



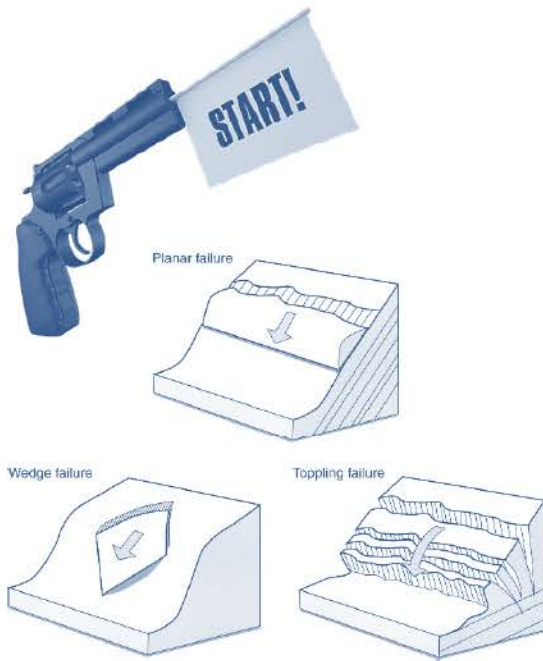
# Prečo padajú skaly?

## - pohľad inžinierskeho geológa.

Moderné metódy a inovácie vo výskume skalných svahov



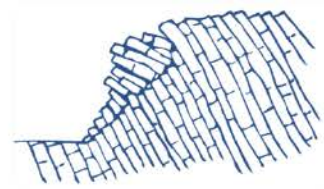
# Spúšťacie faktory (Triggering factors)



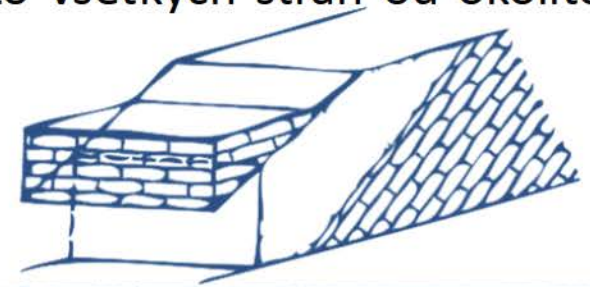
- Infiltrácia zrážkovej vody
- Cykly mrznutia a topenia
- Chemická dezintegrácia
- Tektonická aktivita
- Vibrácie - odstrel v lomoch  
- zemetrasenia
- Korene rastlín

| Failure mode<br>(1)                   | Description<br>(2)                                                                                                          |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Erosion, piping                       | Gullies formed by action of surface or ground water                                                                         |
| Ravelling                             | Gradual erosion, particle-by-particle or block-by-block                                                                     |
| Block sliding<br>on a single<br>plane | Sliding without rotation along a face;<br>single or multiple blocks                                                         |
| Wedge sliding                         | Sliding without rotation on two nonparallel<br>planes, parallel to their line of<br>intersection; single or multiple blocks |
| Rock slumping                         | Backward rotation of single or multiple<br>blocks, moving into edge/face contact to<br>form one or more detached beams      |
| Toppling                              | Forward rotation about an edge—single or<br>multiple blocks                                                                 |
| Slide toe<br>toppling                 | Toppling at the toe of a slide in response<br>to active loading from above                                                  |
| Slide head<br>toppling                | Toppling behind the scarp at the top of a<br>slide                                                                          |
| Slide base<br>toppling                | Toppling of beds beneath a slide mass due<br>to shear across their tops                                                     |
| Block torsion                         | Rotary sliding in a single plane                                                                                            |
| Sheet failure                         | Tensile failure and fall or sliding of<br>hanging sheets                                                                    |
| Rock bridge<br>cracking               | Failure of intact rock that restrains block<br>motion, through compressive, tensile or<br>flexural cracking                 |
| Slide base<br>rupture                 | Rupture of the rock mass beneath the slide<br>caused by slide-transmitted shear and<br>moment                               |
| Buckling and<br>kink band<br>slumping | Compressive collapse of columns or slabs<br>parallel with the rock slope face                                               |
| Soil-type<br>slumping                 | Shearing with backward rotation, as in clay<br>soils                                                                        |
| Rock bursting                         | Hard rock under breaking stress                                                                                             |

# Mechanizmy porušenia skalných masívov



Skĺzavanie blokov (block sliding) po jednej šmykovej ploche môže nastať len ak je eventuálny blok kompletne oddelený zo všetkých strán od okolitého horninového masívu.

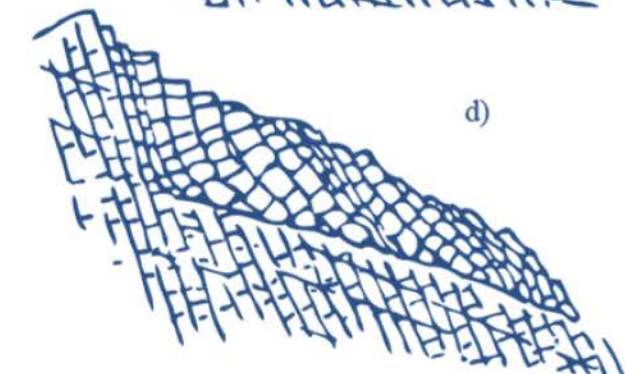
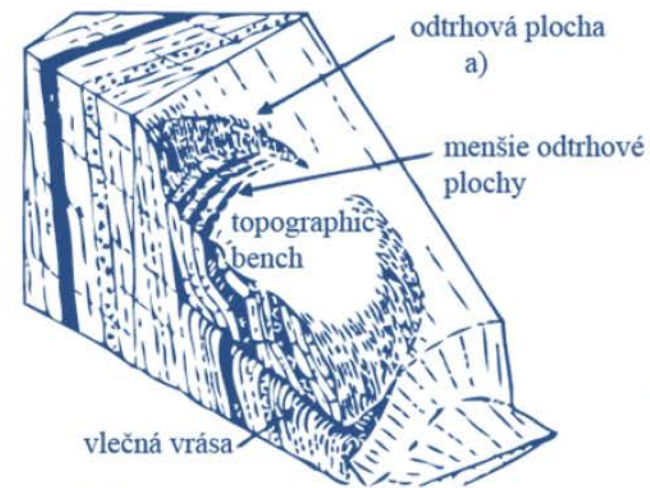


Rotačné podklízavanie (rock slumping) je porušenie, pri ktorom rigidné bloky spätne rotujú za súčasného podklízavania

-flexurálne podklízavanie (obr. b),

-blokové podklízavanie (obr. c),

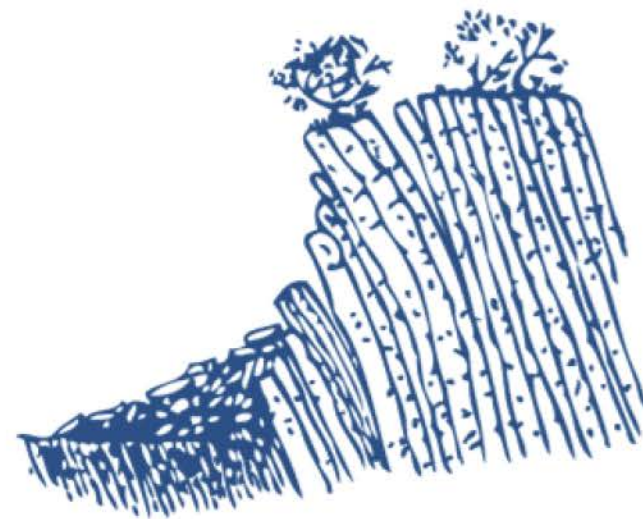
-kombinácia oboch predchádzajúcich spôsobov porušenia (obr. d)



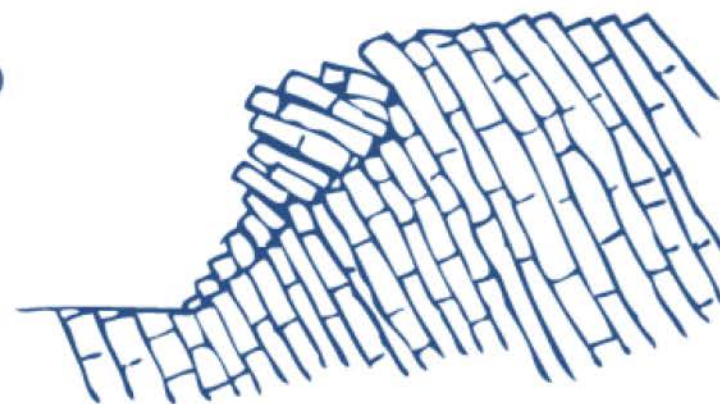
Toppling je mechanizmus porušenia zväčša s hlbokou šmykovou plochou, kde bloky stĺpovitého tvaru uklonené po svahu majú tendenciu prevísať a každá vrstva je podporovaná len pasívnym odporom susediacich blokov ležiacich nižšie po svahu.

- flexurálny toppling (obr. f)
- blokový toppling (obr. g)
- blokovo-flexurálny toppling (obr. h)

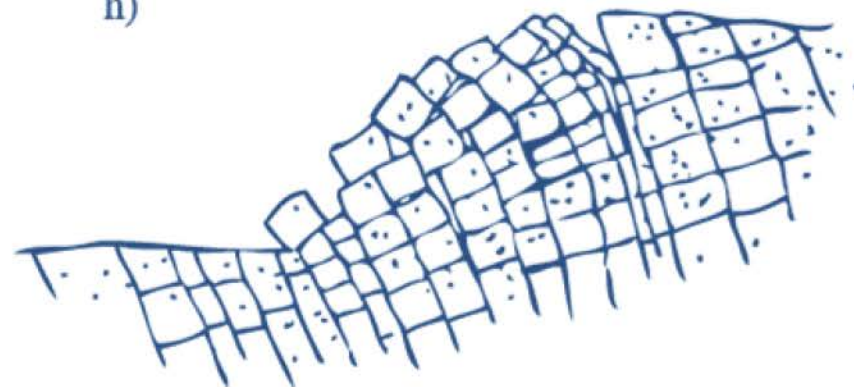
f)



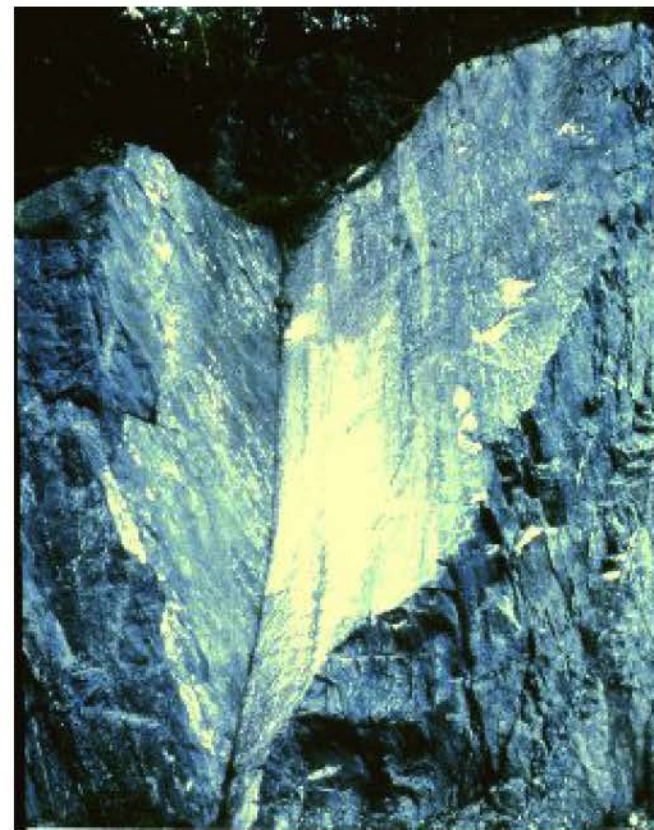
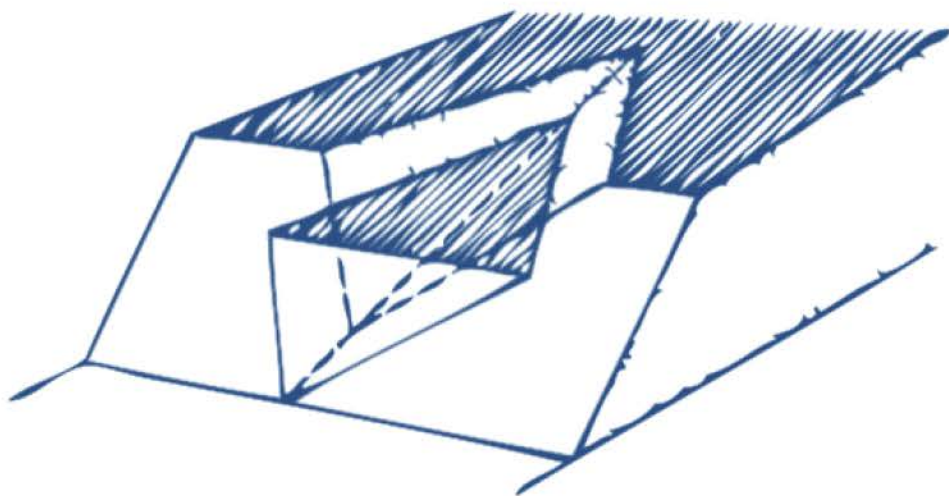
g)



h)



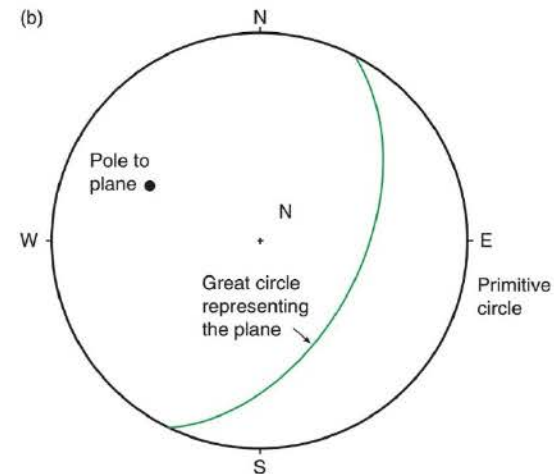
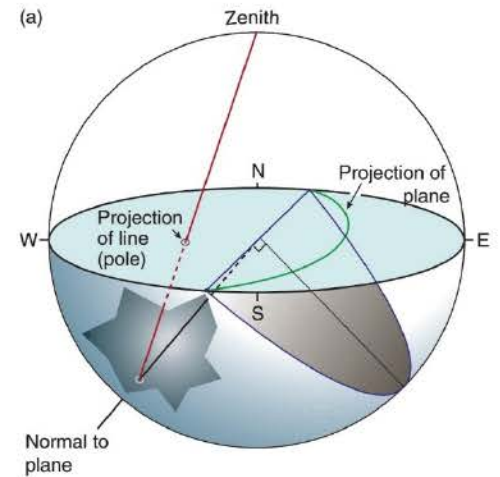
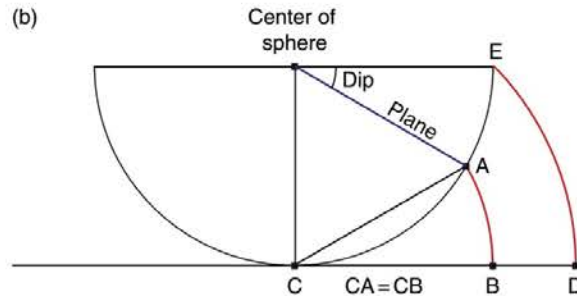
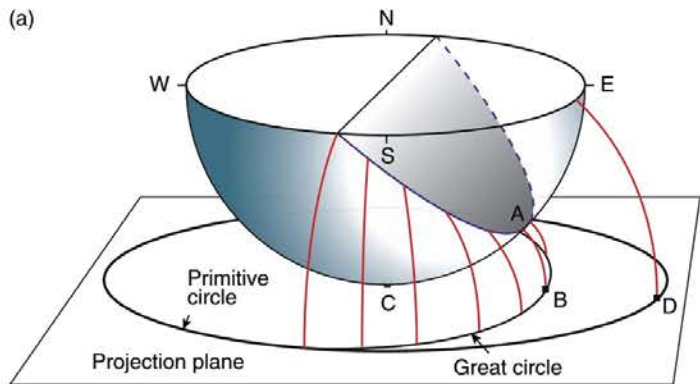
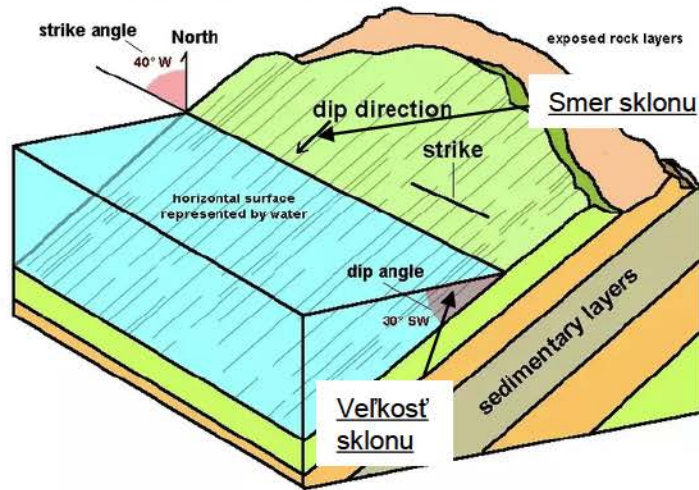
Klinové porušenie (wedge sliding) sa vyskytuje na konvexných svahoch, ktorý pretínajú dva nerovnoběžné systémy diskontinuit. Takto vznikajú prevažne štvorhranné bloky obmedzené dvoma diskontinuitami a čelnými plochami skalného svahu, takže nie sú potrebné ďalšie bočné obmedzujúce plochy na izolovanie bloku od okolitého masívu ako podmienky pre jeho ušmyknutie.



