

Pavel Mentlík

Mgr. – FPE ZČU v Plzni (geografie, biologie)

DP – (2000)

Kryogenní a glacigenní tvary povodí Ostrého potoka (Šumava)

Ph.D. – (2006) nejprve Praha (2 roky), po dvou letech PrF Bratislava – prof. Minár celkem 4 roky

Geomorfologická analýza a tvorba GmIS pro okolí Prášilského jezera a jezera Laka na Šumavě

doc. PrF Bratislava

Výzkum vývoje reliéfu vrcholových partií SZ Šumavy prostřednictvím inovativních výzkumných metod

Projekty GAAV – juniorský a standardní

Od roku 2005 Vysoké Tatry – spolupráce prof. Minár, později Dr. Engel (UK Praha)

Dnes 2012-2016 GAČR (Pánek, Engel, Mentlík) - **Časoprostorová variabilita hlubokých svahových deformací v Tatrách (Západní Karpaty)**

Geografie na Fakultě pedagogické Západočeské univerzity v Plzni

Nejprve **Katedra geografie** zejména humánní a regionální? geografie

- – 2012 odchod většiny pracovníků na Ekonomickou fakultu – humánní geografie
- Fyzická geografie a oborová didaktika zůstala na FPE
– vznik **Centra biologie, geověd a envigogiky (environmentální výchovy)**

Projekt ESF NEXLIZ – Nová excelence lidských zdrojů – dvě postdok pozice

- Náplní je **fyzická geografie a zakládáme oborové didaktiky**

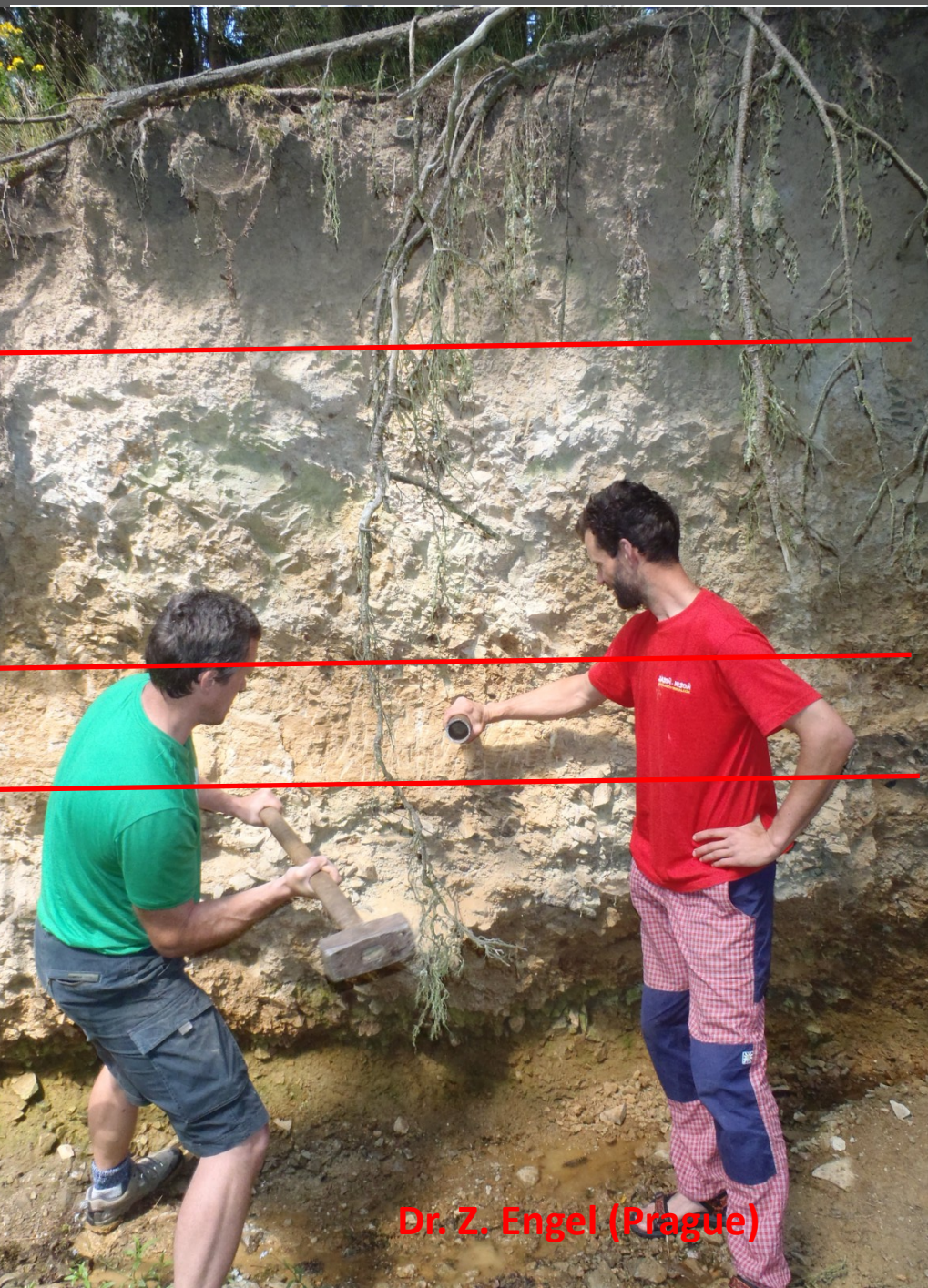
Mentlík- zalednění Šumava, Tatry, oborové didaktiky

Vočadlova – pozdní glaciál horských a podhorských oblastí (Černé a Čertovo jezero)

