AD
 - katalogy zemětřesení - 2 nebo 3 kandidáti, ale nedostatek
písemných dat z té doby obecně; možná odpovídá zemětřesení
z července 998 AD



Díky za pozornost....

Štěpančíková P., Fischer T., Stemberk J. jr., Nováková L., Hartvich F., Figueiredo M. P. (2019): Active tectonics in the Cheb basin: youngest documented Holocene surface faulting in central Europe? *Geomorphology*, 327, 472-488.

Štěpančíková P. (2019): Pod nohama číhá nebezpečí. Objev nejmladšího velkého zemětřesení v českém masivu. *Vesmír* 98, 296, 2019/5