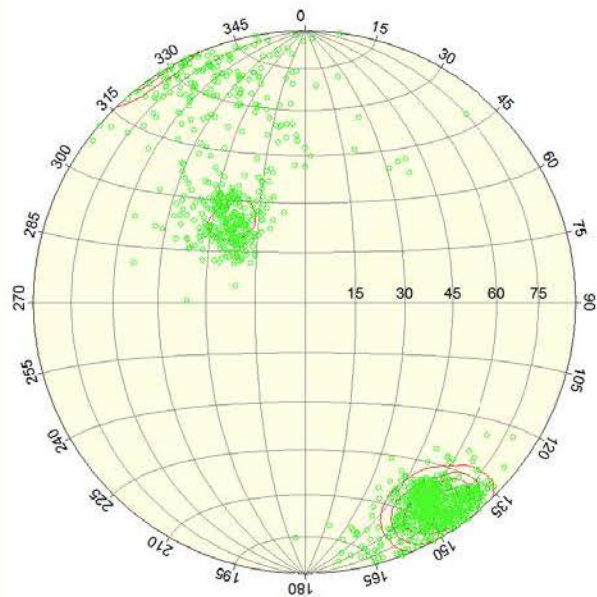
# Meranie geologickým kompasom



Describing orientation of geologic features with strike and dip



# Štruktúrna analýza masívu = základ pre stanovenie mechanizmu porušenia a výpočet stability



(ADC)Greif V. a Vlčko J.:Key block theory application for rock slope stability analysis in the foundations of medieval castles in Slovakia. Journal of Cultural Heritage (2013) ISSN 1296-2074, 10.1016/j.culher.2012.09.001.)(in press)



# Výpočet stability skalného svahu metódou kľúčových blokov (KbSlope)

## Hrad Devín

Blok 4

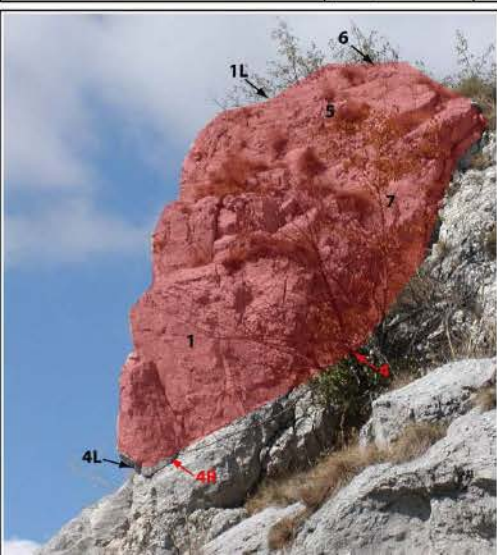
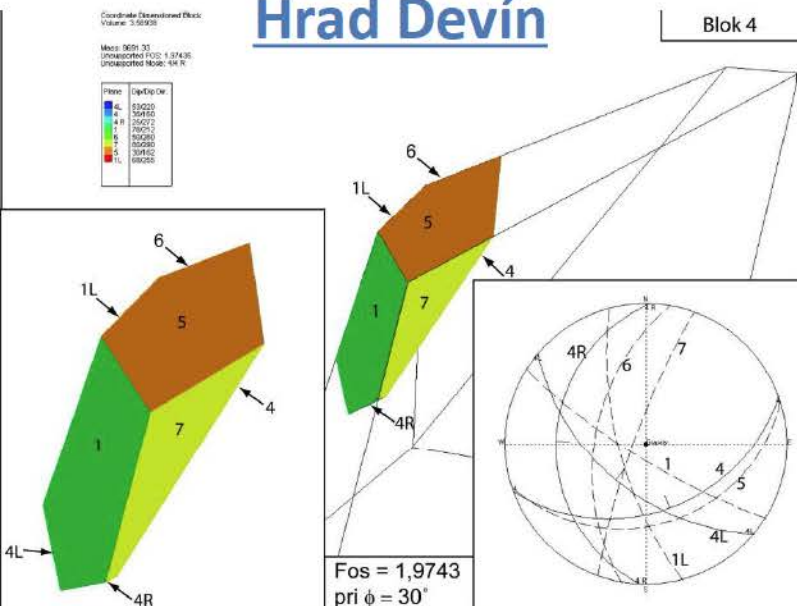
1998

2013



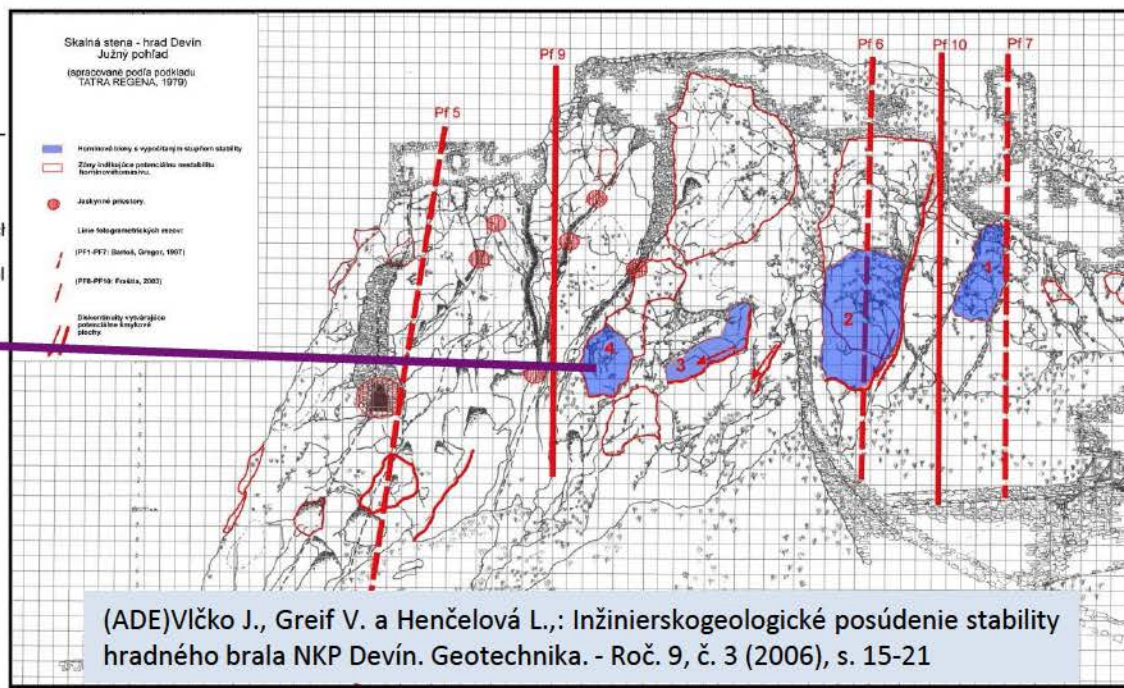
Octocopter XL

Príklad identifikácie nestabilných blokov vo fotogrametrickom pláne južnej strany skalného masívu hradu Devín



Legenda:

4,4L - šmykové plochy  
1,1L,5,6,7 - pukliny  
vymedzujúce horninové bloky



(ADE)VIČKO J., GREIF V. a HENČELOVÁ L.: Inžinierskogeologické posúdenie stability hradného brala NKP Devín. Geotechnika. - Roč. 9, č. 3 (2006), s. 15-21

# Inžinierskogeologický prieskum s cieľom definovania nestabilných častí skalného masívu NKP Devín



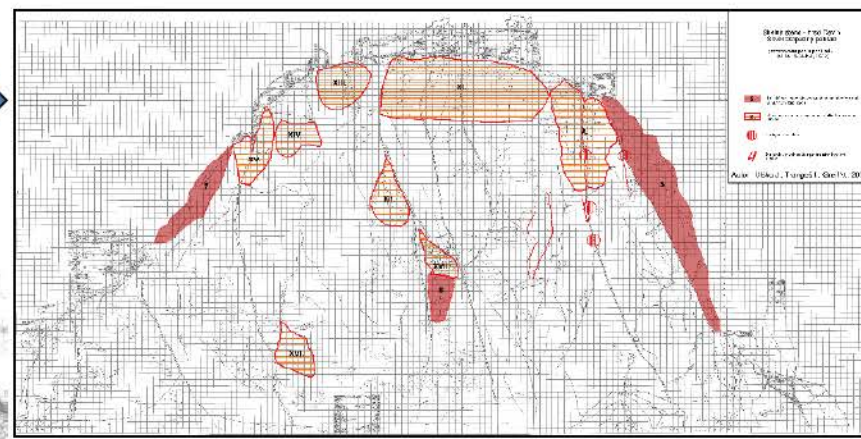
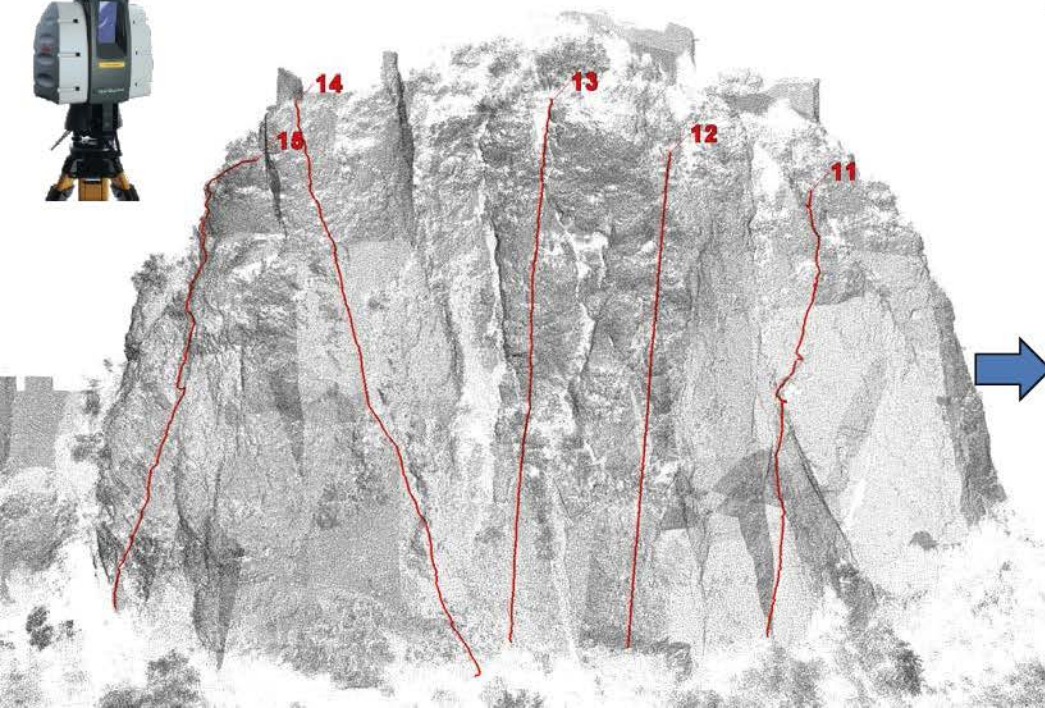
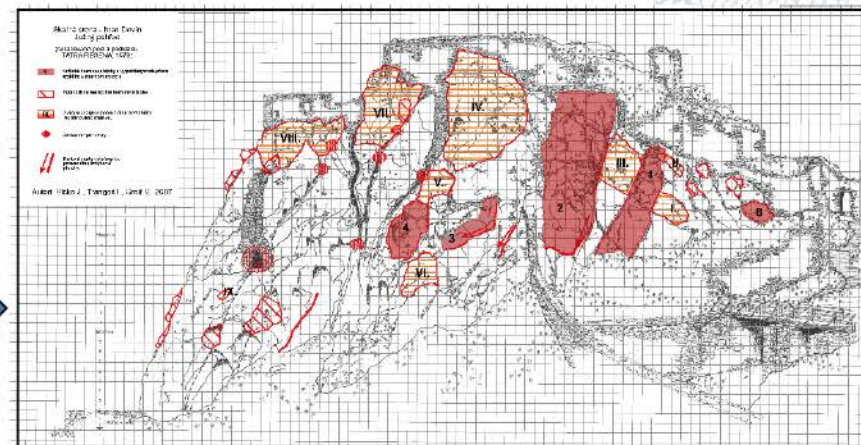
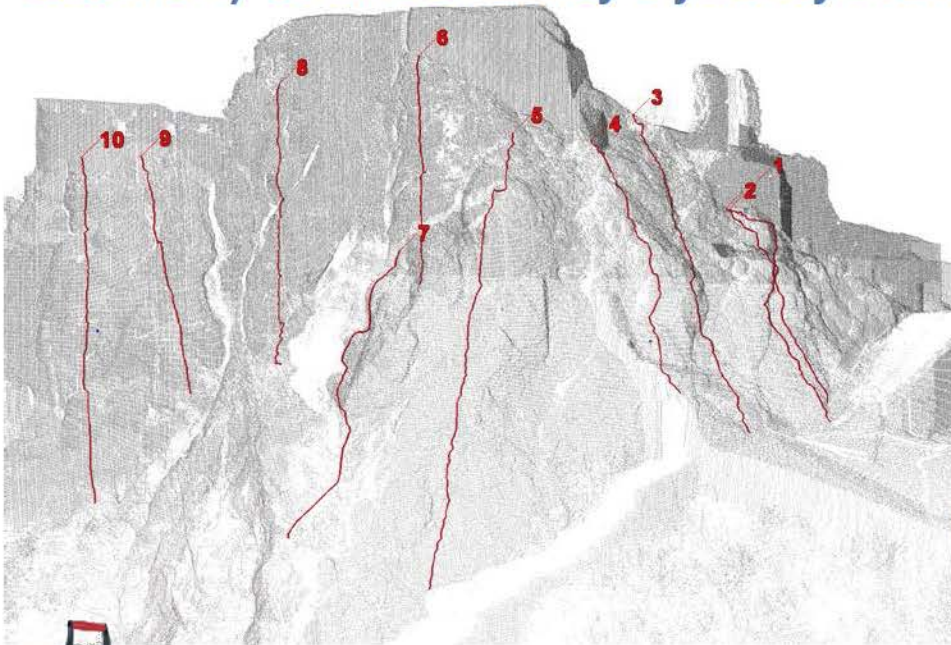
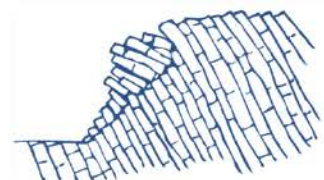


## Pád skalného bloku na prístupovej ceste na horný hrad NKP Devín

April 5<sup>th</sup> 2007



# Laserový scan severnej a južnej steny NKP Devín



Vymedzenie nestabilných blokov a zdrojových oblastí

# ZigBee datalogger s bezkontaktným snímačom posunu /vyvinutý na KIG/

Kapacita pamäte:

~59,000 samples

Sampling rate: Once every second to once every 18 hours

Komunikácia: ZigBee

2,4GHz

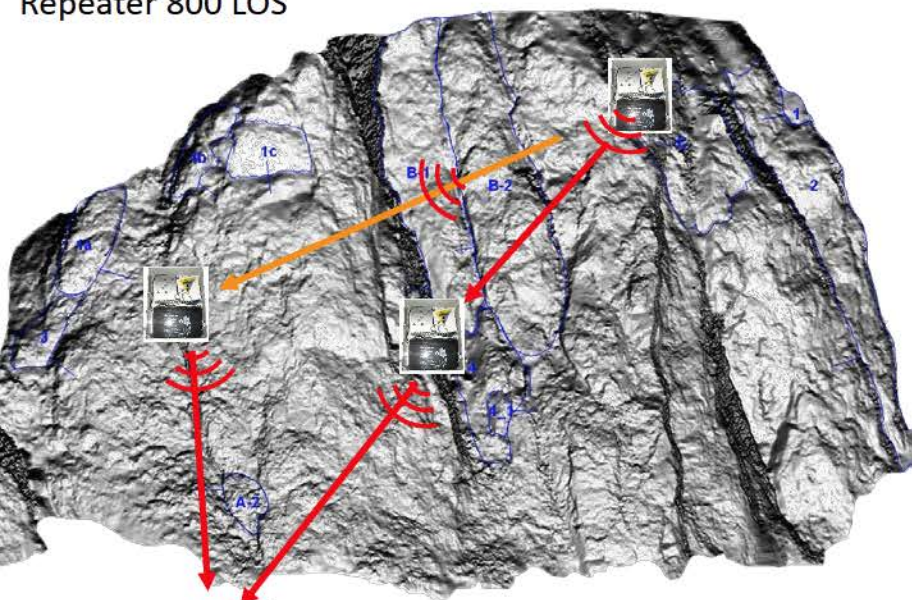
Dosah:

Logger 80m LOS

Repeater 800 LOS

Vstupy:

- 4 to 20 mA
- 0 to 1 V
- 0 to 50 mV
- PT-100 (2-wire)
- Contact (Open/Closed)
- Thermocouple J, K or T
- Pulse counter (Input 4 only)
- Frequency (Input 4 only)