Stacke – fluviální geomorfologie (Bečva) a vliv bobra na krajinu

Pluháčková – zalednění Západních Tater a didaktická transformace výsledků

Rak – Lidar v geomorfologii – testování geomorfologických hypotéz



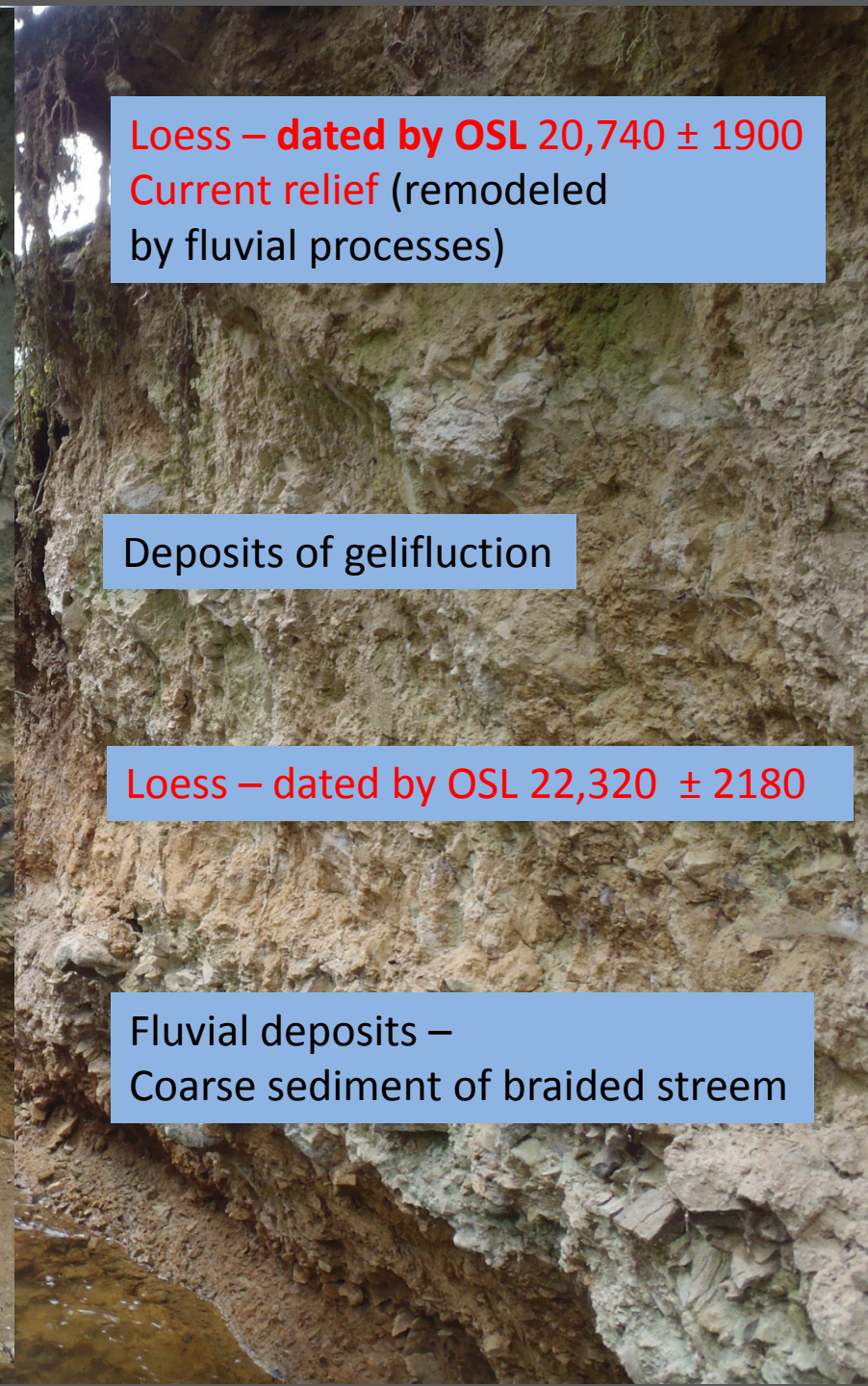
Dr. Z. Engel (Prague)

Loess – dated by OSL $20,740 \pm 1900$
Current relief (remodeled
by fluvial processes)

Deposits of gelifluction

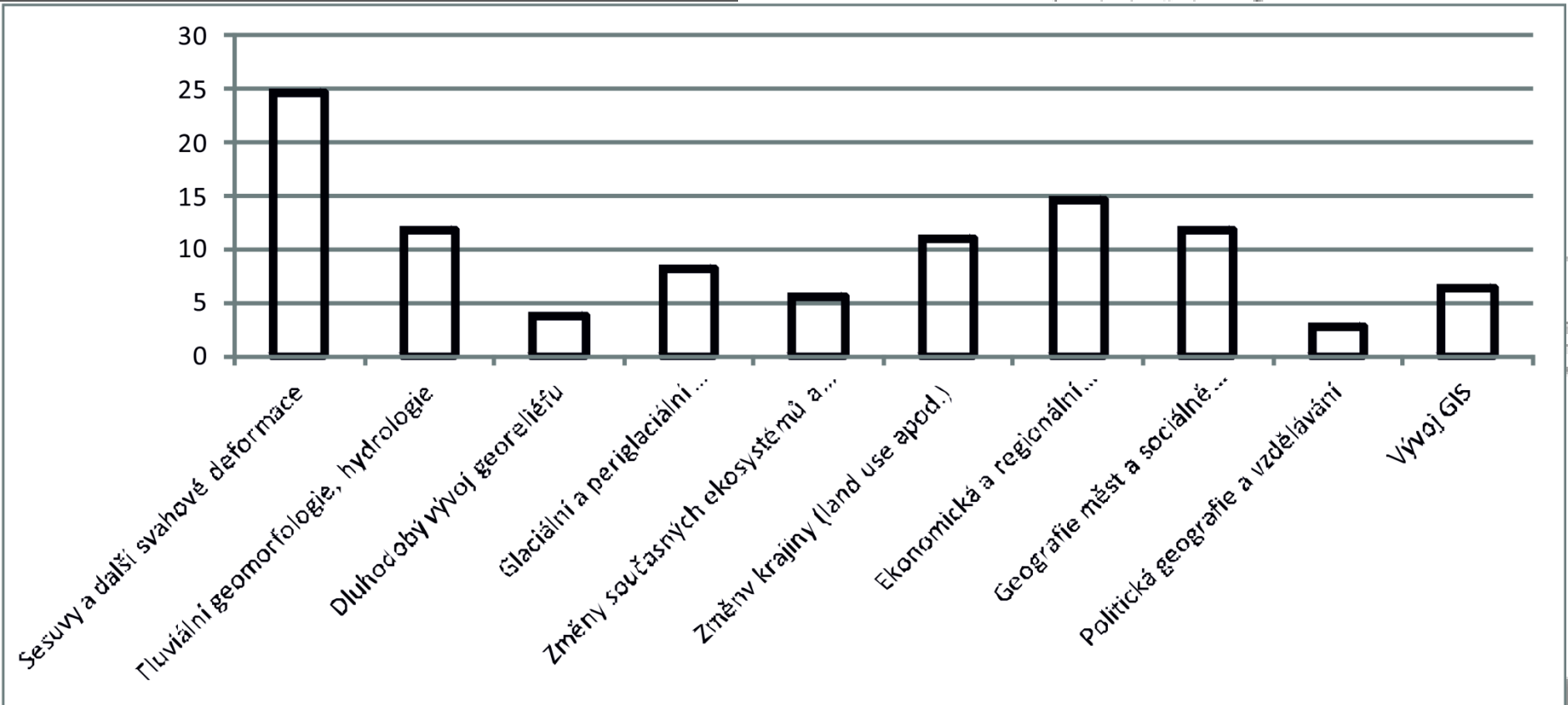
Loess – dated by OSL $22,320 \pm 2180$

Fluvial deposits –
Coarse sediment of braided stream



Didaktický výzkum

Rozbor literatury



Klasifikace článků a jejich analýza

Klasifikace témat a jejich analýza

Syntéza poznatků a závěry



Pozdní glaciál v horách a velehorách střední Evropy (Šumava, Tatry) – pohled geomorfologa

doc. RNDr. Pavel Mentlík, PhD.

pment@cbg.zcu.cz

Osnova

1) Úvod

2) Regionální studie

a) Pozdní glaciál na Šumavě

b) Pozdní glaciál ve Vysokých Tarách

Geomorfologický Informační Systém (GmIS)

GmIS = integrující prostředí vhodné k mapování georeliéfu a uzpůsobené pro následné geomorfologické analýzy a modelování.