Bezdotykový senzor



Solárny panel

Regulátor

Akumulátor

Dataloger

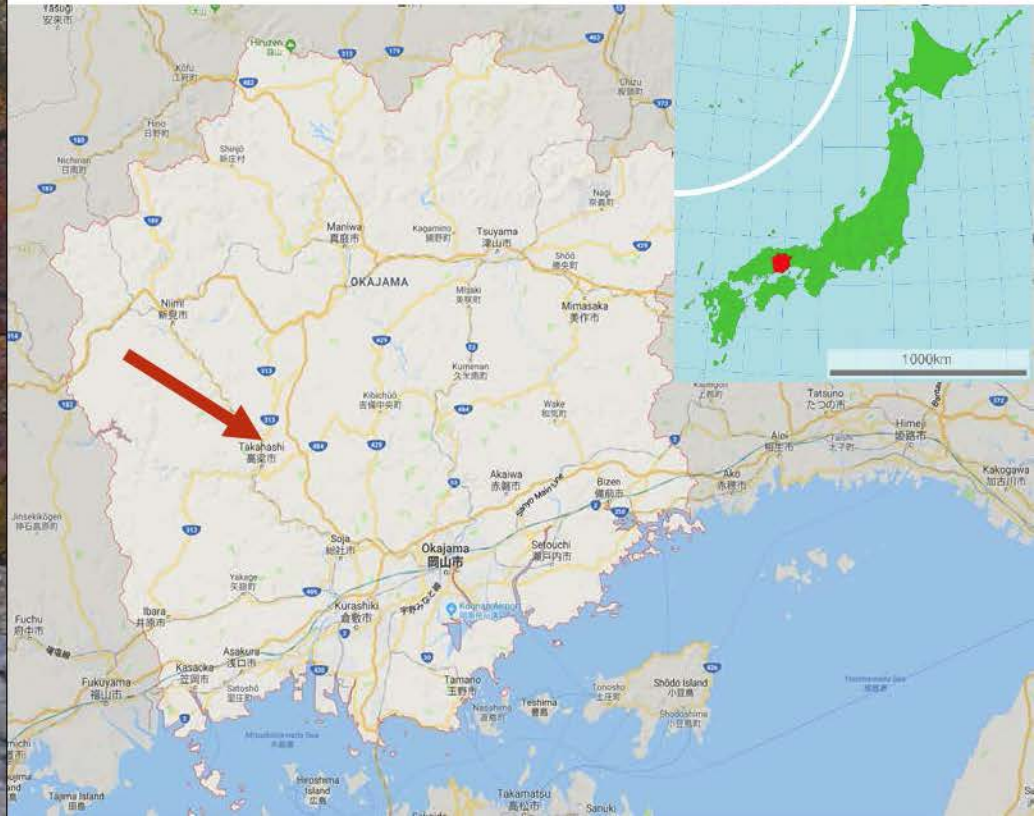


# Bitchu Matsuyama Takahashi City

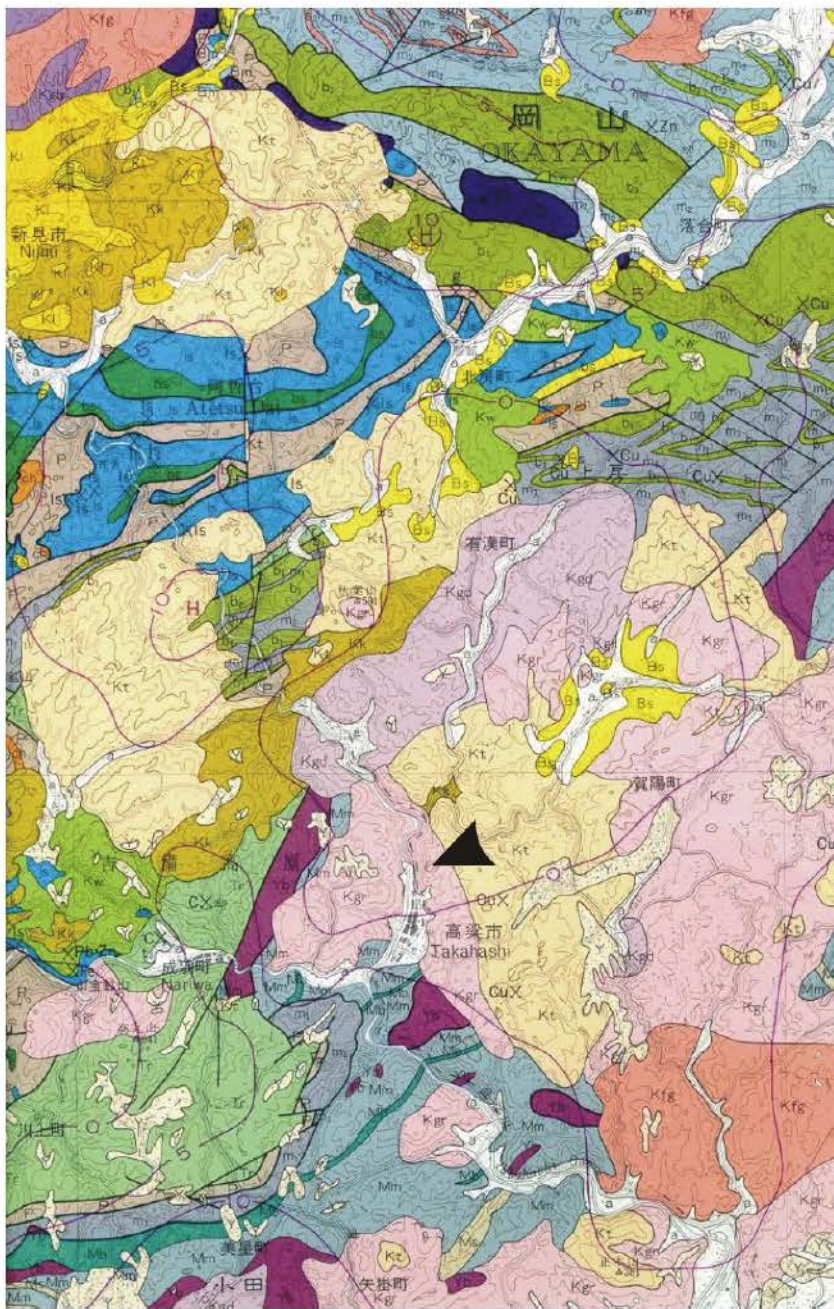


# Lokalizácia: Prefektúra Okayama

## Takahashi City

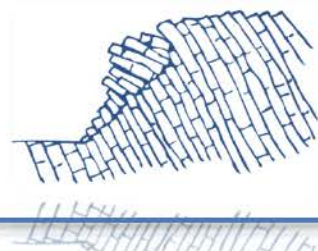


## Geological settings



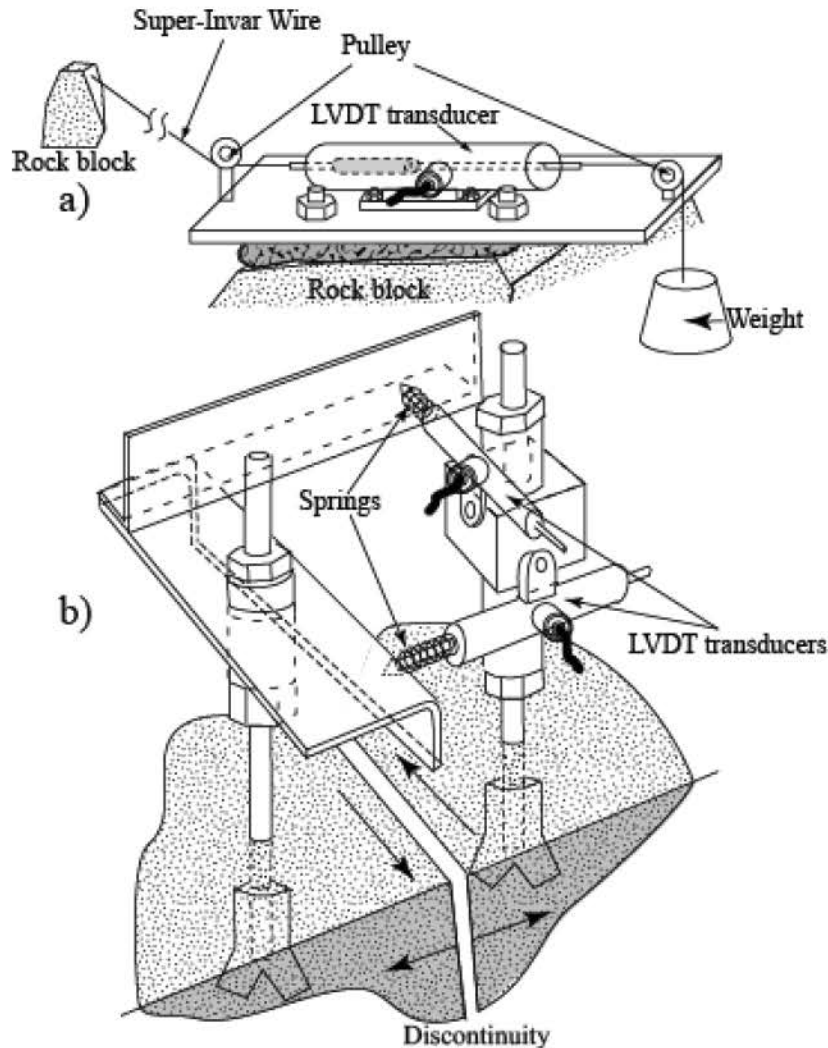
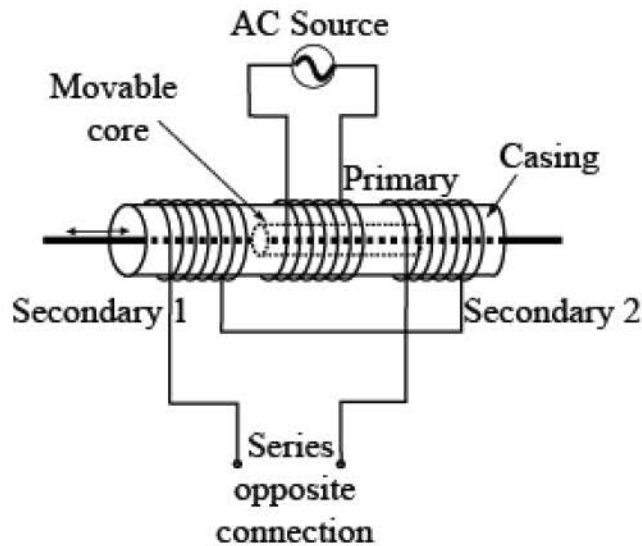
1 : 200.000

等高線間隔は100m



# Scheme of LVDT monitoring devices

LVDT= Linear Variable Differential Transformer



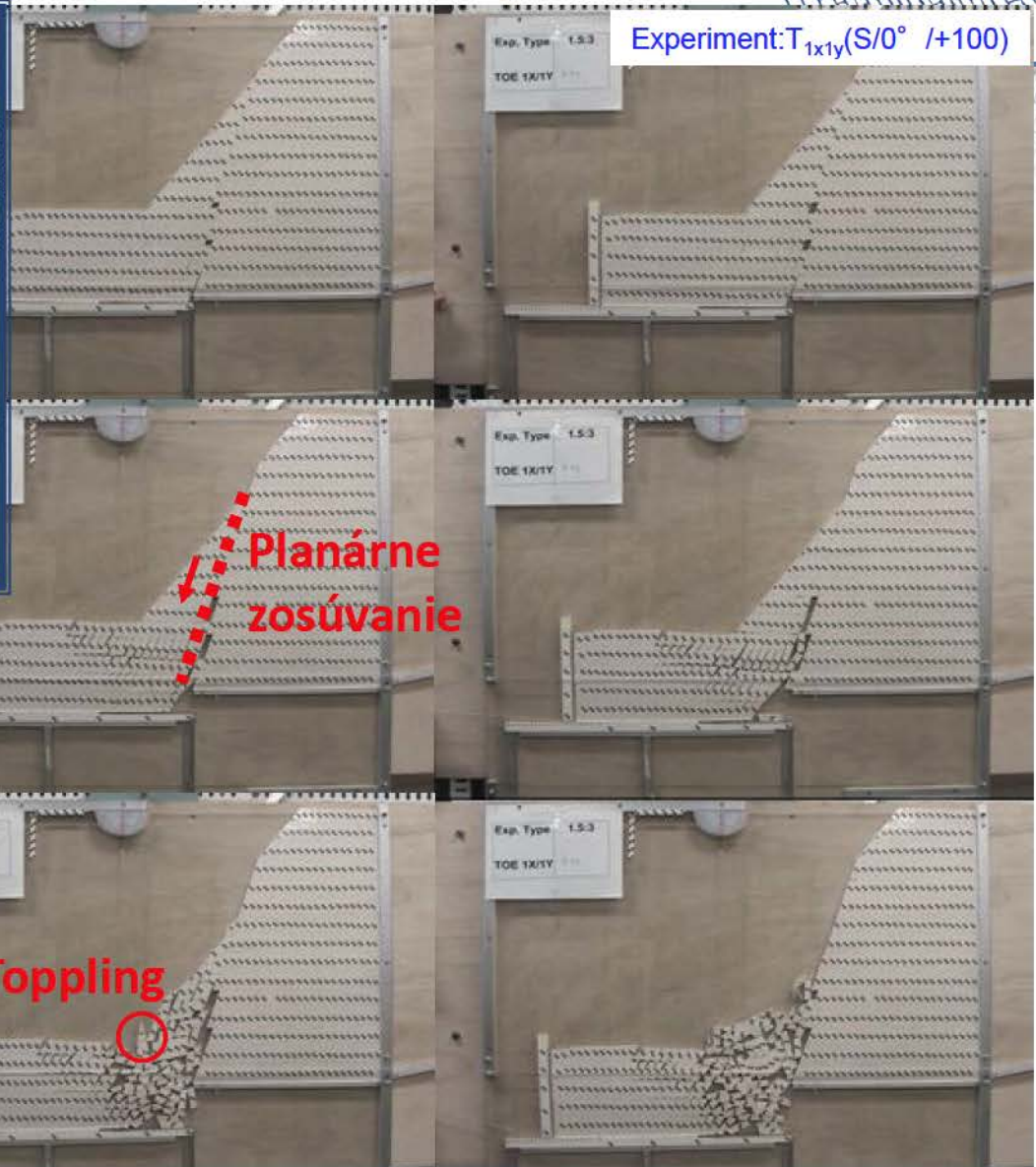


LVDT senzory presnosť  
 až  $10^{-4}$  mm

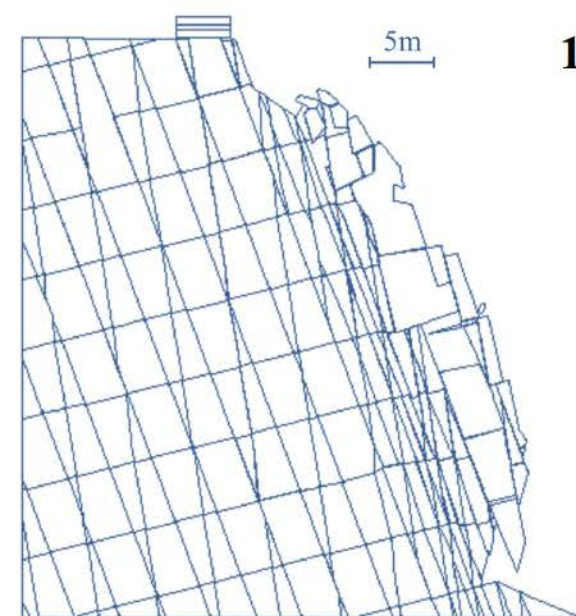
Hrad Bitchu-Matsuyama (Japonsko)  
 namerané posuny v nestabilnom svahu

# Fyzikálny model skalného svahu s dvoma priebežnými systémami diskontinuit

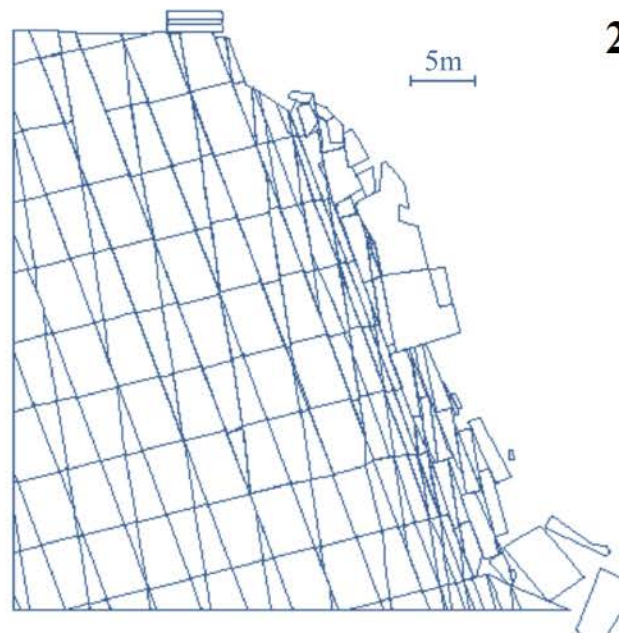
Sklon systému  $J_1$  je  $0^\circ$



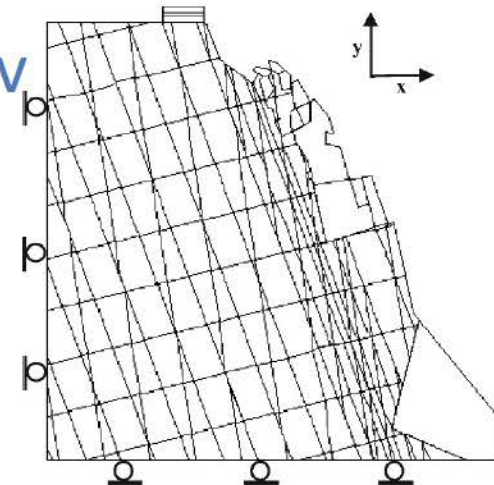
# Časo-krokový charakter riešenia pohybu blokov



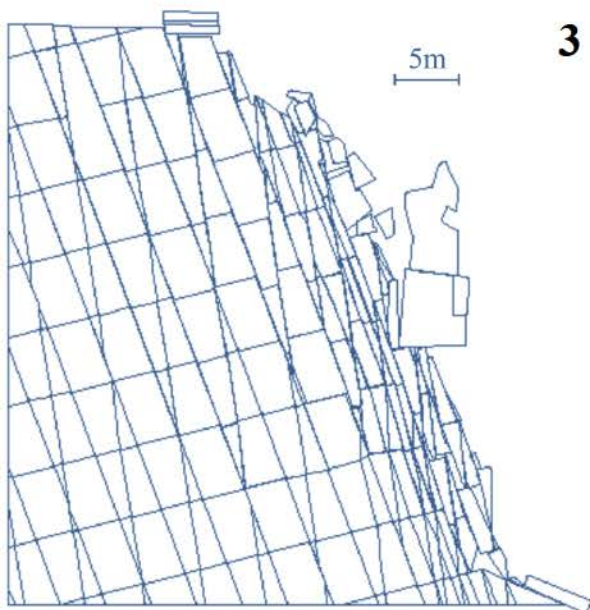
**1**



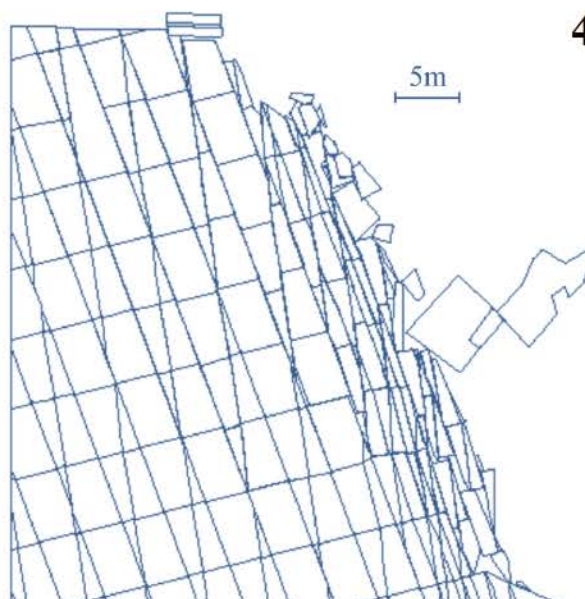
**2**



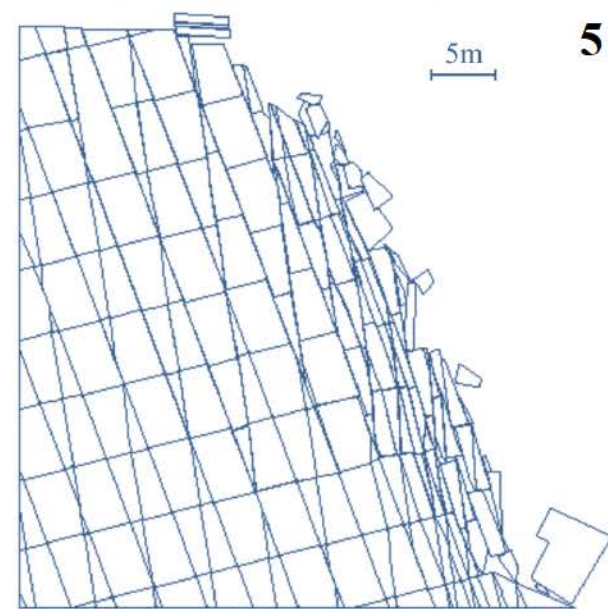
1. Model po 18 000 výpočtových krokoch
2. Model po 150 000 výpočtových krokoch
3. Model po 322 000 výpočtových krokoch
4. Model po 360 000 výpočtových krokoch
5. Model po 400 000 výpočtových krokoch



**3**

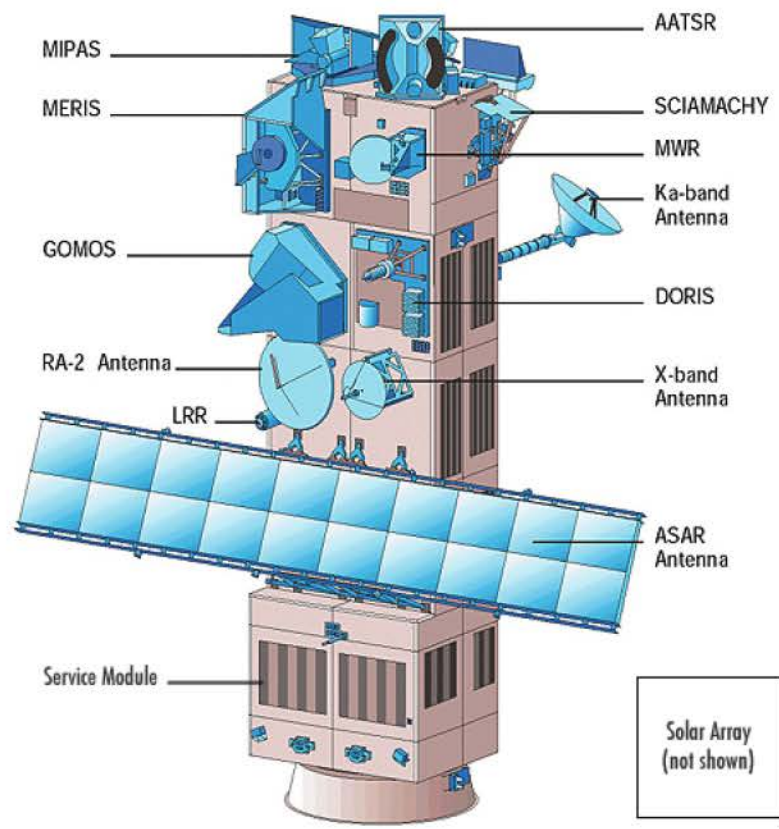
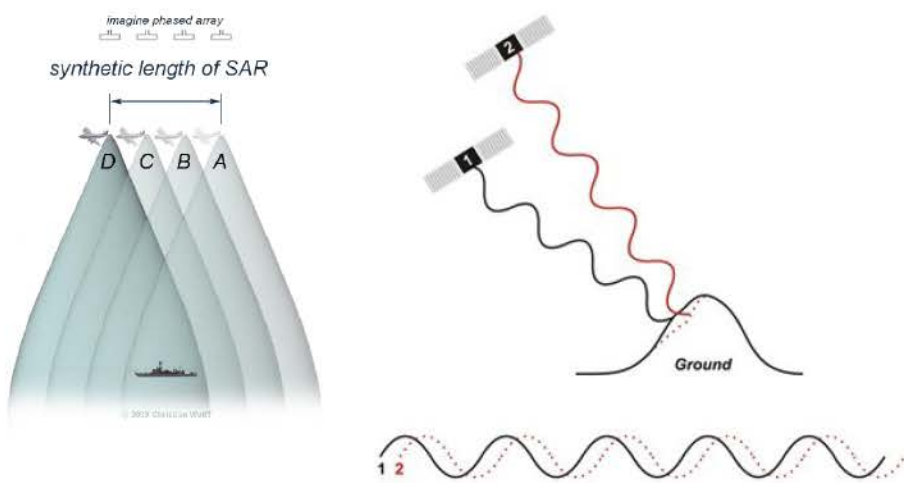


**4**



**5**

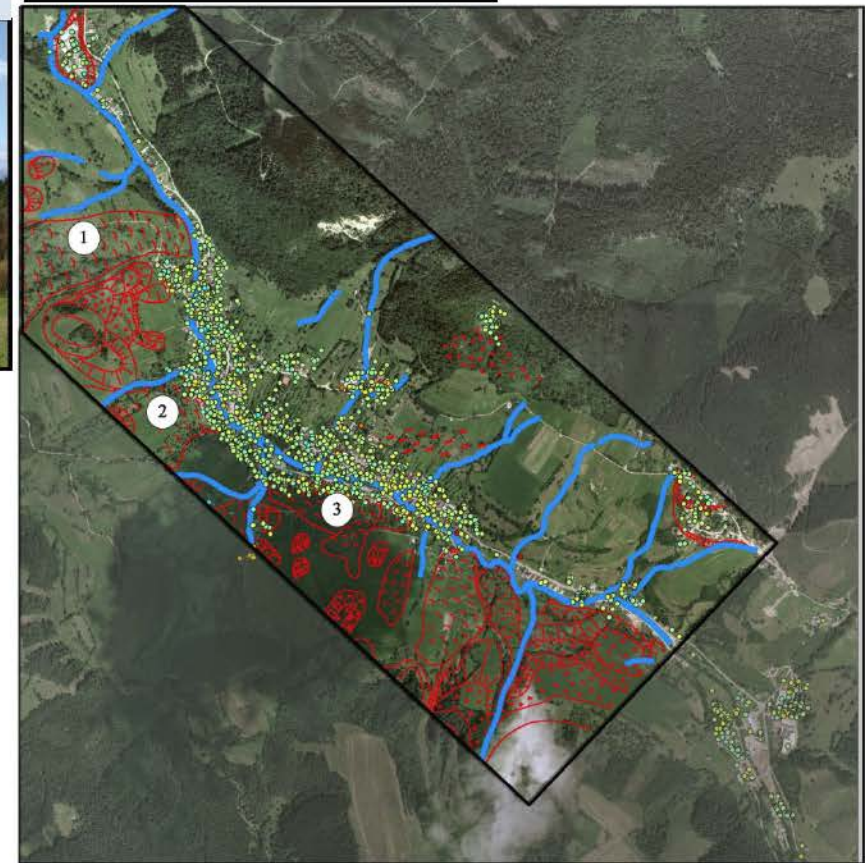
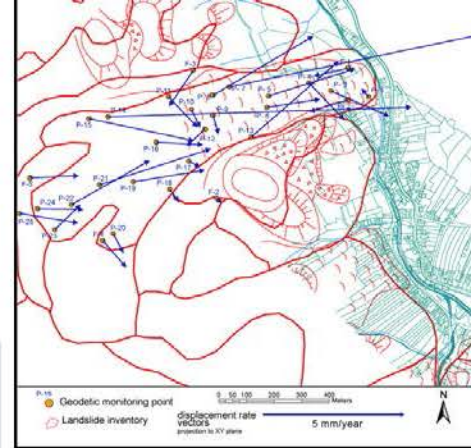
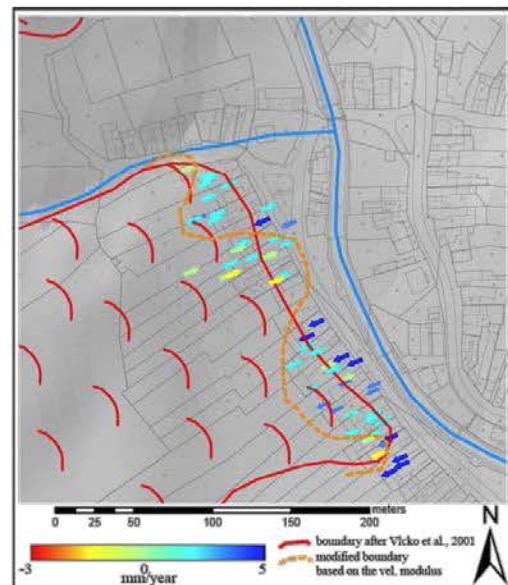
# Satelitná radarová interferometria – metóda stálych odrazových bodov (PSInSAR)



**ENVISAT**      Launched 2002.2.28  
C-band, Multpol, multi-mode  
Data : Envisat Announcement of Opportunity

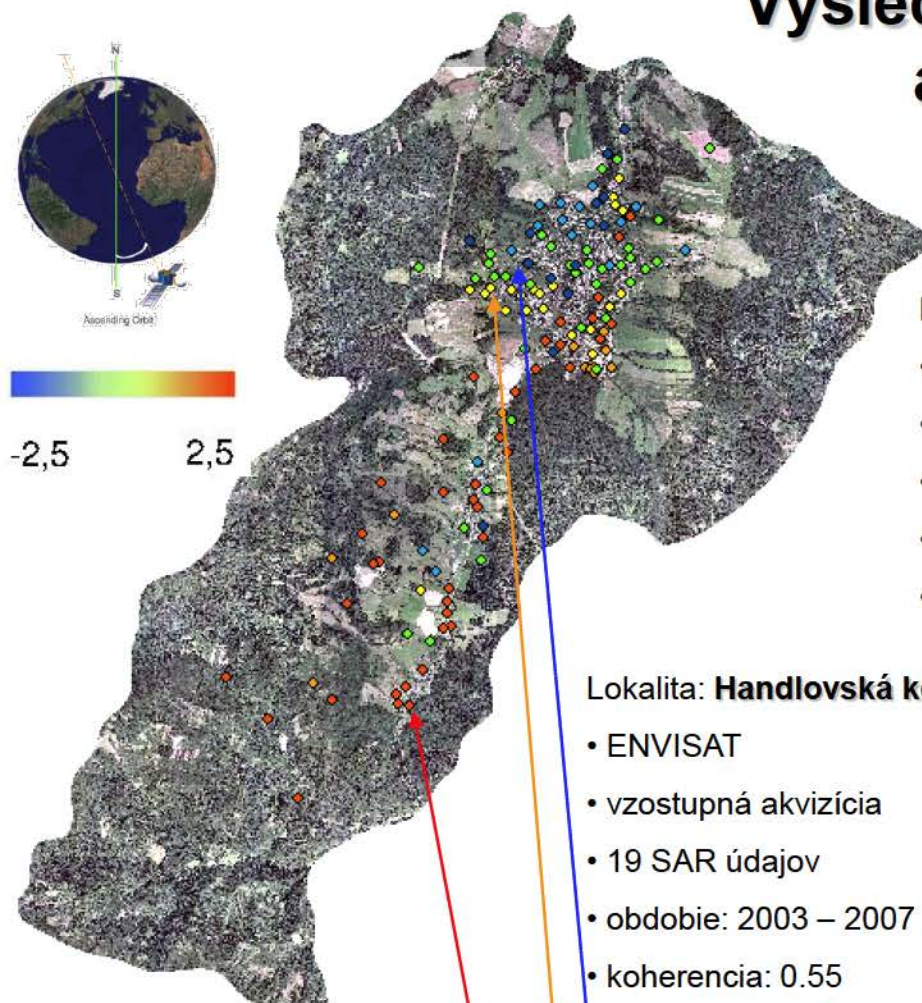
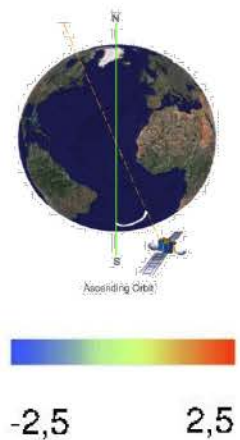
# Aplikácia PSInSAR metódy na zosuvoch v okolí obce Ľubietová

(ADC) Greif V., Vlčko J.: Monitoring of post-failure landslide deformation by the PS-InSAR technique at Ľubietova in Central Slovakia. Environmental Earth Sciences, Vol. 66, No. 6, (2012), s. 1585-1595



- ① Catastrophic landslide of 1977
- ② Landslide 2
- ③ Landslide 3

# Výsledky PSInSAR analýzy

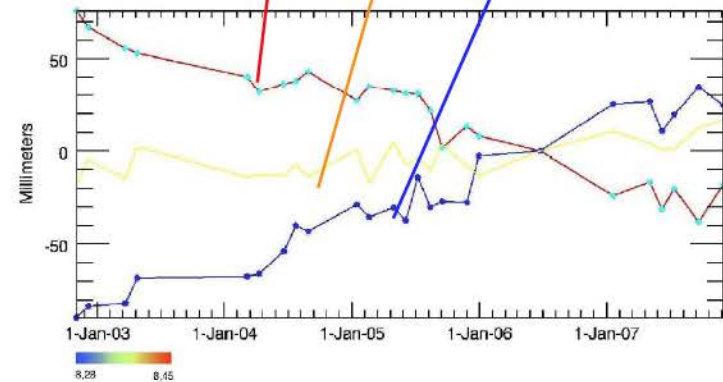
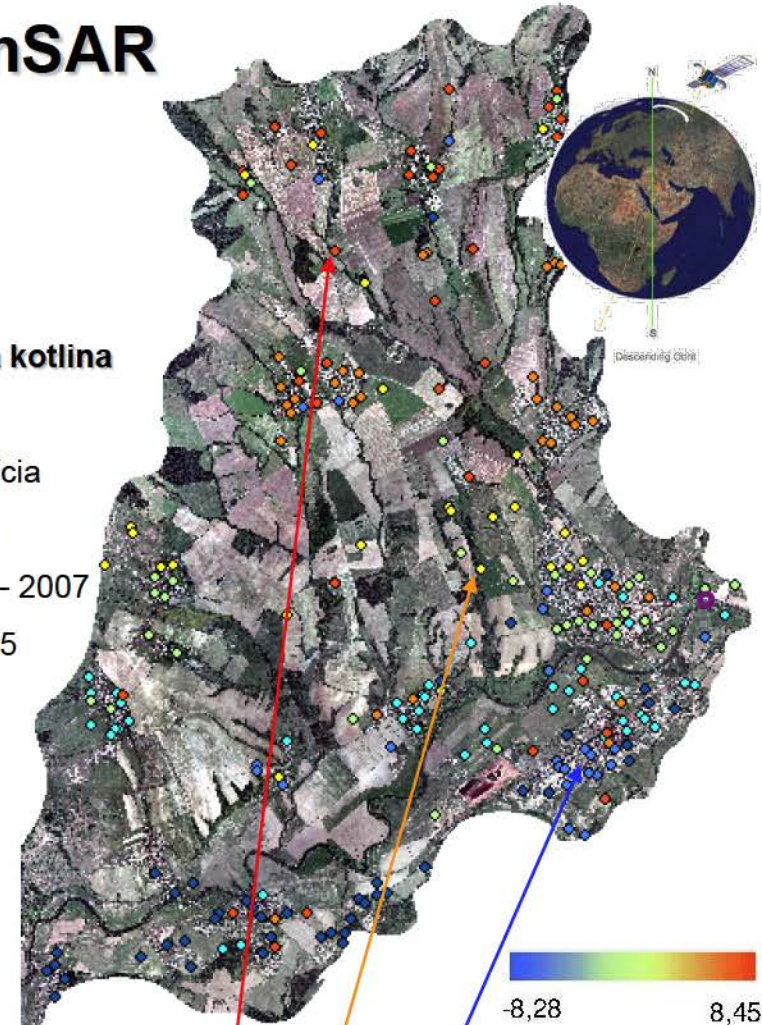
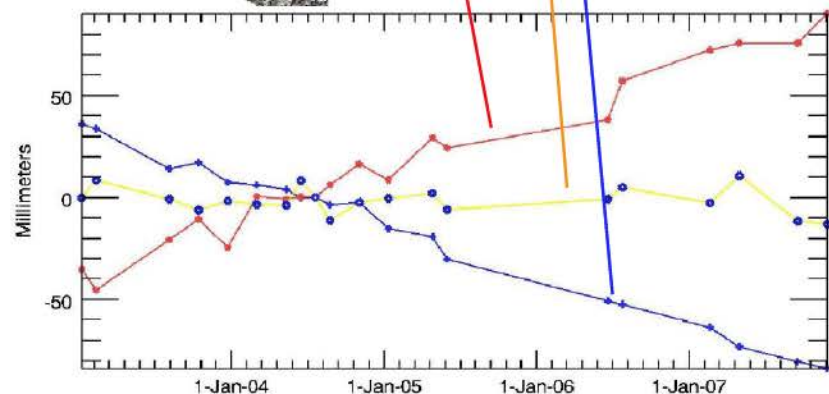


Lokalita: **Žiarska kotlina**

- ENVISAT
- zostupná akvizícia
- 24 SAR údajov
- obdobie: 2003 – 2007
- koherencia: 0.65

Lokalita: **Handlovská kotlina**

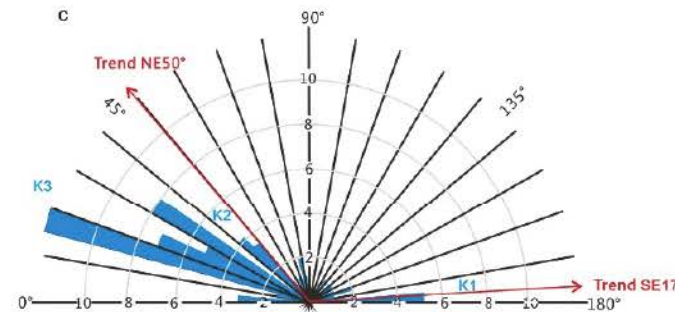
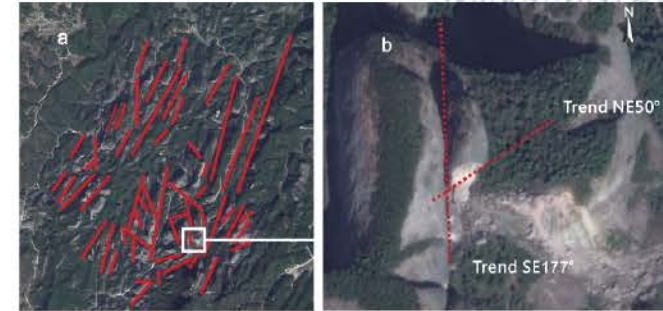
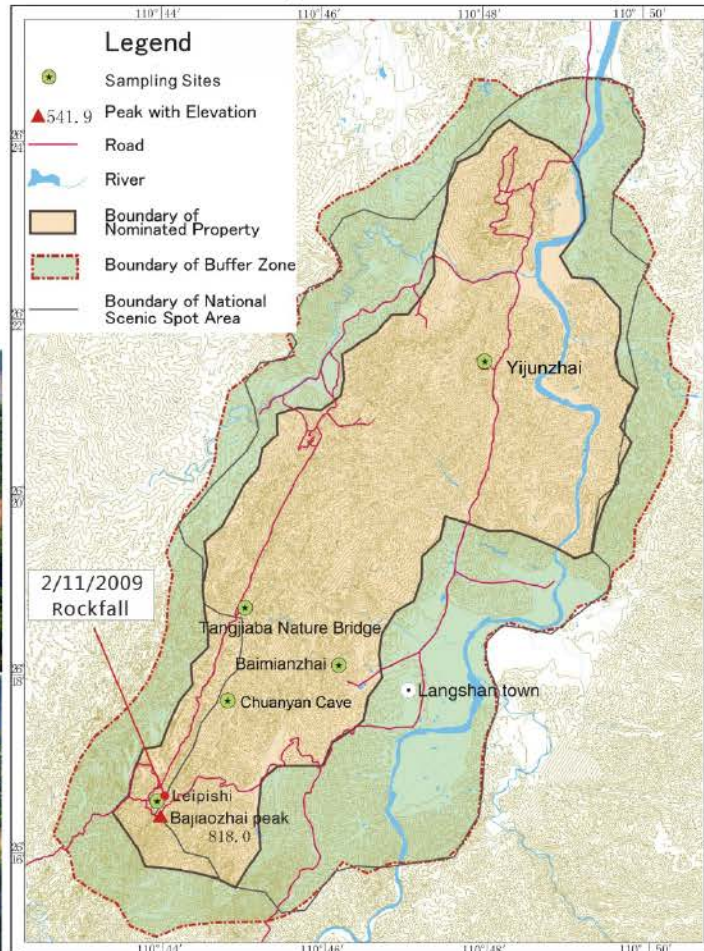
- ENVISAT
- vzostupná akvizícia
- 19 SAR údajov
- obdobie: 2003 – 2007
- koherencia: 0.55



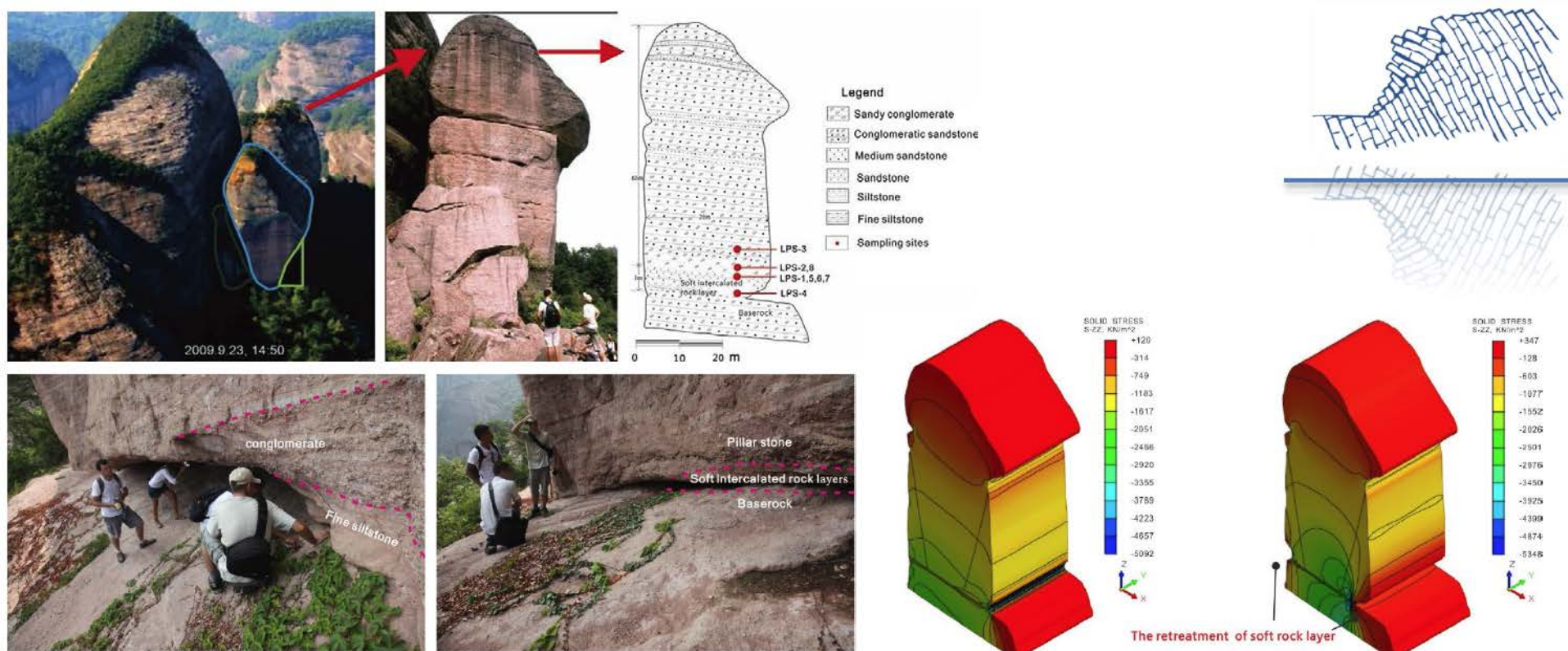
# Mt. Langshan (Čína) - Leipishi Rockfall



China Danxia-Mt. Langshan World Natural Heritage

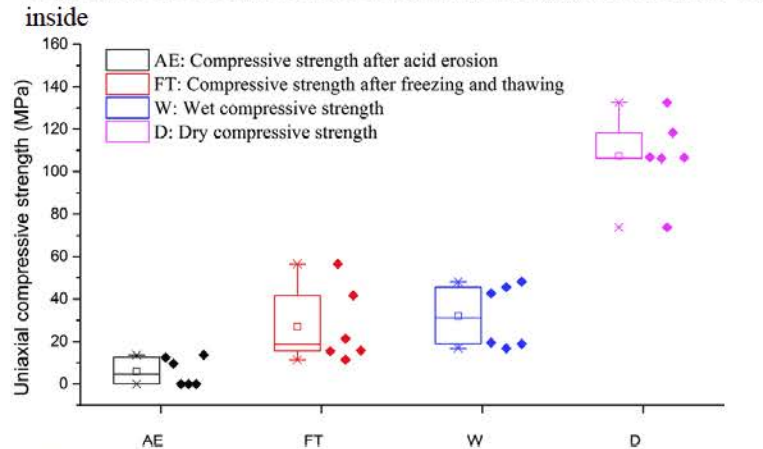


Aerial photographic 1956, mapping 1958, layout 1958, drawing by differential method 1960  
Beijing Coordinate System 1954, Elevation from the Huanghai Sea Level 1956, Contour interval 40m