Geomorfologické mapování = rozčlenění reliéfu na základě **morfologie a morfometrie – morfogeze, morfochronologie a morfodynamiky...**

– vrstva elementárních forem reliéfu – jádro GmIS

Proč elementární formy reliéfu? (MINÁR AND EVANS, 2006)

- i) Elementární formy jsou segmenty vymezená uniformním způsobem (na základě morfometrie) a holisticky pokrývají zkoumané území;
- ii) Na rozdíl od tradičních částečně selektivních a diskrétních geomorfologických map spojitá vrstva EF umožňuje komplexní systematizaci reliéfu.
- iii) Rozsah a velikost složených forem (např. morénový val) je jasně vymezen spojováním EF.

Vhodné pro tvorbu komplexních geomorfologických map, holistickou geomorfologickou analýzu v GIS (resp. GmIS)

Vymezení EF a určení jejich geneze

Protoformy



Srovnání protoforem a ideálních EF
(Minár and Evans, 2006)



Terénní mapování

Ověření hranic EF a domapování malých forem



Vznik a vývoj (chronologie)
Multidisciplinární výzkum

1. Glacial cirque schematically depicted by contour lines; Elementary forms in accordance with protoforms are distinguished by colours

i) The approach of Minár and Evans (2008) was used for delimitation of elementary forms:

1. "protoforms" (segments of relief defined by the most distinctive discontinuities) were delimited;
2. affinity of the protoforms to the set of interpretable „ideal elementary forms" was assessed and elementary forms were delimited.

Debris slip/flow track: delimited by field mapping

1.-6. „ideal elementary forms" presented by contour lines

2. Corrected elementary forms distinguished by colours

ii) boundaries of each elementary form were proved by GPS field mapping (in scale 1:5000). Small landforms, which had been differentiated neither on the contour map nor on the DEM, due to their limited resolution, were mapped: e.g. ravines, debris slip/flow tracks (10 % of all forms). Boundaries of ~40 % of all finally mapped forms had to be changed by the field verification.

The elementary forms mapped by detailed fieldwork were verified against an orthophotomap.

3. Elementary forms distinguished by colours (with defined origin)

headwall, ravine, debris toe, bottom of corrie, Moraine: glacial origin

iii) multidisciplinary research helped to explain the origin and chronology of the elementary forms (see the section 3.1 for details). The data obtained were spatially connected with particular elementary forms.

iv) according to information obtained by field mapping and data from the multidisciplinary research the probable origin, development and chronology were stated for each elementary form. These changes were marked in the geodatabase (no changes of delimitation were made in this step).

Proces tvorby detailní geomorfologické mapy

Slučování EF podle převládajícího genetického procesu. Geneticky homogenní (mikro chory) geomorfologické formy



Vymezení vůdčích forem (dominantní formy, na nichž vznikají mladší a menší formy závislé



Definice vzniku a pozice forem (vůdčí a závislé)

Reliabilita určení vzniku (vůdčího procesu) různá

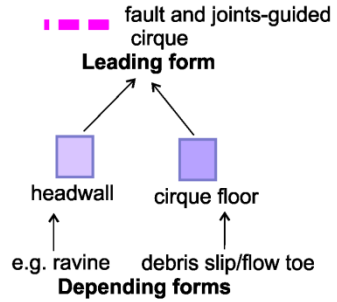
Mapa vypovídající hodnoty geneze forem

i) **grouping of elementary forms** (according to predominant process leading to their origin) into genetically homogenous areas (landforms) — often accords with traditional landforms: moraine walls, gullies etc.

Landforms

	recessional moraine		ravine
	cirque floor		debris slip/flow track
	headwall		debris slip/flow toe

ii) **delimitation of leading forms:** an inductive method (spatial connection and exclusion of small landforms) was used for delimitation of larger genetically homogenous segments of relief (leading forms).



iii) **definition of origin and system position of landforms** (whether leading or depending). The landforms were classified into the Legend as follows: i) according to predominant genetic process; and ii) type of the process (whether erosional or depositional).

Glacial landforms

<i>Erosional</i>		of fault guided cirque
headwall		of fault guided cirque
cirque floor		of fault guided cirque
<i>Depositional</i>		on cirque floor
recessional moraine		on cirque floor

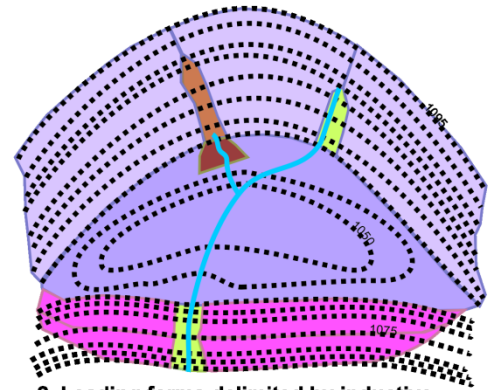
Fluvial landforms

<i>Erosional</i>		on headwall
ravine		on headwall
<i>Depositional</i>		on recessional moraine
ravine		on recessional moraine

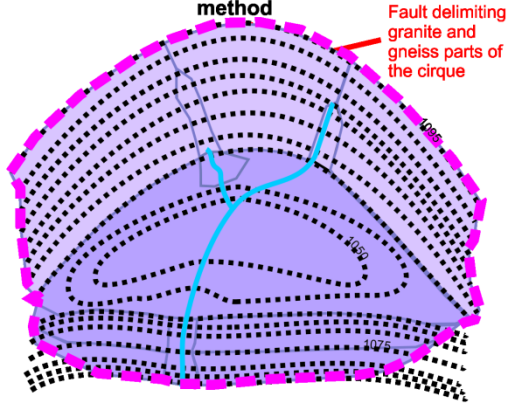
Mass movements landforms

<i>Erosional</i>		on headwall
debris slip/flow track		on headwall
<i>Depositional</i>		on cirque floor
debris slip/flow toe		on cirque floor

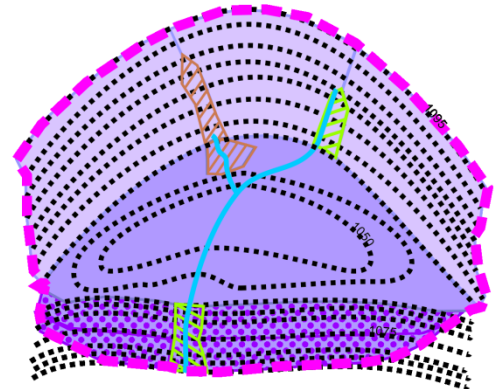
1. Elementary forms grouped by their origin



2. Leading forms delimited by inductive method



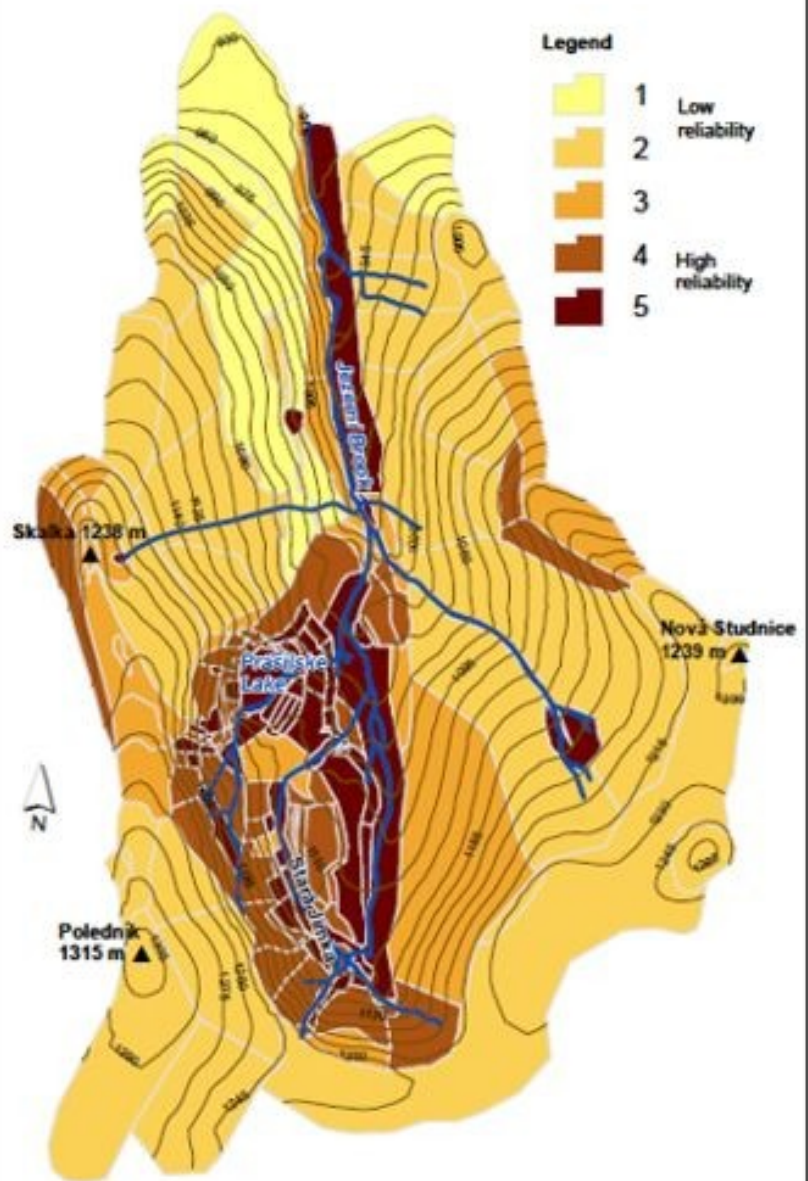
3. The final definition of landforms



Kategorie pro tvorbu mapy vypovídající hodnoty geneze geomorfologických forem

Level of reliability	Definition of reliability level	Specification of landforms
1	Very uncertain: genesis stated according to general geomorphological context. Verification by other methods is not possible.	Pleistocene and older forms, very large (~135,000 m ²) significantly polygenetic forms (e.g. pediment).
2	Rather uncertain: the origin stated according to spatial relation with better defined landforms (mutual border with forms of level 3).	Pleistocene forms, large (~40,000 m ²), polygenetic (e.g. erosional slopes, dellens).
3	Uncertain: spatial relation with forms of level 4 (mutual border). Verification of origin and development by other methods is limited. The form is suggested as a part of a previous geomorphic system.	Forms not older than last glacial maximum, middle size and small (~25,000 m ²), one predominating process (e.g. side of trough).
4	Certain: origin and development is confirmed by exact methods. Alternative hypotheses of origin remain. The form is confirmed as a part of a previous geomorphic system.	Not older than last glacial maximum, smaller forms (>25,000 m ²), one predominating process (e.g. remnants of moraine).
5	Quite certain: more evidence confirms the origin of the form. An alternative hypothesis of the origin is unlikely. The form is confirmed as a part of a previous or present-day geomorphic system.	Not older than last glacial maximum, usually smaller forms (>25,000 m ²) one predominating process (e.g. recessional moraine or ravine).

Scientific reliability of elementary forms origin



Geomorfologie odpovídá na otázku: jak a kdy vznikly tvary reliéfu Země (geneze a čas)

Na topické a chorické úrovni opakující se formy – možné určit genezi a dobu vzniku.
Chápeme, jak funguje krajina...



Kar a moréna (Big Dog, British Columbia)
Takto mohla vypadat krajina v okolí
Prášilského jezera (vpravo) před cca 14
tis. lety



Kar a moréna (Prášilské jezero)

V jaké časové dimenzi se pohybujeme?

Změny přírodního prostředí (většinou provázené změnami klimatu) v různých prostorových (globálních až lokálních) a časových (od dávné geologické minulosti po současné změny) dimenzích.

Různé časové dimenze

Změny v „dávné“ geologické minulosti – paleontologie 5V (globální)

Změny v „nedávné“ geologické minulosti



Změny v historické době (záznamy, měření): desítky až stovky let; lokální až regionální

Změny současných eko- a geosystémů: roky, lokální až regionální

Environmentální změny v „nedávné“ (cca 2,6 milionu let) geologické minulosti = změny v kvartéru (čtvrtohory)

Projevují se globálními změnami klimatu a přírodních podmínek, které mají cyklický charakter

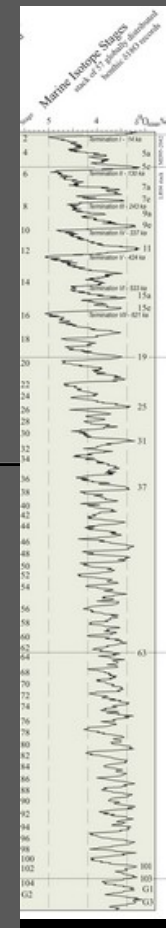
Jsou spojovány s ochlazováním (růst ledovců) a oteplováním (ústup ledovců) klimatu

Dochází ke změnám ekosystémů (kromě rovníkové oblasti). Změny jsou spojeny s omezeným vymíráním druhů a výraznými migracemi.

Změny jsou spojené se současným postavením kontinentů. Jsou výrazně ovlivňovány množstvím energie přicházející od slunce.

Z lidského pohledu tato období trvají dlouhou dobu. Celý vývoj *H. sapiens sapiens* proběhl v posledním chladném výkyvu.