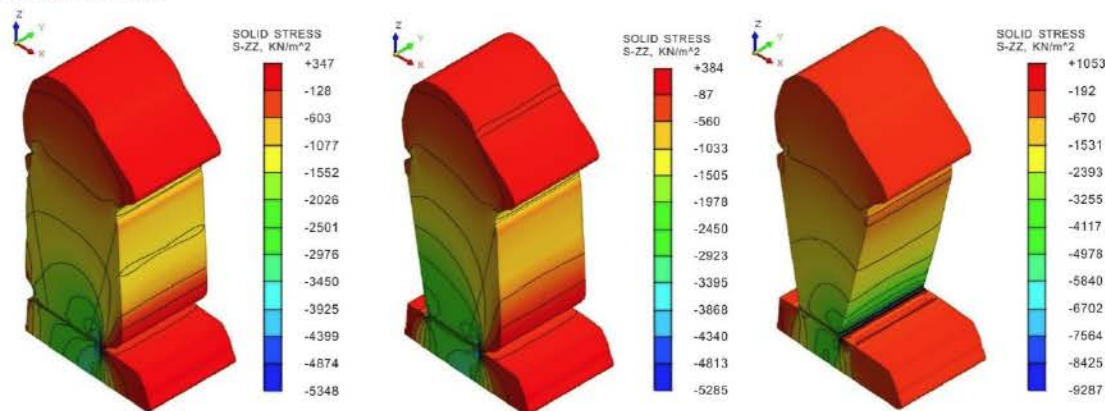


Leipishi I and Leipishi II have the same lithology composition, so retreat of soft intercalated rock layers before the rock fall of Leipishi I can be determined by the Leipishi II, the soft intercalated rock layers strongly retreated and water seeped from inside

The retreat of soft intercalated rock layers caused the change of the stress state. For the signs: tensile stress (+) and compressive stress (-)

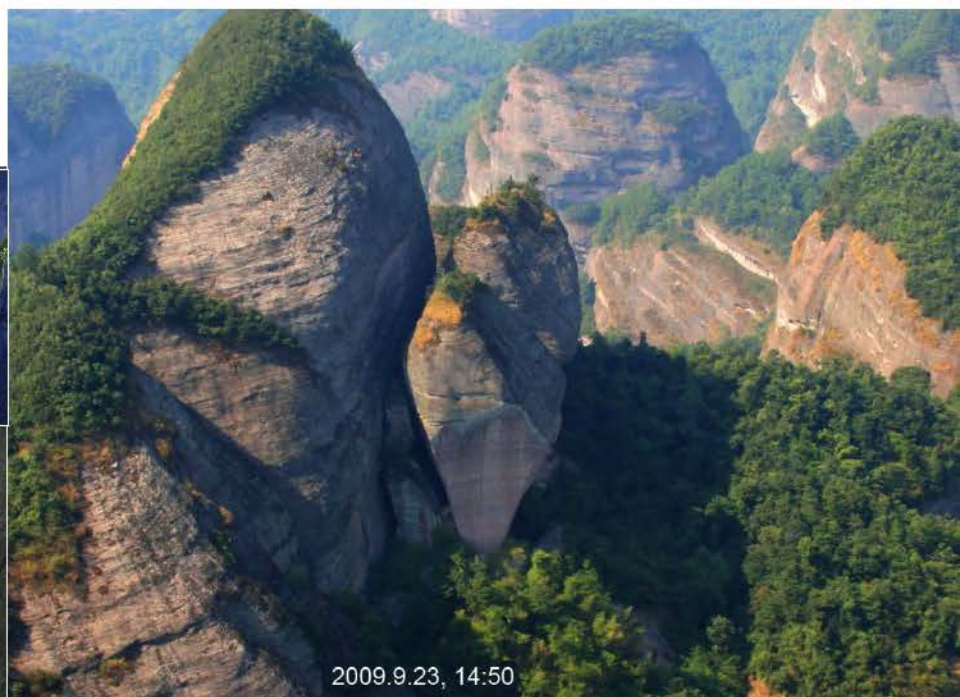
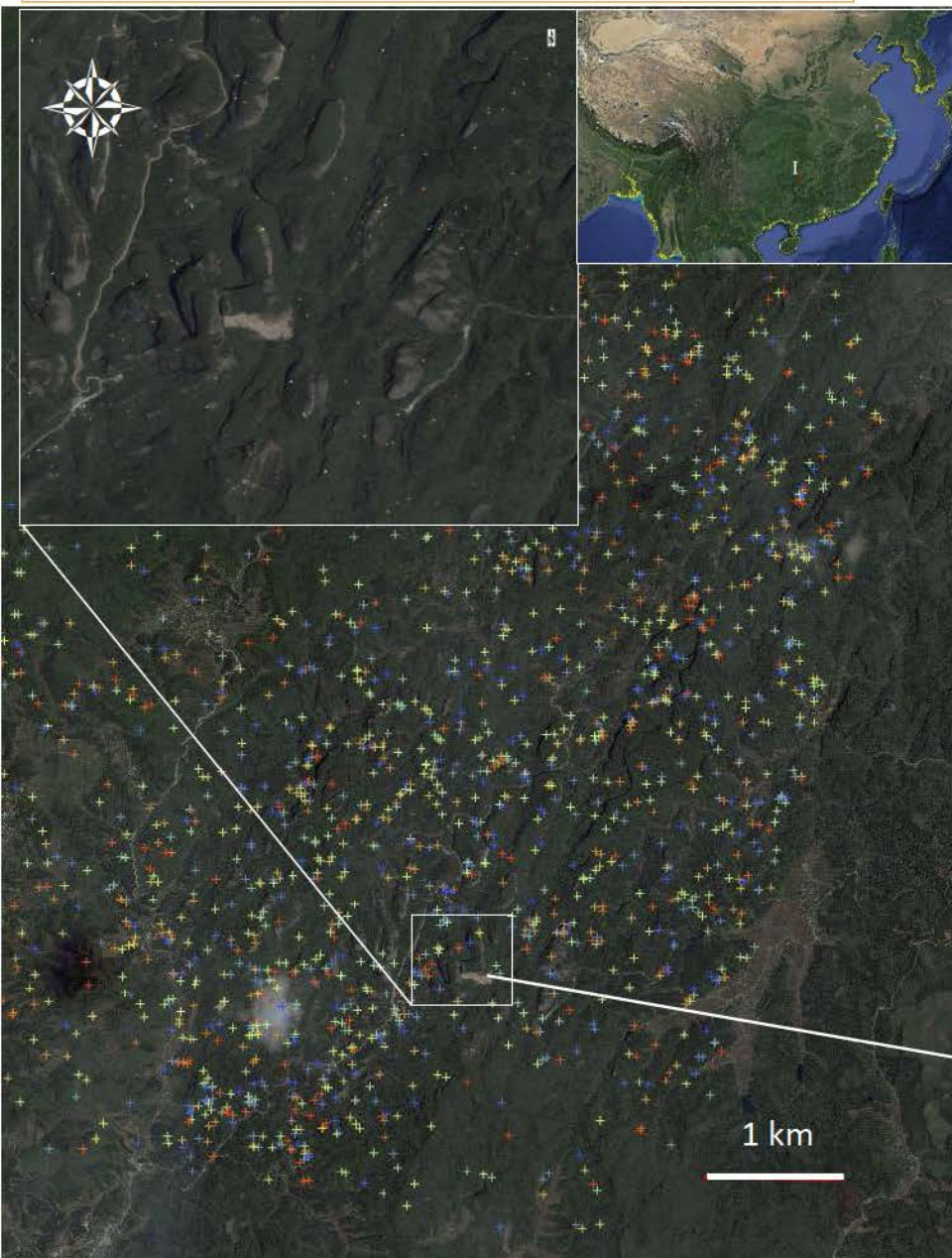


The comparison of rock strength under different condition. ♦ is the uniaxial mechanical strength of rocks that have been in 2% acid solution for 12 days.



The second stage of rockfall, two blocks collapsed from the stone pillar, the definite time of collapse now is unknown.

Aplikácia PSInSAR  
Národný park Langshan (UNESCO), Čína





Je pamiatka Unesco  
MACHU PICCHU  
ohrozená svahovými pohybmi???

J.Vlčko, R.Holzer, V. Greif

Katedra Inžinierskej geológie

# Location Map



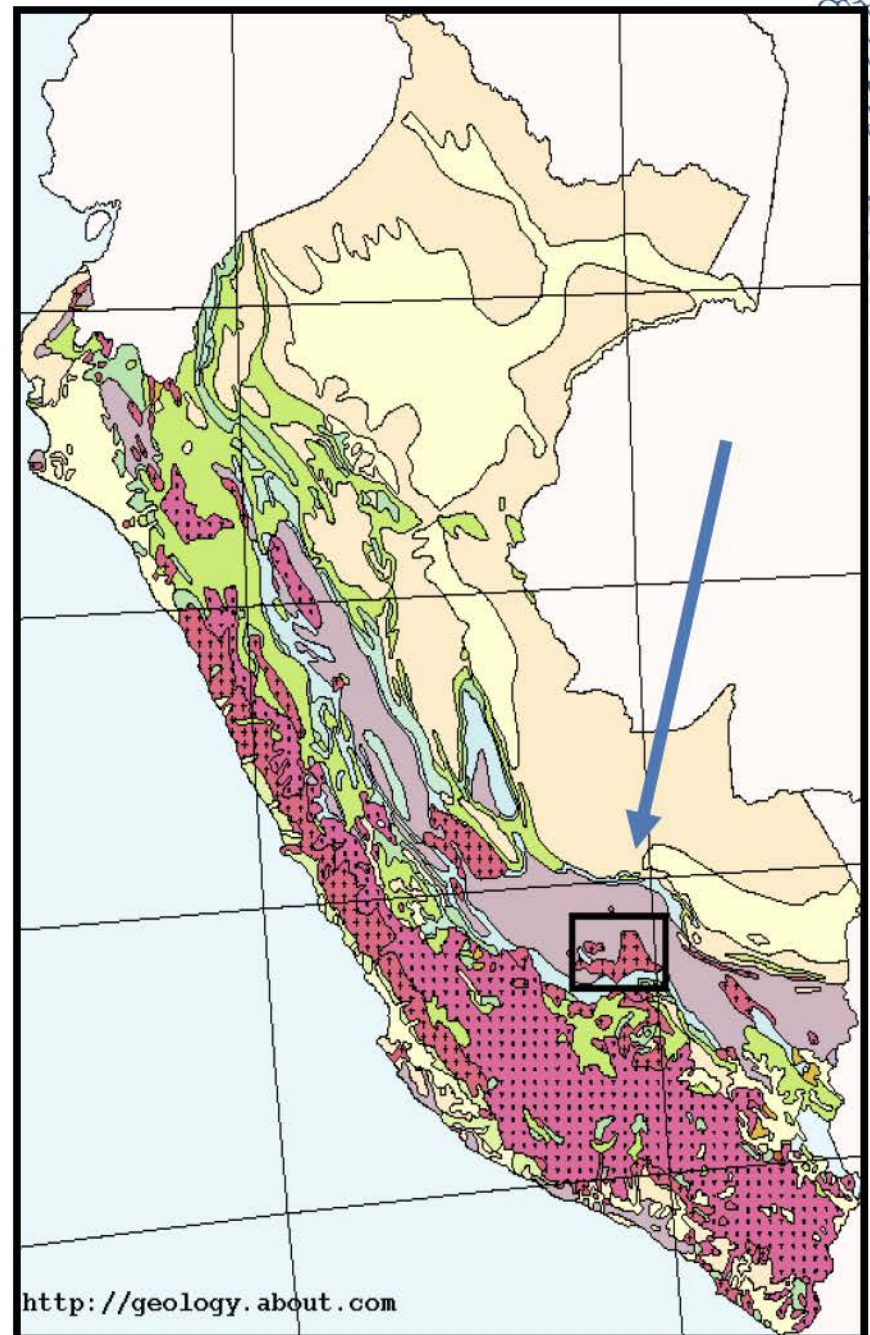
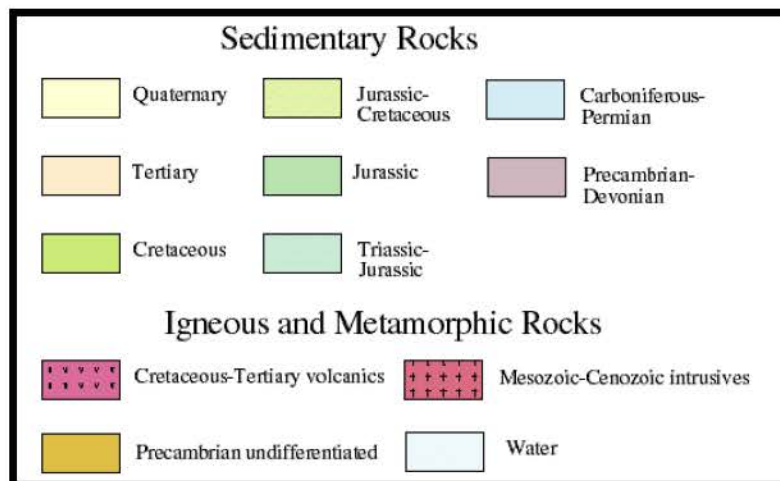
Machu Picchu

Cuzco

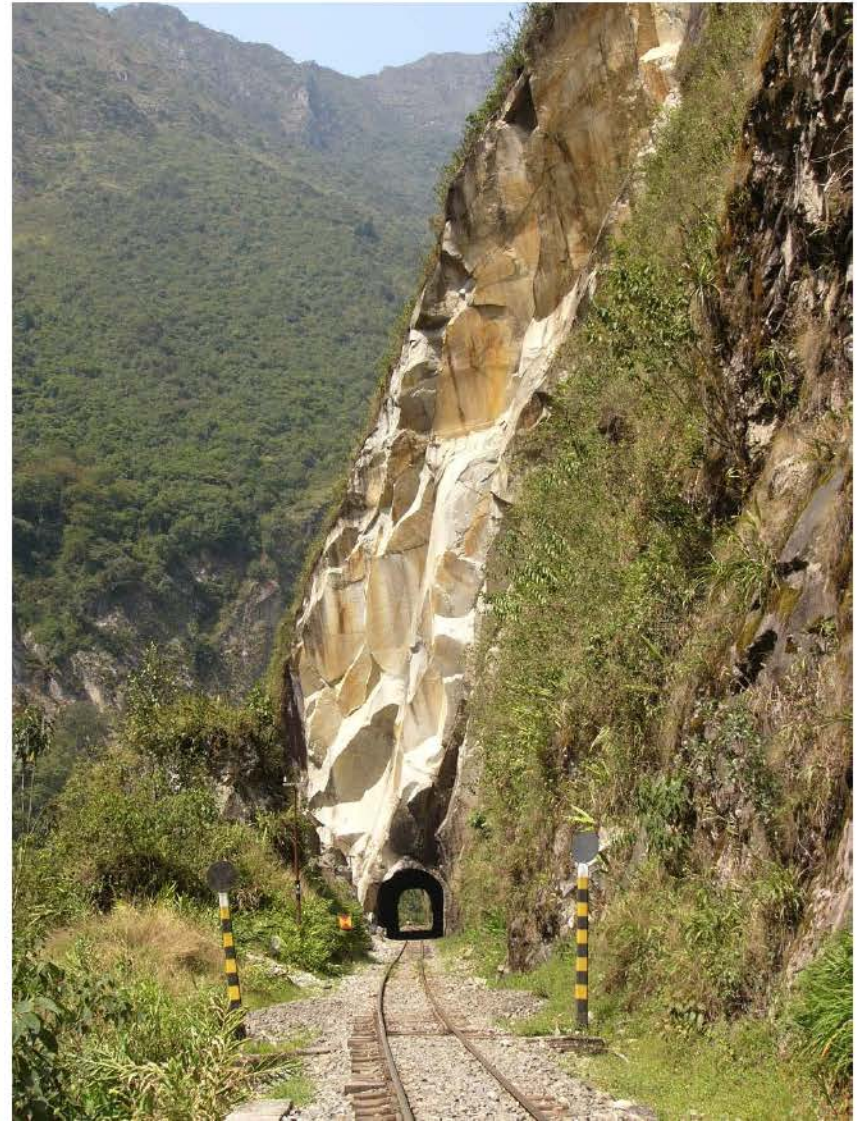
# Geológia:

batolit 244 km<sup>2</sup>  
vilcabamba, 250 ml.  
(perm-trias)  
rokov, sivý granit s  
vysokým obsahom  
kremeňa, živca

**Tektonika:** významné  
zlomové pásma,  
neotektonicky aktívne



# Tektonická predizpozícia, vysoká energia reliéfu- rôzne typy svahových porúch



# Akumulácia blokov- Quarry, pozostatok obrovského skalného zrútenia spôsobeného zemetrasením??????????

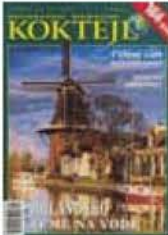


# Hiram Bingham, Raul Carreno, Kyoji Sassa



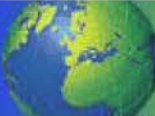
# Transkript článku z New Scientist v časopise Koktejl (Máj, 2001)

[CZECH PRESS](#) [Koktejl](#) [Oceán](#) [Everest](#) [Kleopatra](#) [Fénix](#) [iKoktejl](#) [Koktejl TV](#) [Photobank](#) [Kur](#)



**KOKTEJL**

[» Info](#) [» Redakce](#) [» Předplatné](#) [» Distribuce](#) [» Obchodní informace .](#)



**GEOGRAFICKÝ MAGAZIN KOKTEJL**

**PLANET DANCE** kompilace na podporu organizace Greenpeace!

rubrika tištěného vydání: **Svět v pohybu**

Ročník 2001 ☐ vydání květen ☐ [»](#)

[« « LISTOVÁNÍ VYDÁNÍM » »](#) [« « LISTOVÁNÍ RUBRIKOU » »](#)

**MACHU PICCHU V POHYBU**

Bezprostřední nebezpečí úplného zániku hrozí světoznámé památce Machu Picchu v Peru. Mysterióznímu městu v Andách se stává osudnou okolní divoká scenerie, která této staré incké stavbě zajišťuje její jedinečnost. Japonští geologové odhalili abnormálně rychlý posuv podloží příkrých svahů. Tvrdí, že zničující lavina, se kterou by se většina ruin zřítla do údolí říčky Urubamby, se může utrhnout prakticky kdykoliv.