Změny v „nedávné“ geologické minulosti



Pozdní glaciál

Konec poslední velké klimatické změny...

Navazuje na poslední glaciální maximum

19,5 ky zpět – výrazný vzestup hladiny světového oceánu

Končí posledním výrazným chladným obdobím (Mladším dryasem) resp. začátkem Holocénu

Konec posledního výrazného chladného výkyvu – pozdní glaciál

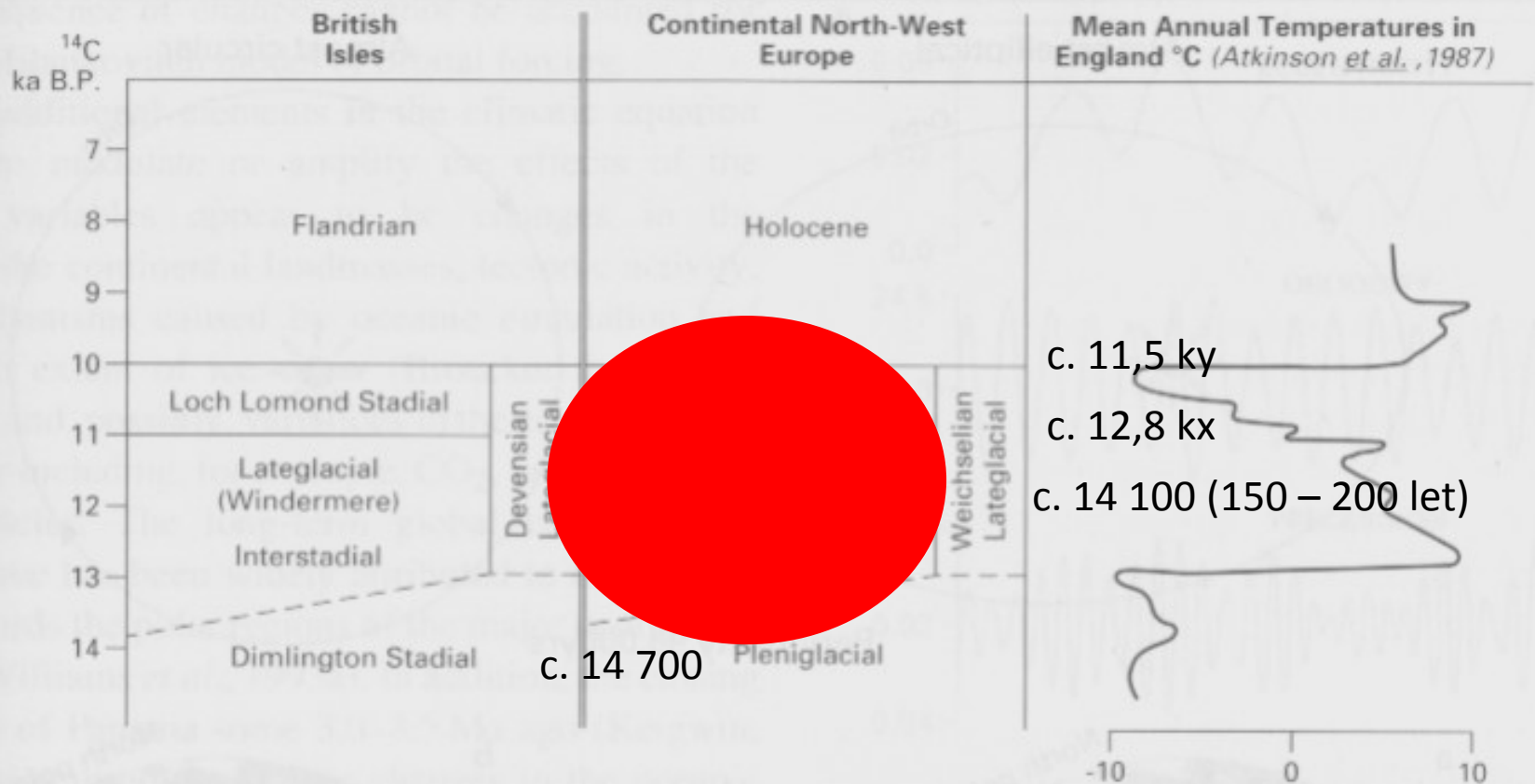
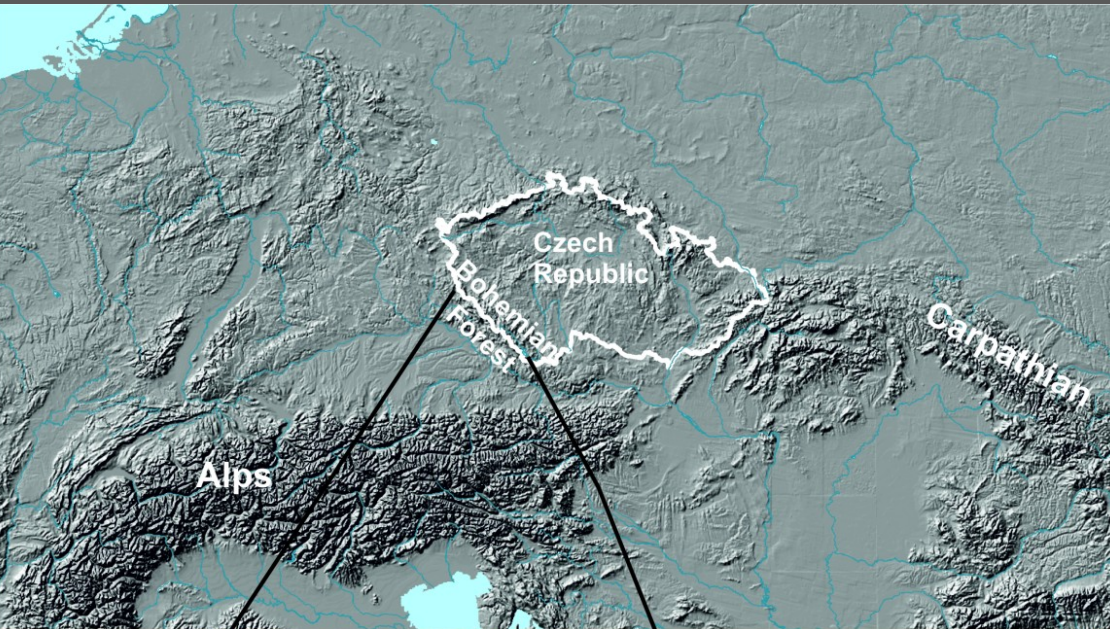


Figure 1.6 The Lateglacial period (c. 14–10 k ^{14}C years BP) in northwest Europe.