**Přihlášení uživatele**

Jméno: \_\_\_\_\_

Heslo: \_\_\_\_\_

[Přihlásit](#)

**Registrace nového uživatele**

**Témata Koktejlu**

- » **Lidé**
- » **Civilizace**
- » **Kultura**
- » **Příroda**

**On Čes**

**budhis**

"Turista je heslo kanceláře SV Indiarů rovinat k turist chovají

**Stope**

se vyde cestova Od Acapul Panam:

# The International Consortium on Landslides



- International consortium of **landslide research organizations** supported by UNESCO and other special supporting organizations (WMO, FAO, UN/ISDR etc.) founded in Kyoto (Japan) in 2002
- The ICL promotes the **International Programme on Landslides** to conduct international cooperative research, capacity building, for landslide risk mitigation, the protection of cultural and natural heritage for society and the environment

Rozloha: 1 285 220 km

Obyv.: 28 mil., indoamer. 45%

Mestici 37%

Zvyšok belosi

3 oblasti

2 obdobia

Civilizácia predinkská:  
Čimo, Tiwanaku, Aymaru

PACHACUTI – 1438 otec Inkov

CUZCO – pupok zeme, tvar pumy

ATAHUALPA

FRANCISCO PIZARRO - 1533

MANCO INCA- bábkový vládca

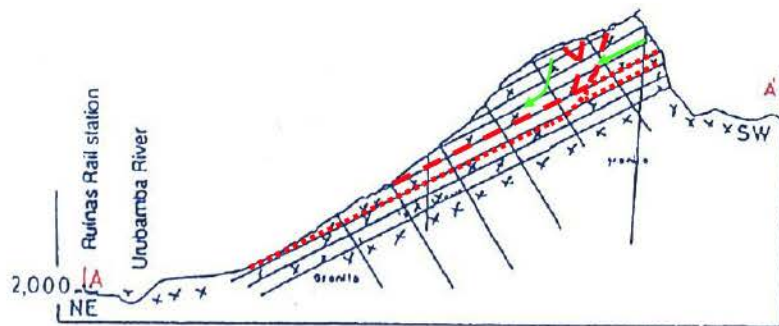
TUPAC AYMARU – sťatý

Oč EKVADOR, CHILE

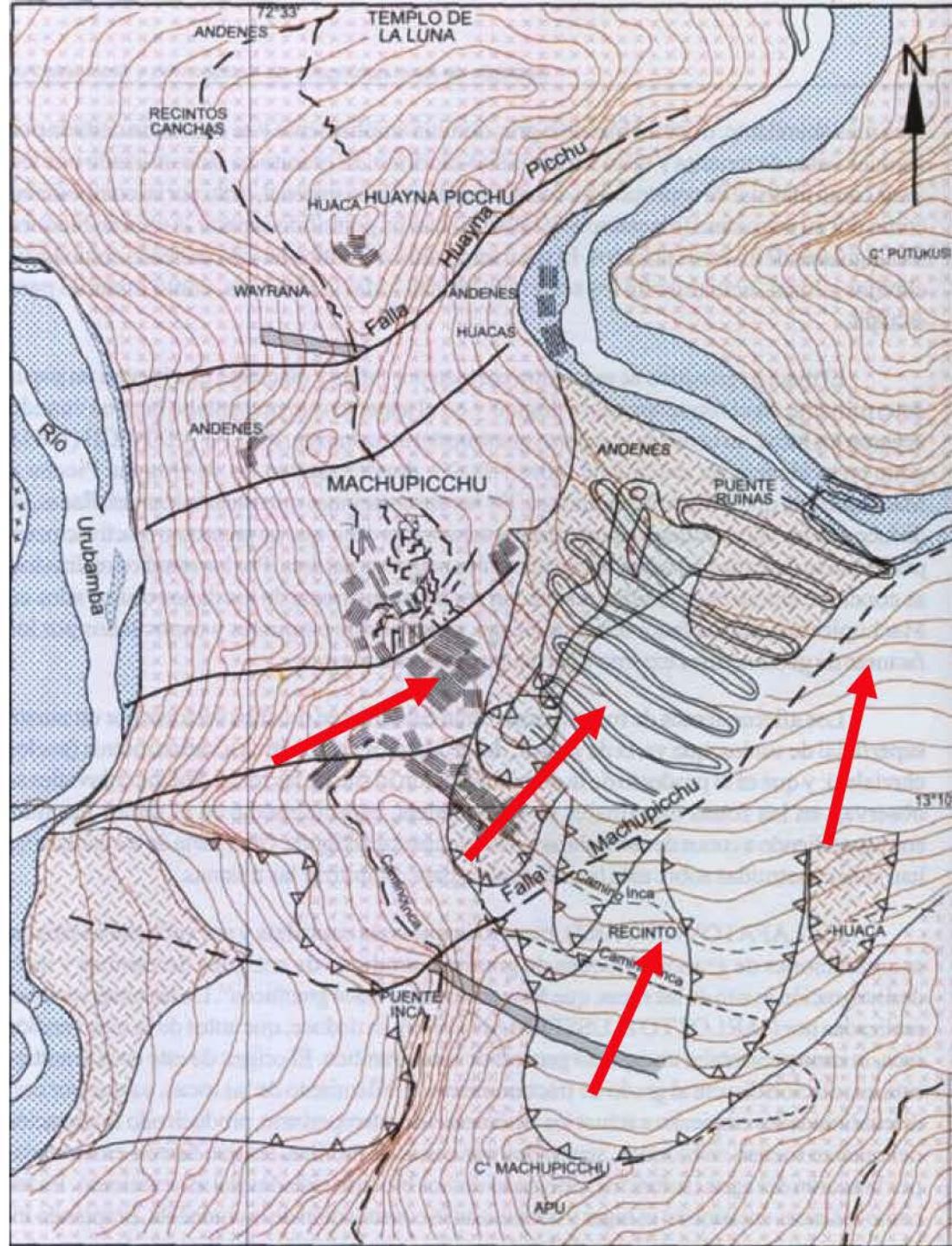
MACCHU PICCHU – nedotknuté  
mesto



# Prvá zmienka o svahových pohyboch

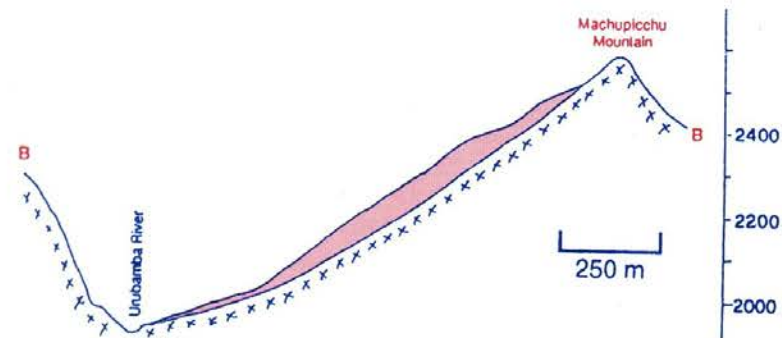


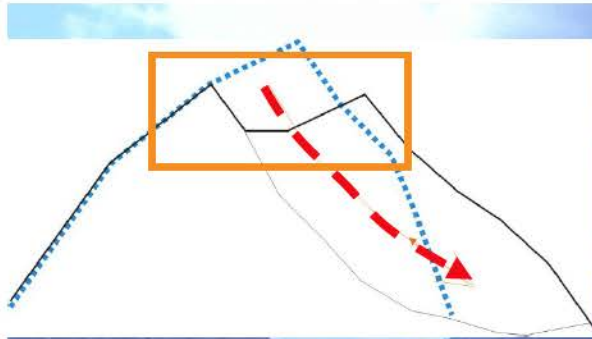
**Kalafatovich, 1963**





Skalné zrútenie,  
6000 m<sup>3</sup>,  
Carreno, Bonnard, 1997

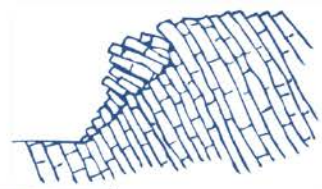




Deformácia objektov indikuje pohyb??  
Je to pohyb alebo dosledok iných  
javov??



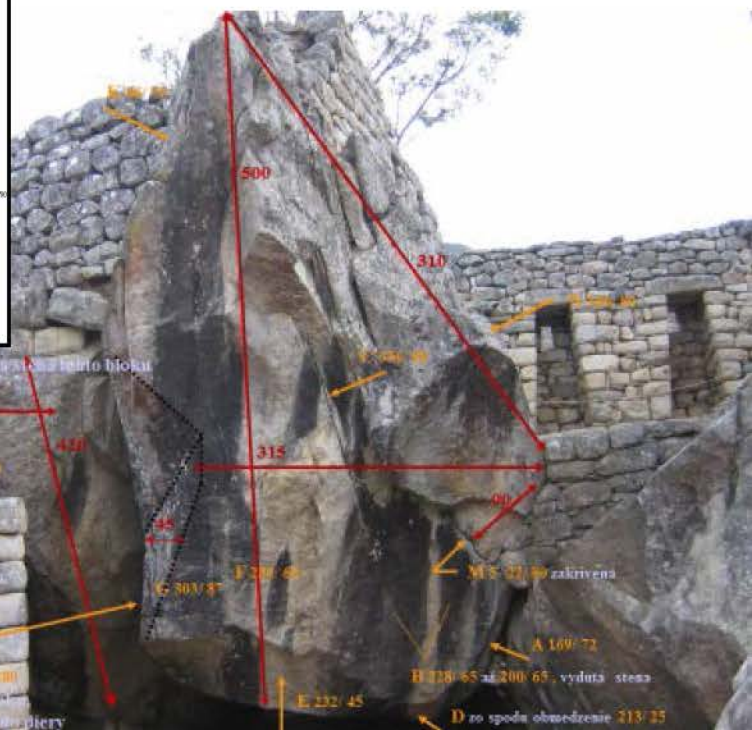
# Detaily registrovaných porúč











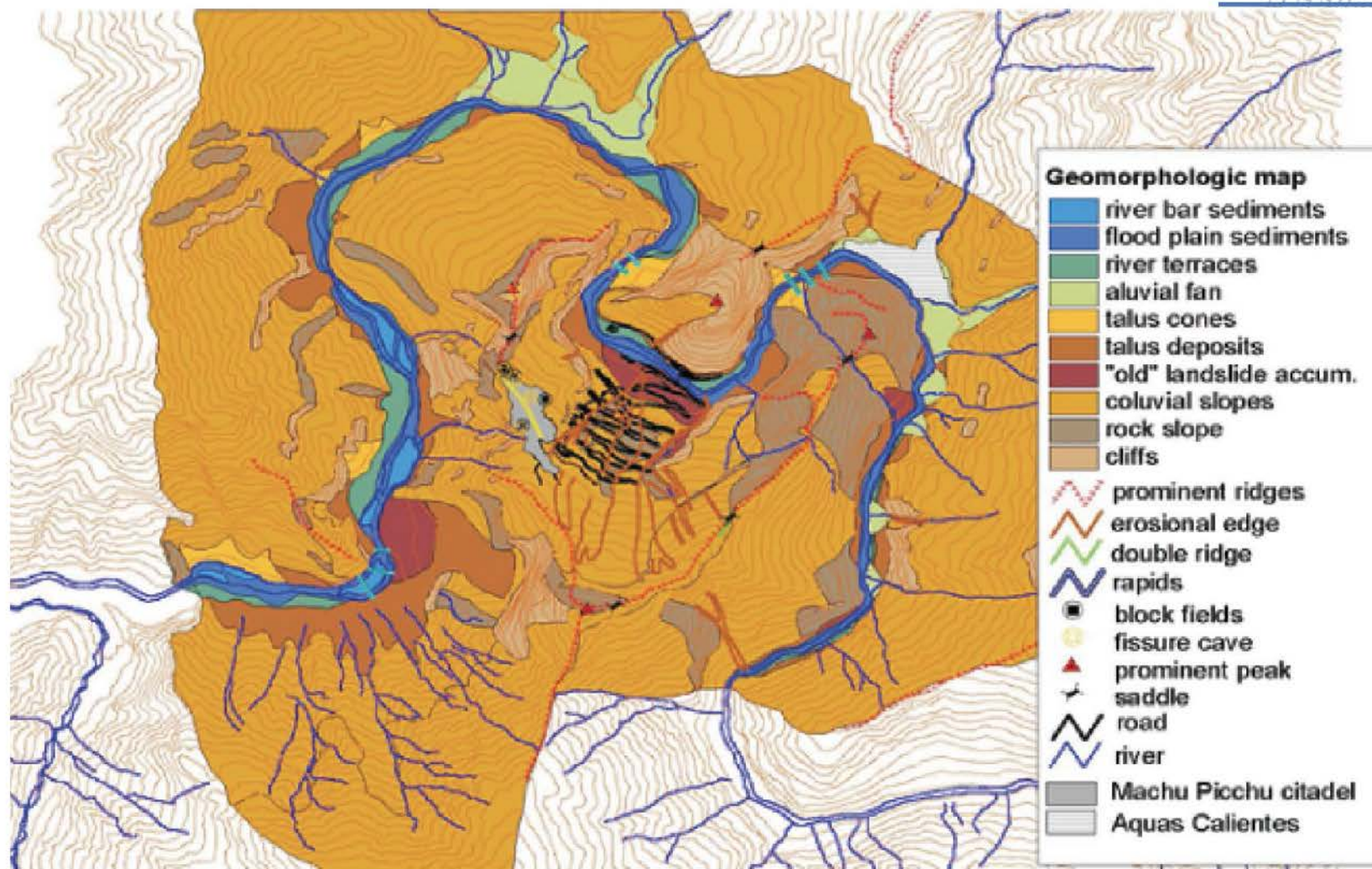


# Výskum na Machu Picchu partnermi v rámci ICL z Českej Republiky, Japonska, Kanady, a Talianska

# Expressions of Risky Geomorphologic Proceses in Deformations of Rock Structures at Machu Picchu, Peru (Česká Republika)

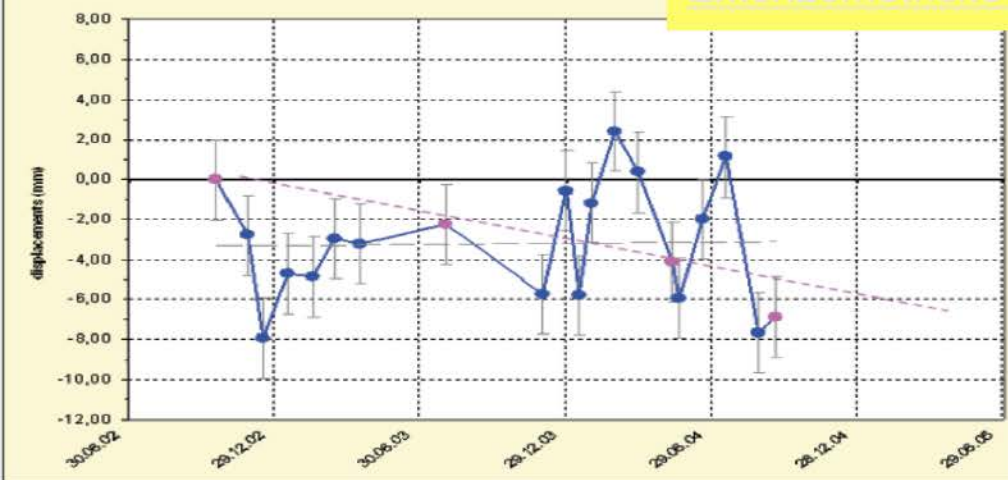


# Geomorfologická mapa Machu Picchu

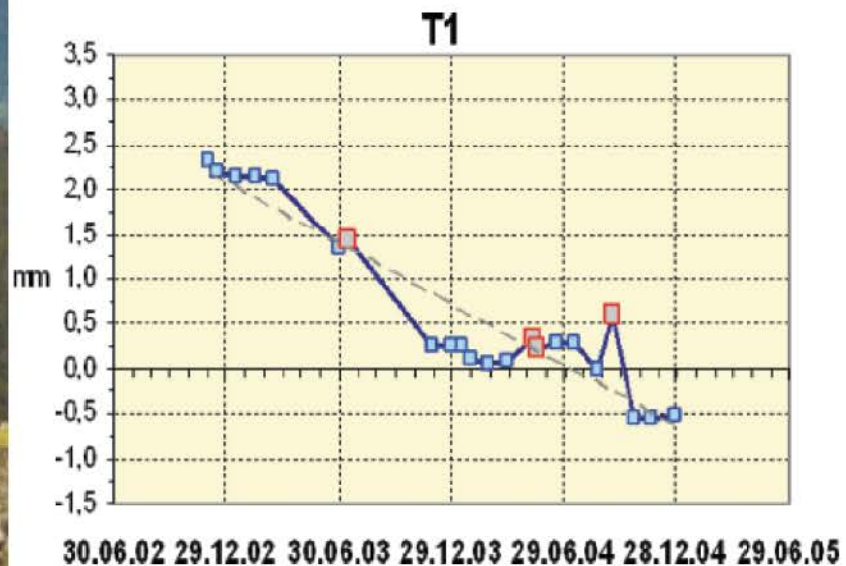


EN - 1

# Extenzometrické merania



# Dilatometrické merania

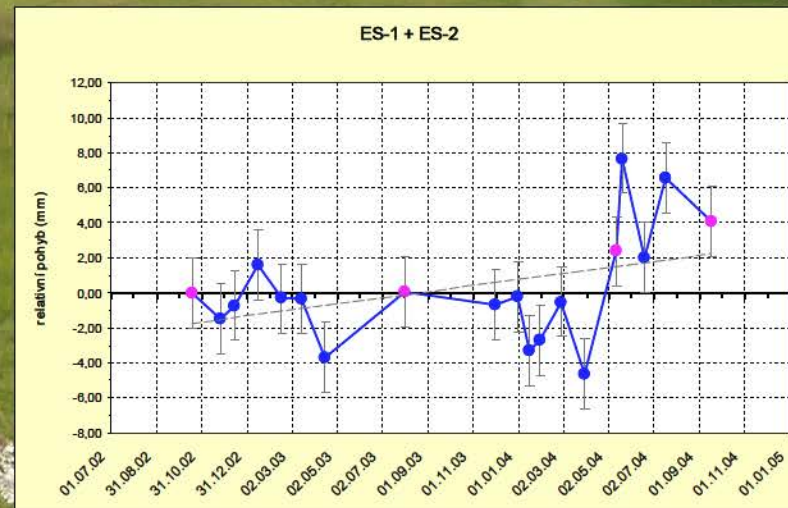


**Fig. 4.6.** An example of irreversible movement by dilatometric measurements (site Temple I). *Blue dots:* Current measurements; *red-gray dots:* special control measurements