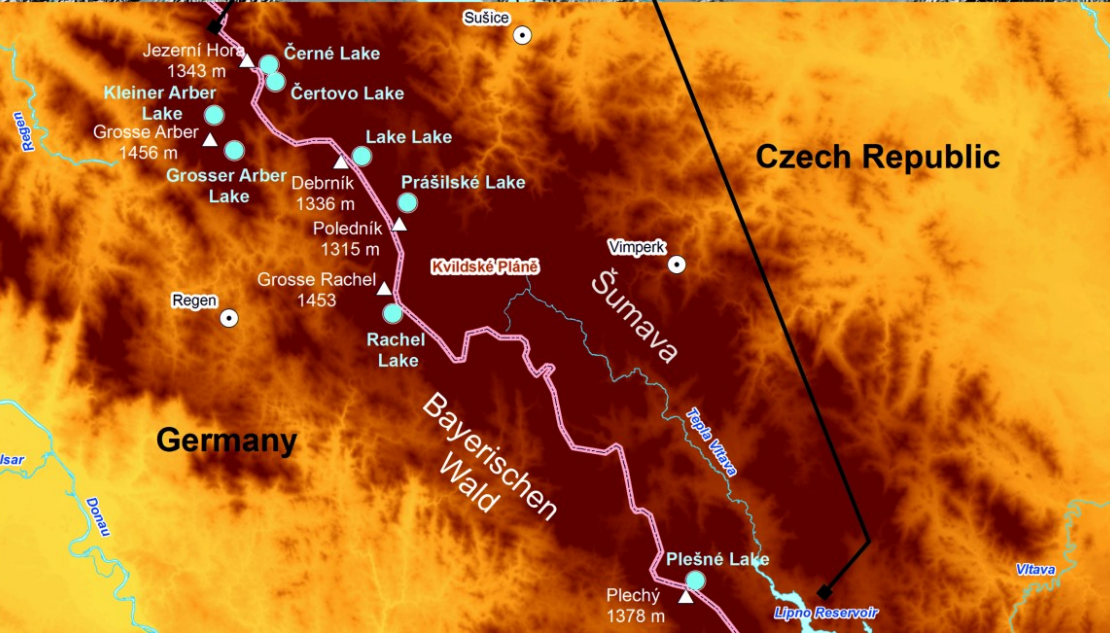
Šumava



Jihozápad ČM

Poměrně staré horniny – moldanubikum nad horninami Alpské předhlubně

Významné rozvodí a po léta hranice Českého království.



Poslední glaciál. Zejména oblasti jezer zalednění...

5 + 3

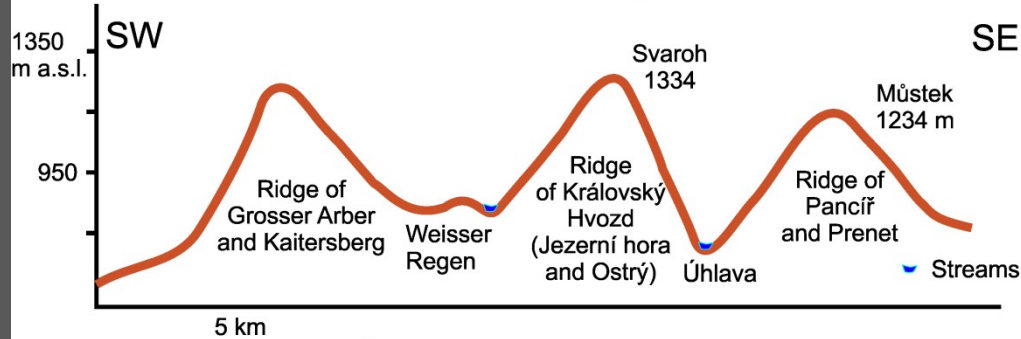


The highest peak of the Bohemian Forest
Grosser Arber 1456 m a.s.l.

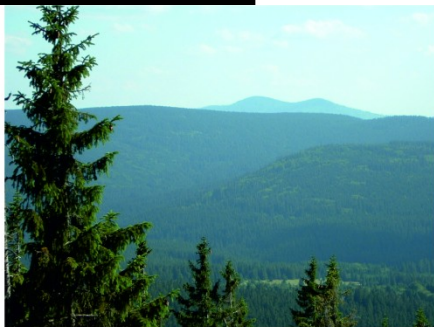


Ridge of Královský Hvozd from Velký
Ostrý 1293 m a.s.l.

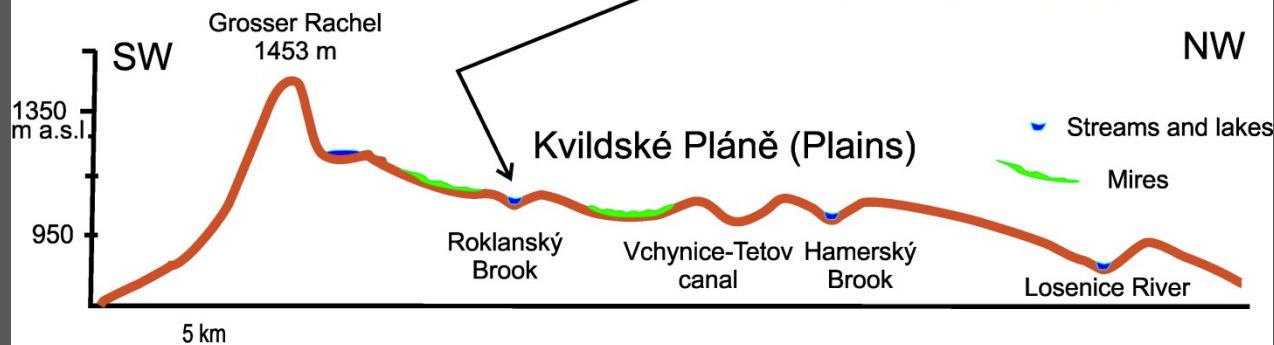
Severozápadní Šumava
nejvyšší vrchol, tři hřbety (svor)

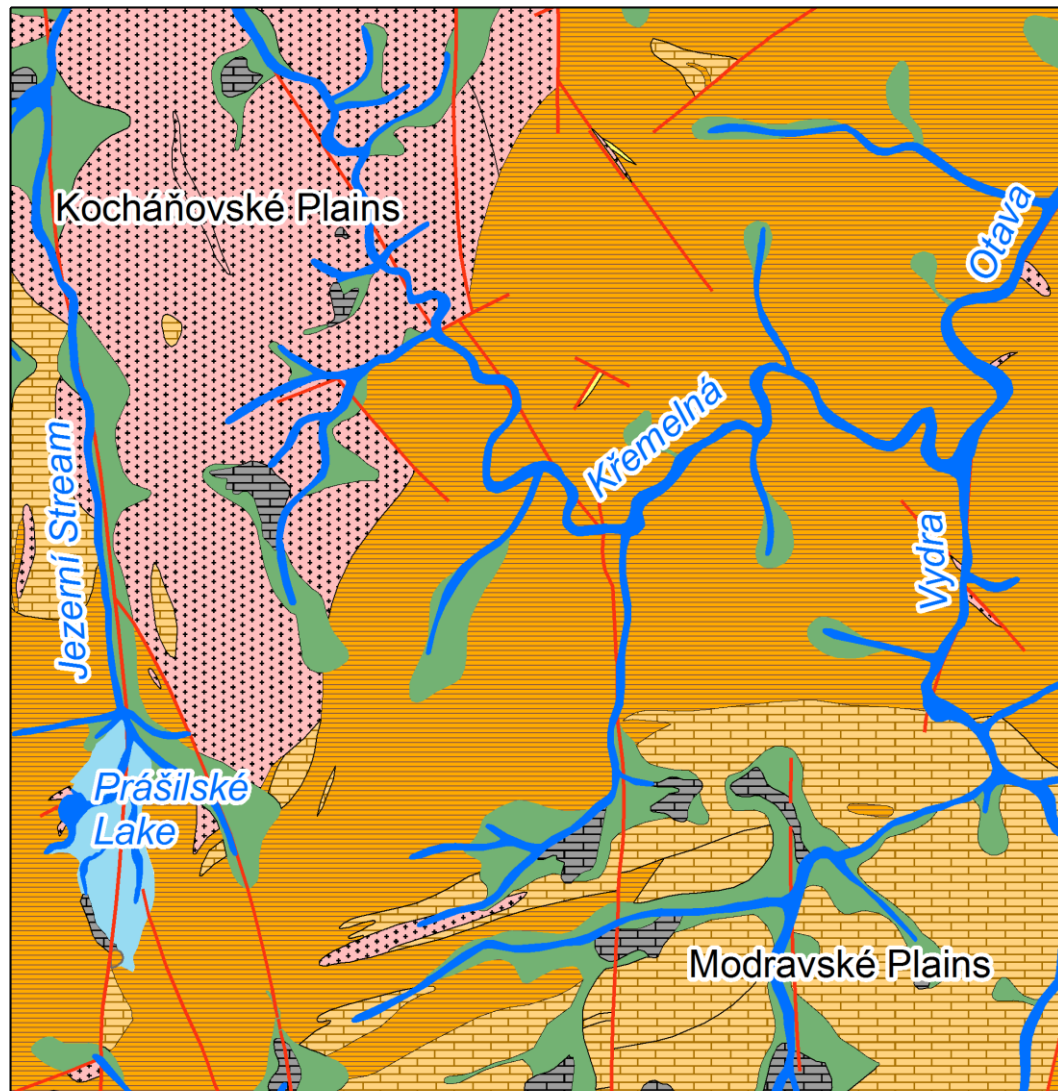


Zalednění – vrcholy
nad 1300 m n. m.

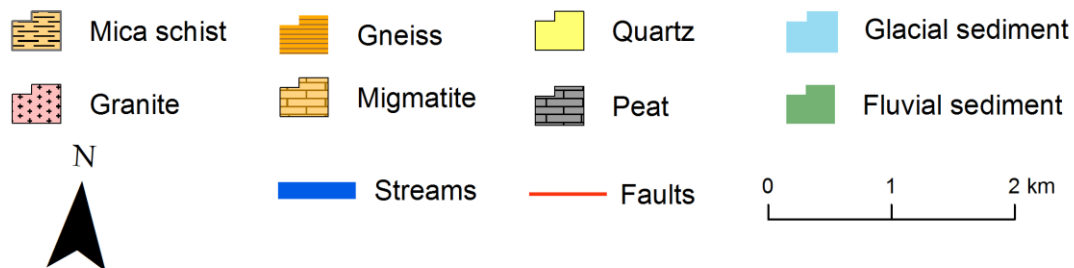


Centrální Šumava
Pláně – rašeliniště





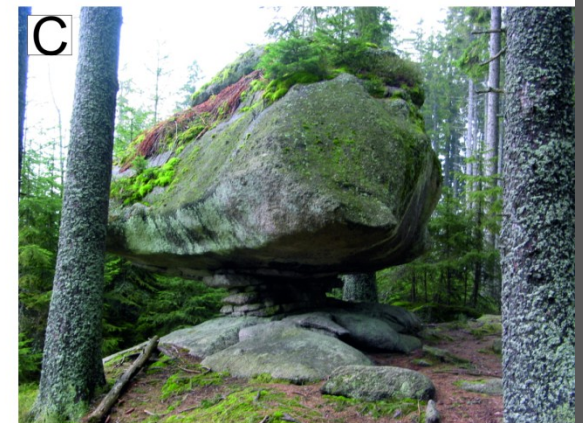
Geologie
 Metamorfity - elevace
 Žuly - sníženiny