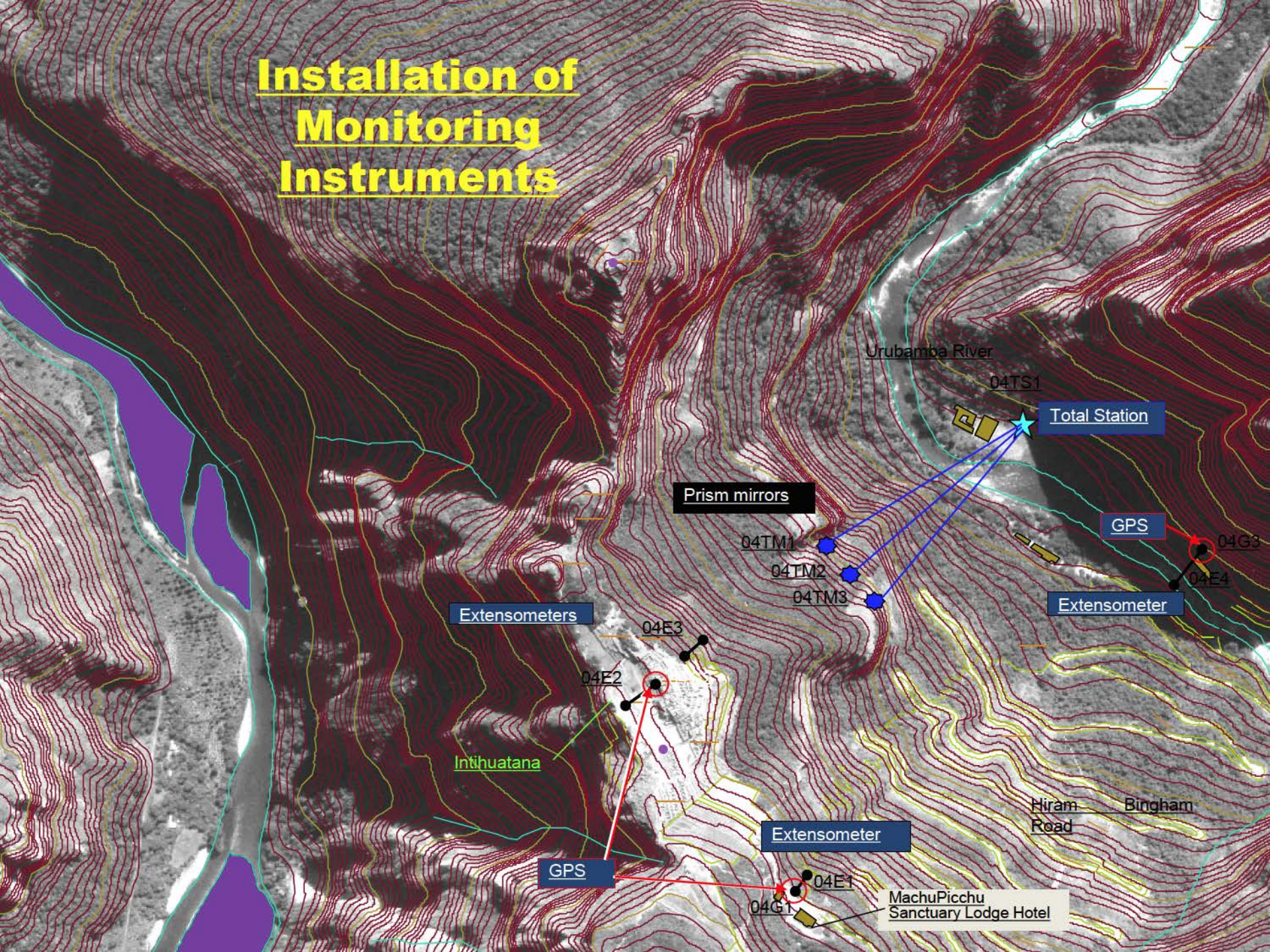
# Extensometrické merania

## Main Piazza

- installation
- trend
- opening

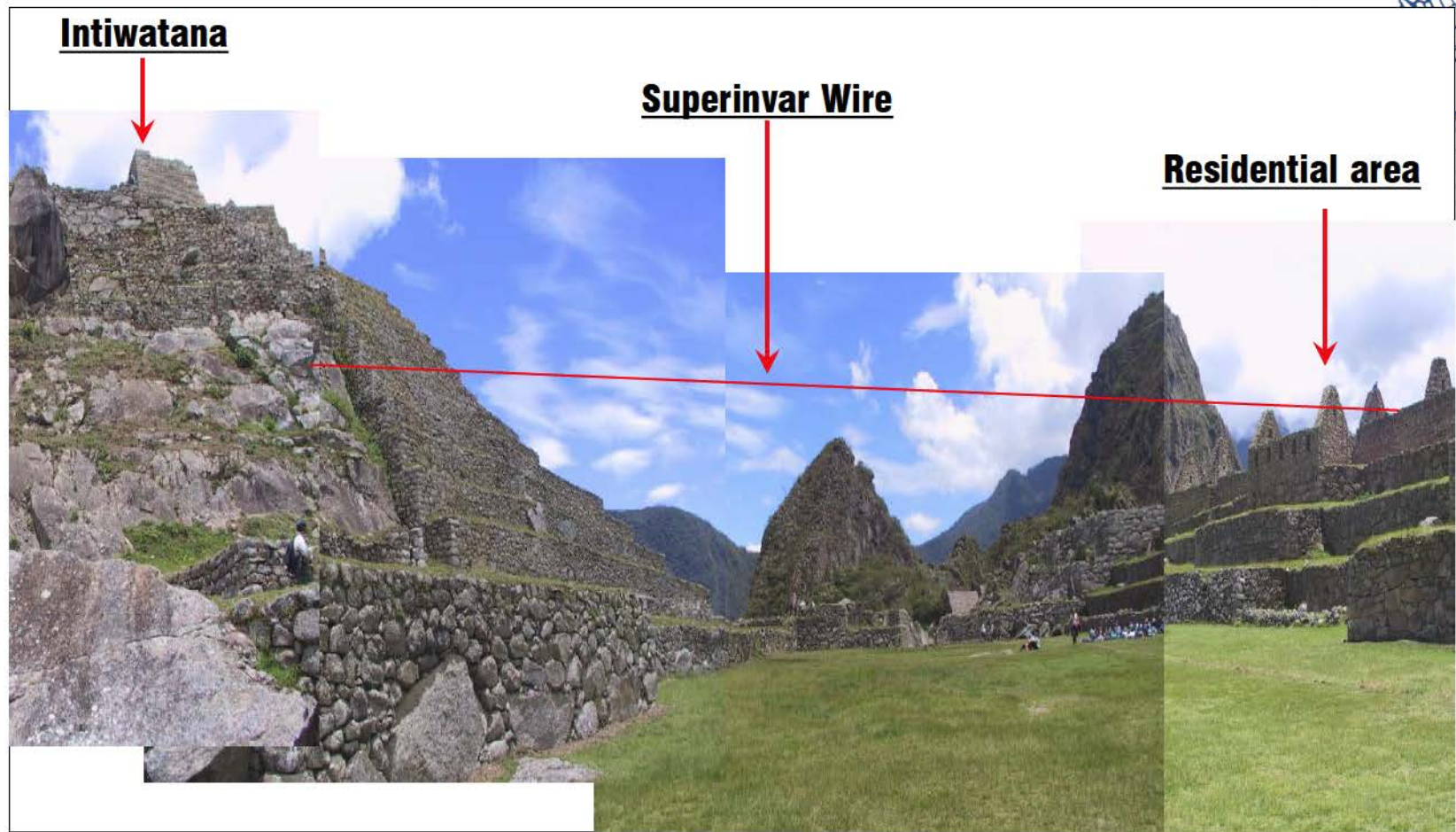


# Installation of Monitoring Instruments



# Extensometer on Block ①

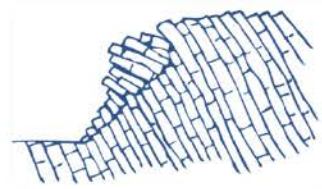




**Extensometer crossing the center part of Citadel**

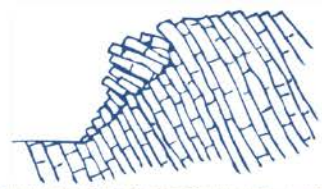


**GPS antenna**



**Installing of GPS  
near the plaza**





**Extensometer**  
**crossing the center**  
**part of Citadel**





# Analýza seizmickej odozvy skalného bloku na Catarata 2, Machu Picchu - Peru

2000-5000 návštevníkov denne  
0.7-1.8 mil/rok

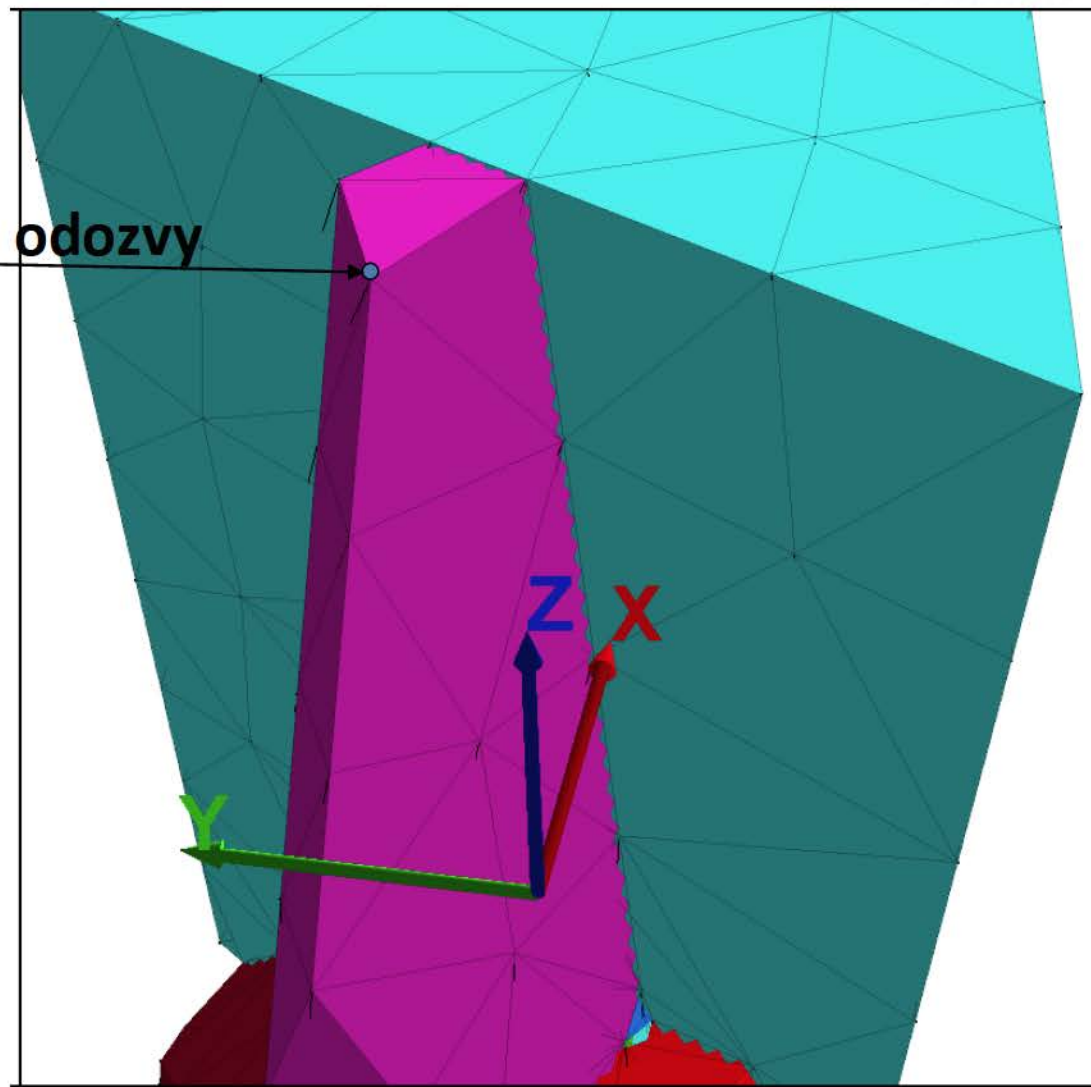
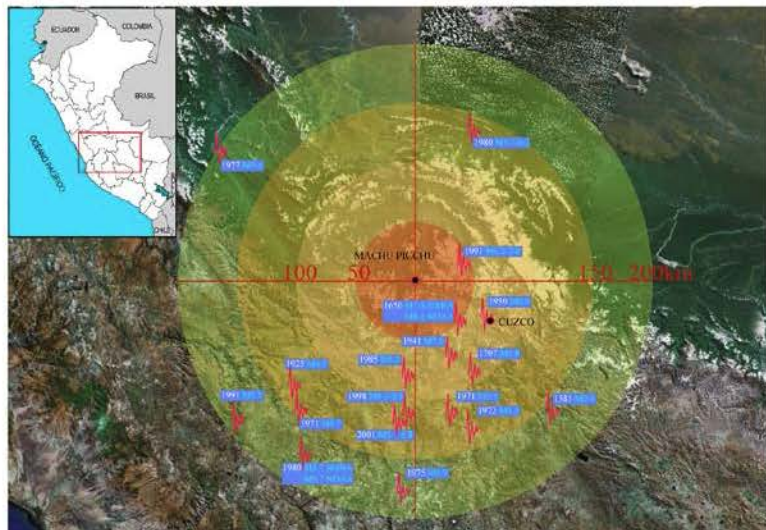




# Odozva bloku - Catarata 2 na zmenšené zemetrasenie Pisco 2007

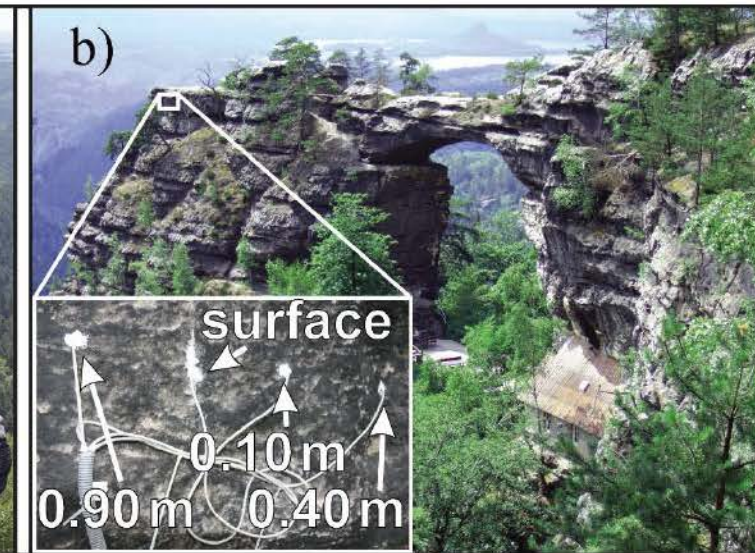
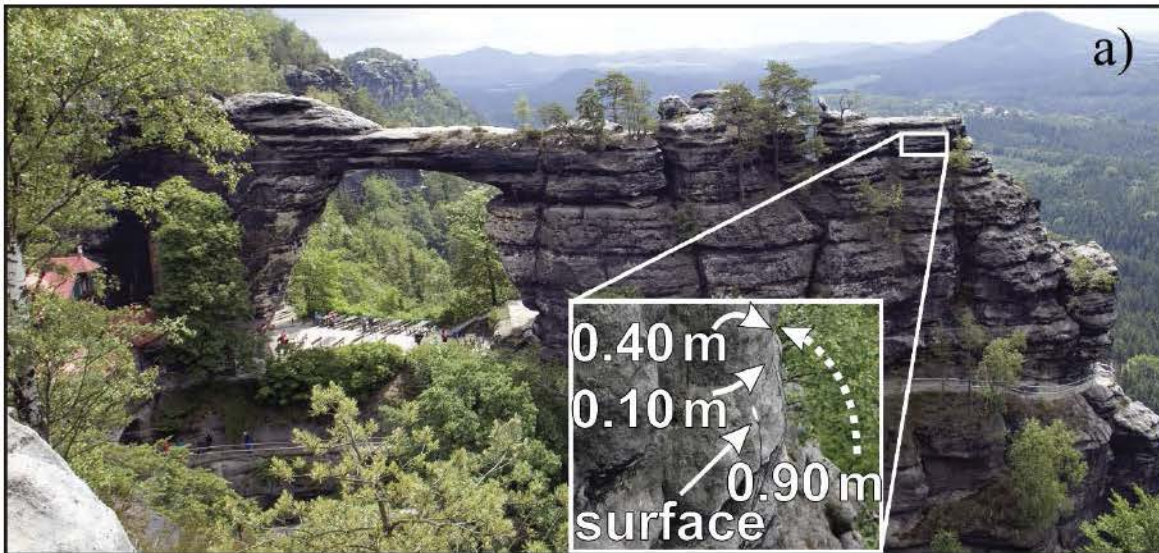
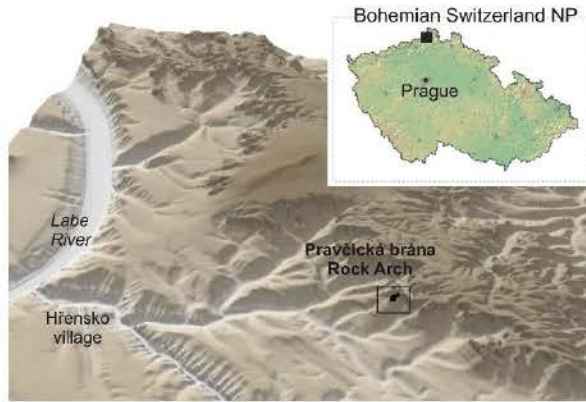
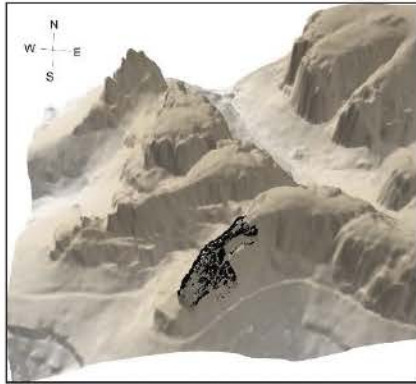


**Bod merania odozvy**

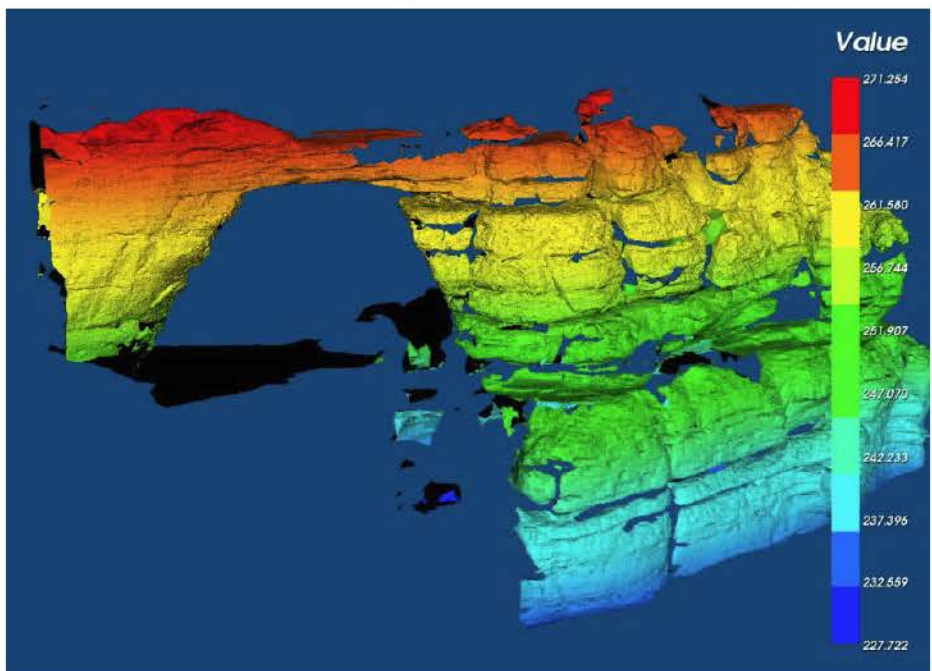


Greif V. a Vlčko J.:Earthquake response analysis of the Catarata 2 rock block at Machu Picchu – Peru. Proceedings of the 1st World Landslide Forum. - Tokyo : United Nations University, 2008. - S. 231-234

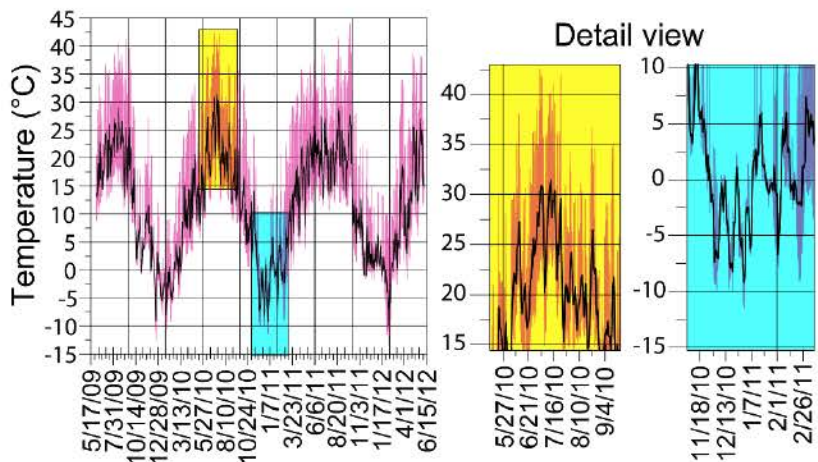
# Termo-mechanický model správania sa telesa Pravčickej brány v závislosti na ročných zmenách teploty



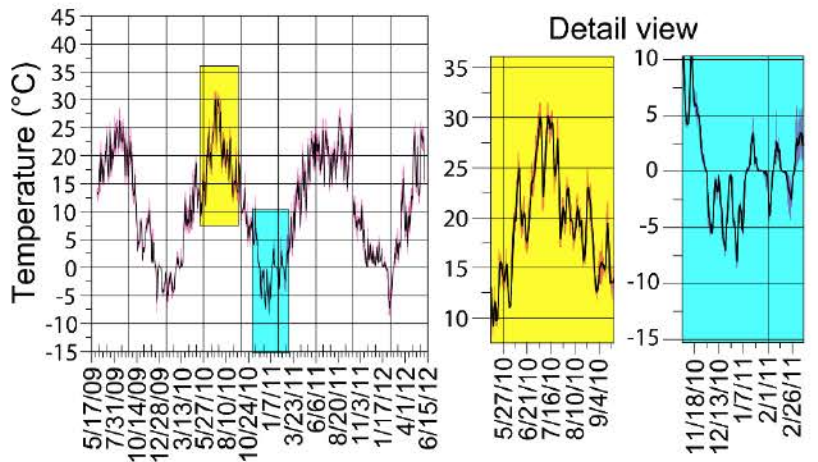
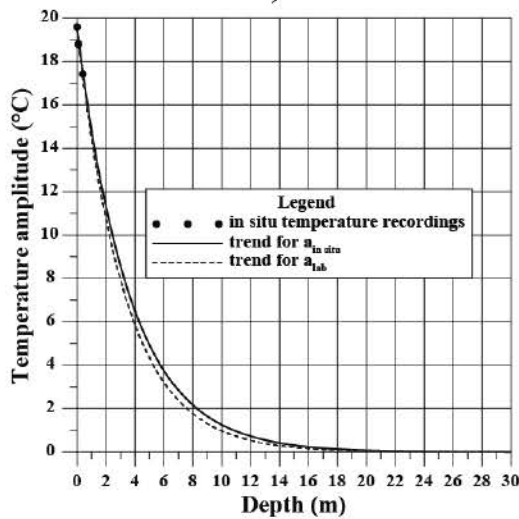
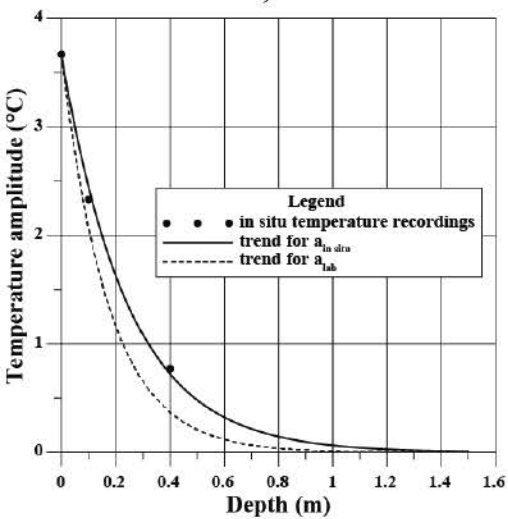
# Termo-mechanický model správania sa telesa Pravčickej brány v závislosti na ročných zmenách teploty



a)

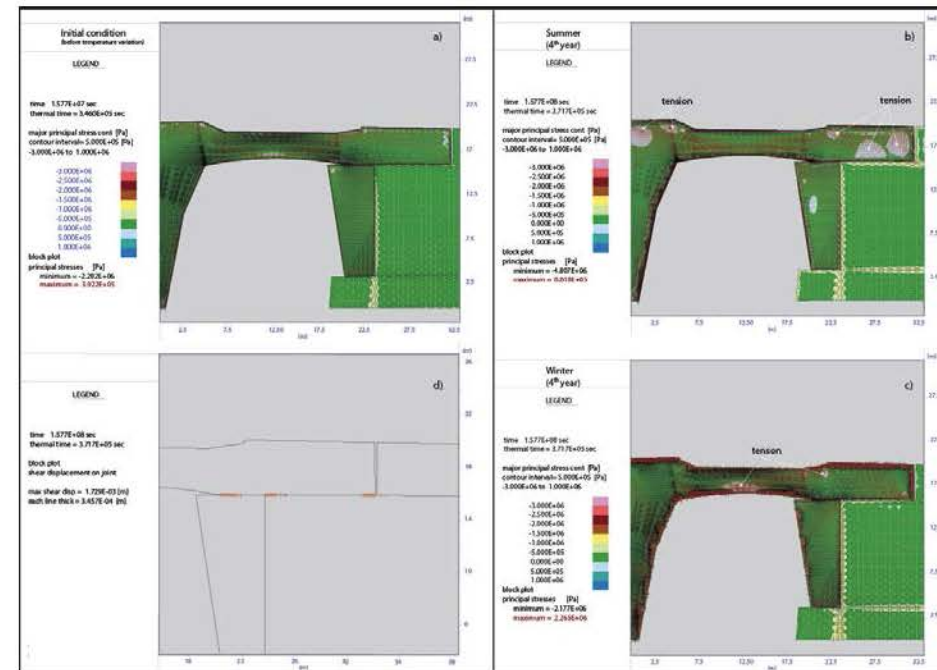
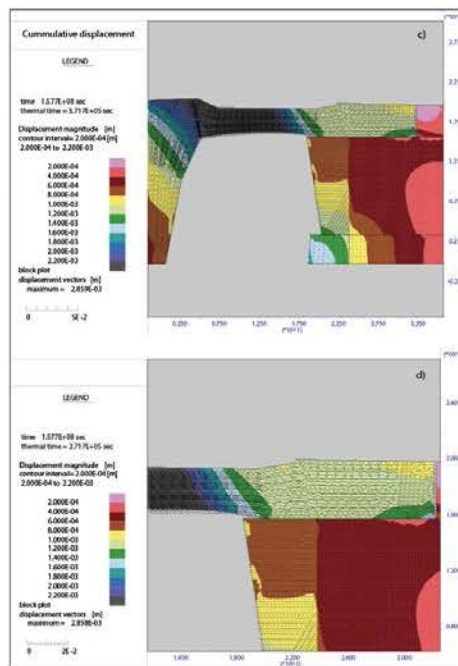
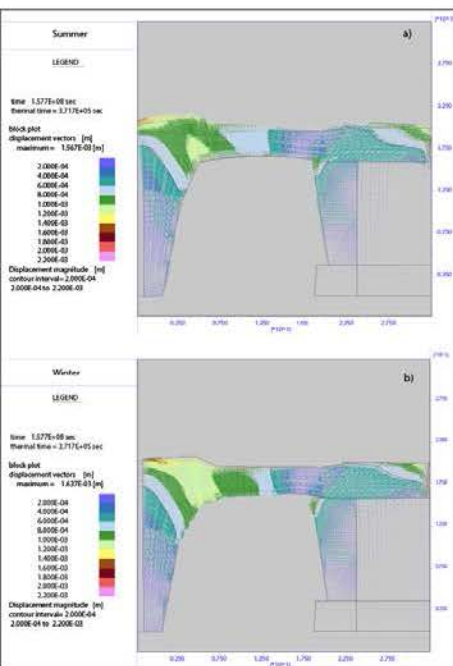
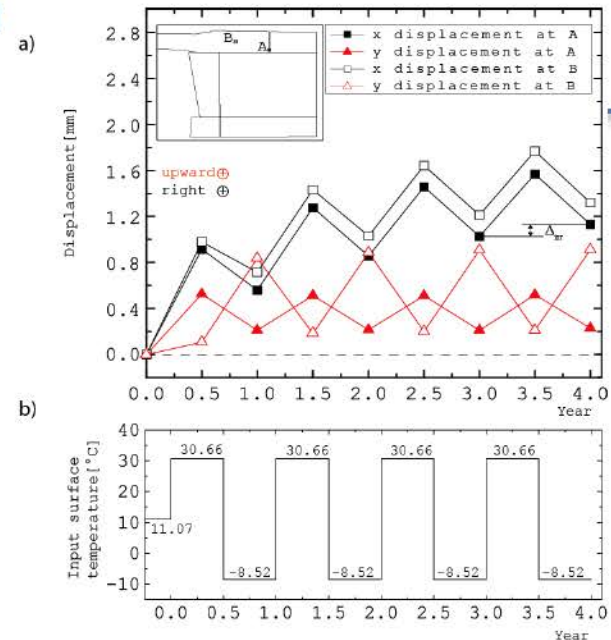
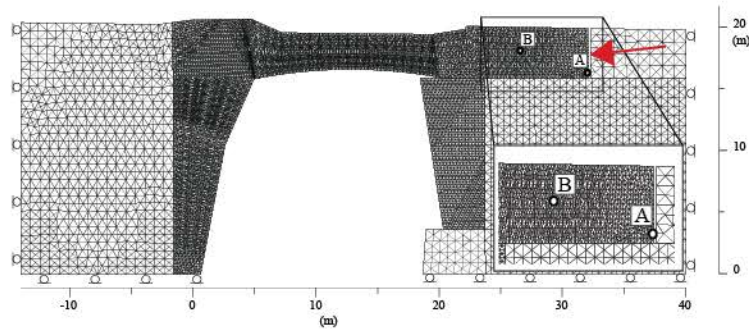


b)



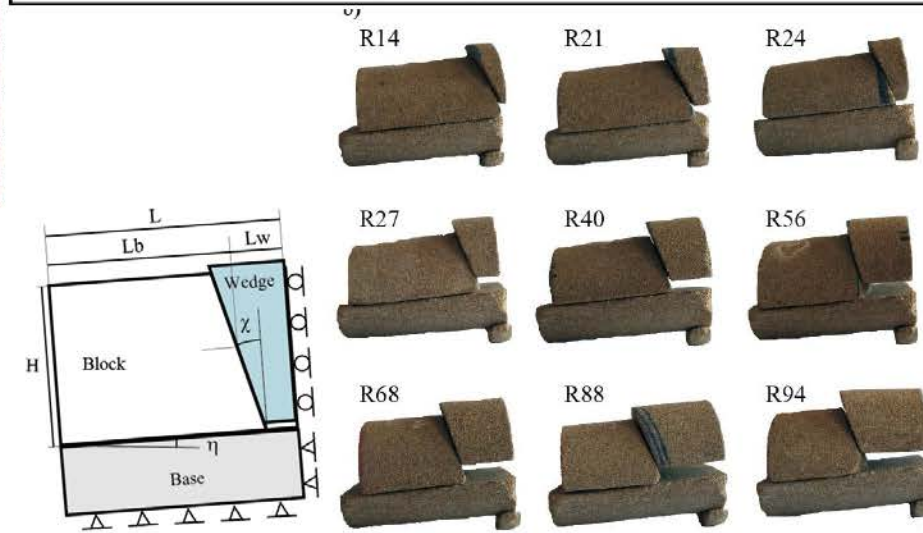
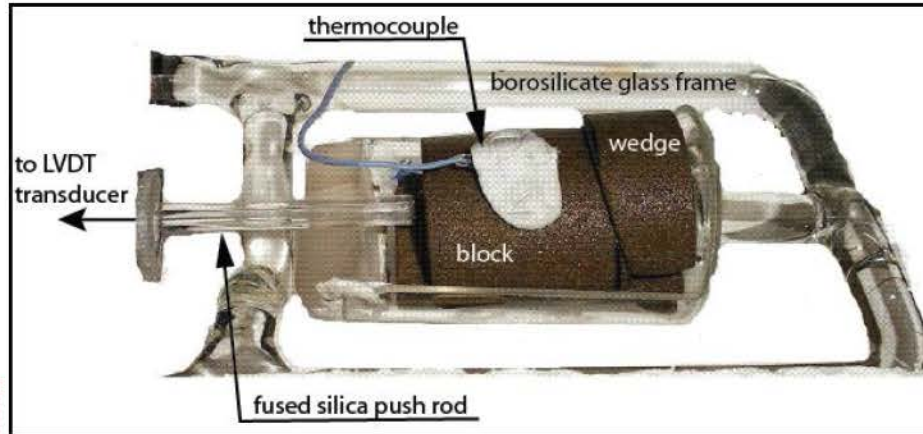
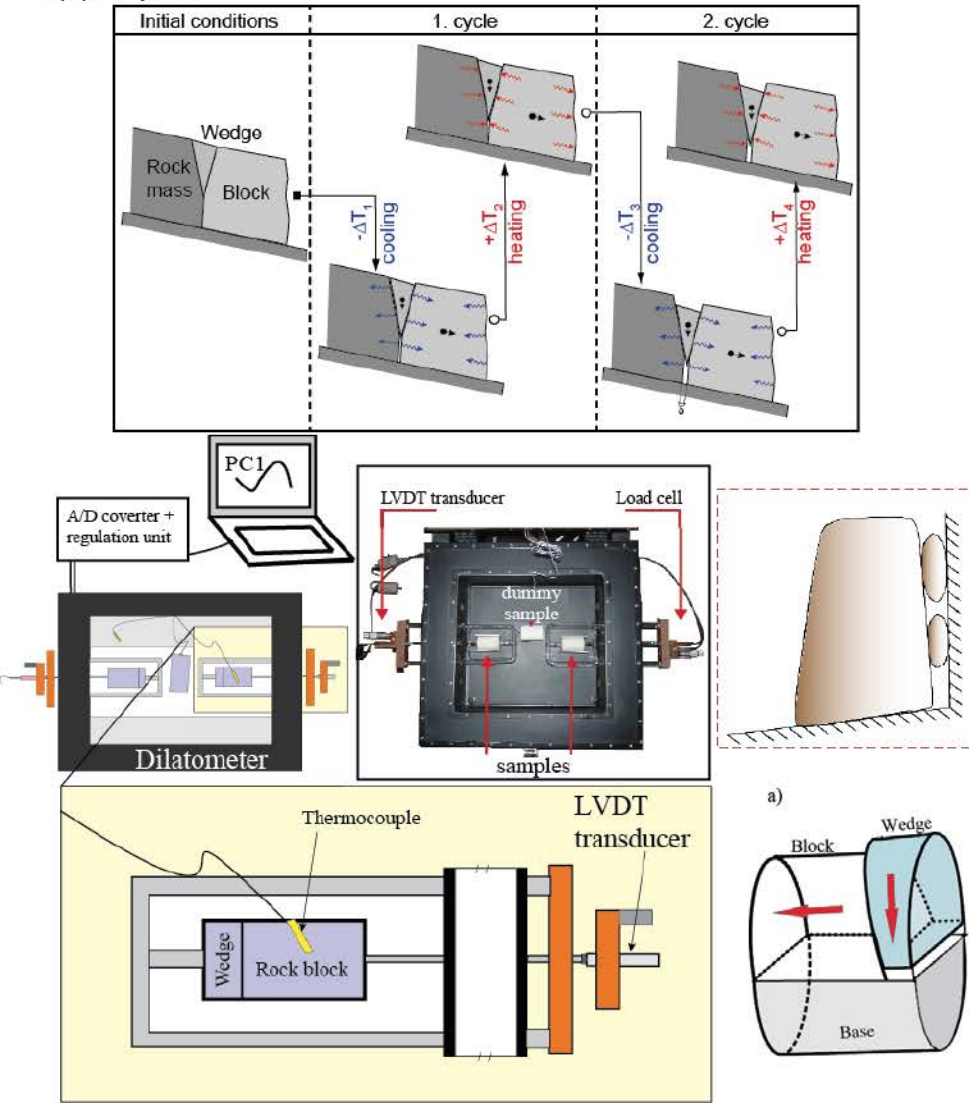
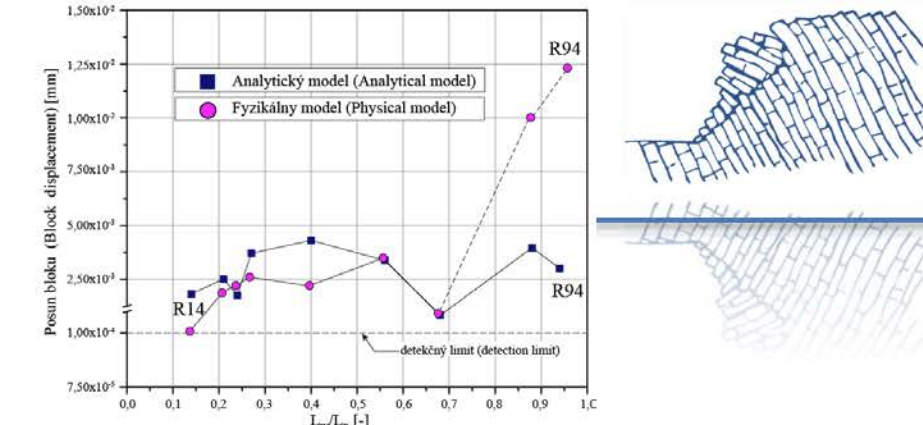
# Termo-mechanický model správania sa telesa Pravčickej brány v závislosti na ročných zmenách teploty

Vlčko J. a kol.: Deformation monitoring at cultural and natural heritage sites . 1st International Symposium on Danxia Landform, Danxiashan Guangdond , 2009, - S. 317-324

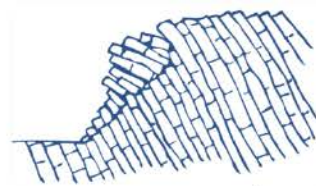


# Fyzikálne modelovanie rozvoľnenia skalných masívov mechanizmom vkladovania blokov vplyvom cyklických teplotných zmien

Šimková I., Greif V., Vlčko J., Ekkertová P., 2014 Fyzikálne modelovanie rozvoľnenia skalných masívov mechanizmom vkladovania blokov vplyvom cyklických teplotných zmien. AGEOS 5(1), in print



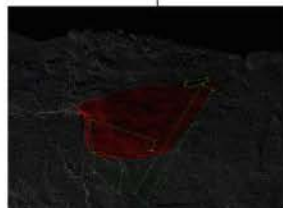
# Výpočet stability skalného svahu metódou kľúčových blokov (KbSlope)



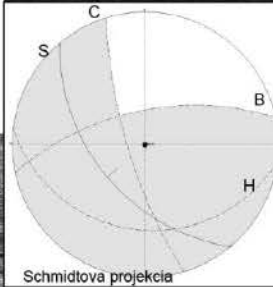
## Spišský hrad-západné paláce



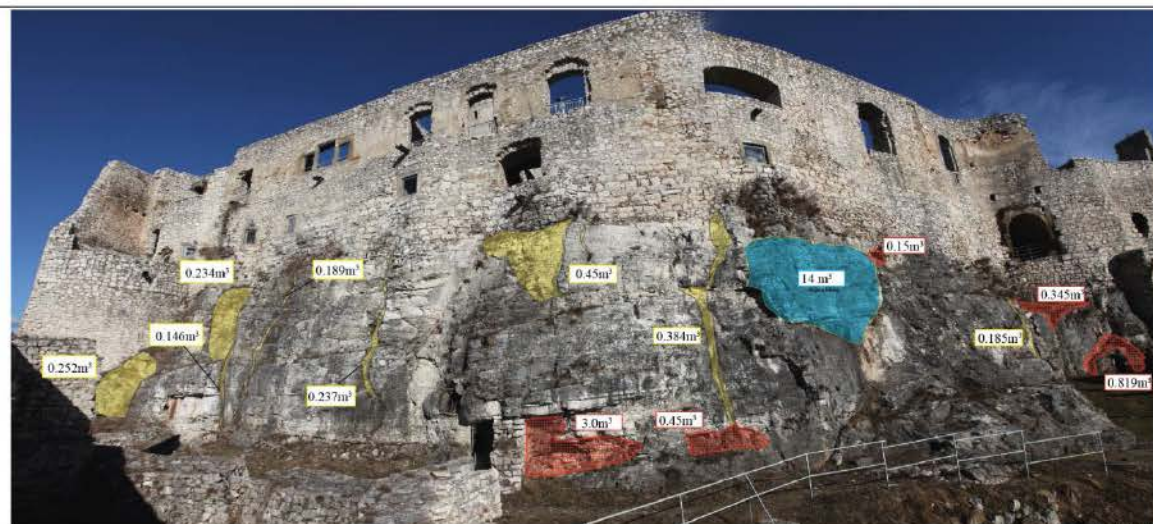
Blok 2



Mračno bodov z laserového scanneru



Schmidtova projekcia



### Vysvetlivky:

- kotvenie podzákladia severnej časti paláca nepravidelnou sieťou kotiev
- podmurovanie previsov, hĺbkové škárovanie po celej výške

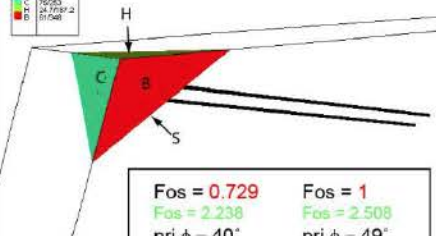


Dp: 0110  
Coordinate Dimensional Block  
Volume: 14.8009

Wd: 374622  
Coordinate Block: 0.728416  
Coordinate Block: 5  
Wd: 273568  
Wd: 5

Výpočet stability metódou kľúčových blokov  
v programe KbSlope (Pantechnica)

Place: Dp: Dp: Dp  
C: 48720  
H: 48720  
B: 48720  
S: 48720



Fos = 0.729

Fos = 1

Fos = 2.238

Fos = 2.508

pri  $\phi = 40^\circ$

pri  $\phi = 49^\circ$



### Vysvetlivky:

- S - potenciálna šmyková plocha
- C,H,B - pukliny vymedzujúce horninový blok
- Fos - stupeň stability
- Fos - stupeň stability po stabilizácii

### Návrh stabilizácie:

2 svorníky  
nosnosť 308 kN/ks  
dĺžka 5 m  
orientácia 63°/10°



(ADC) Vlčko J., Greif V., Grof V., Jezný M., Petro L., Brcek M., :Rock displacement and thermal expansion study at historic heritage sites in Slovakia. Environmental Geology, Vol. 58, No. 8, Sp. Iss. (2009), s. 1727-1740



Ďakujem za pozornosť