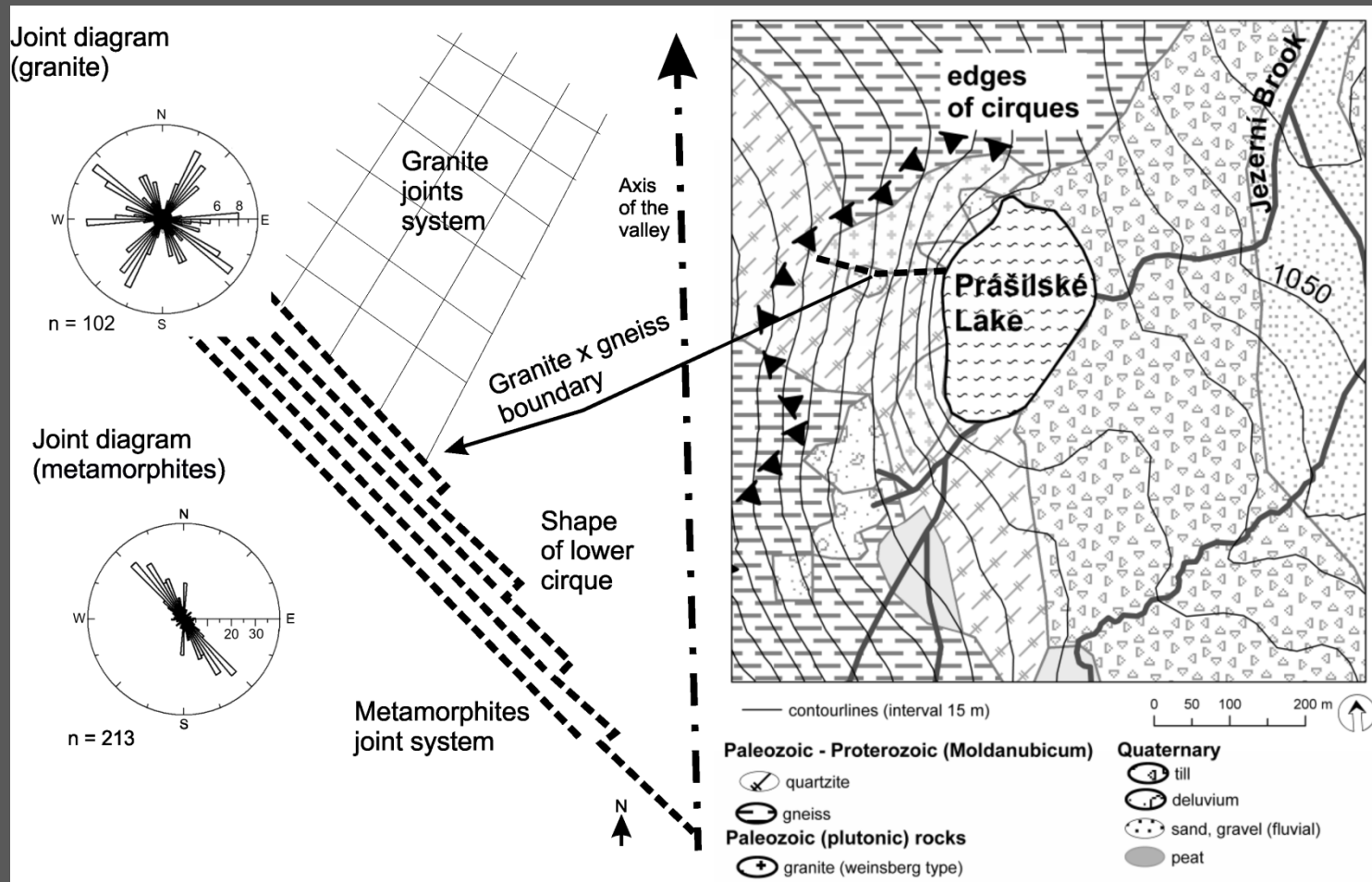
Reliéf na krystalických břidlicích



Reliéf na žulách



Struktura velmi úzce spjata s reliéfem



Okolí Prášilského jezera a jezera Laka



Výše položený kar

Deflační plošiny na hřebtech

Karová sěna

Jak zkoumat vnitřní strukturu geomorfologických forem?

Geofyzikální profilování – různé metody –
georadar, refrakční seismika, elektrická
odporová tomografie (ERT).

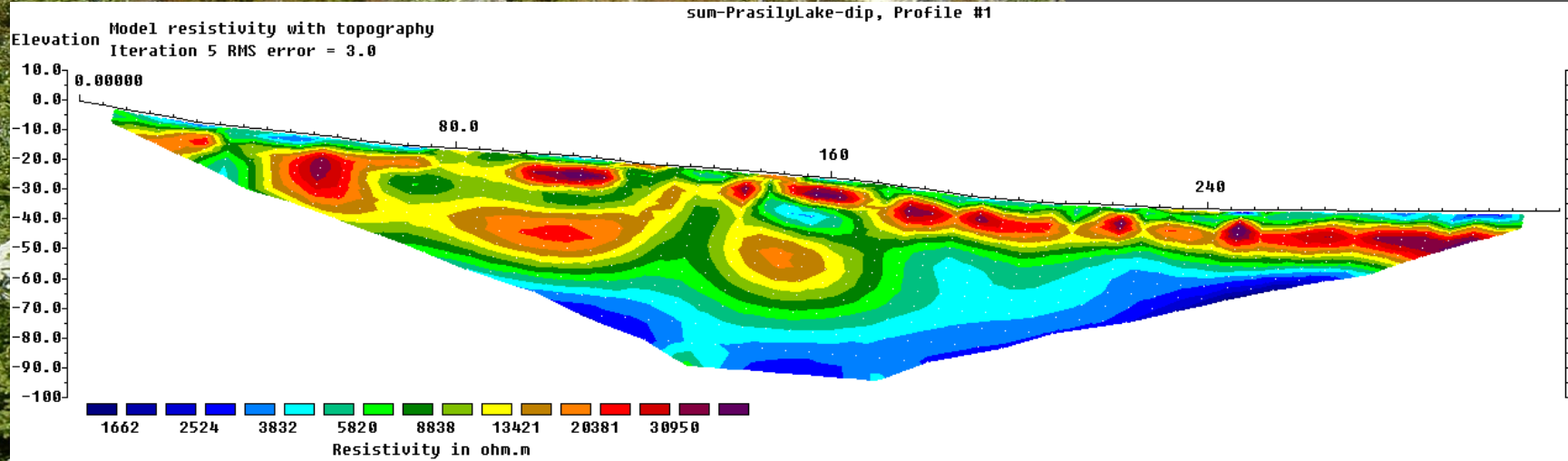
Poskytuje údaje o vnitřní stavbě formy.



Představení okolí Prášilského jezera



Nejstarší zalednění
Severně od jezera –
velké žulové bloky
(stupeň – ne výrazná



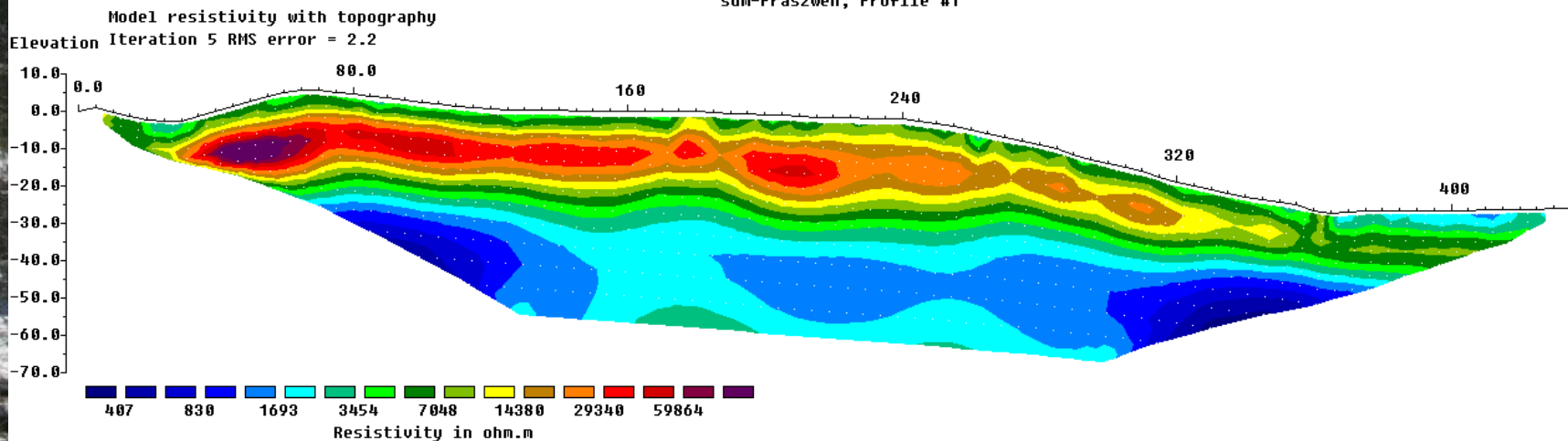
Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Horizontal scale is 19.83 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.63
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 315.0 m.



Morény u jezera Vnější (výrazná) Výška až 9 m

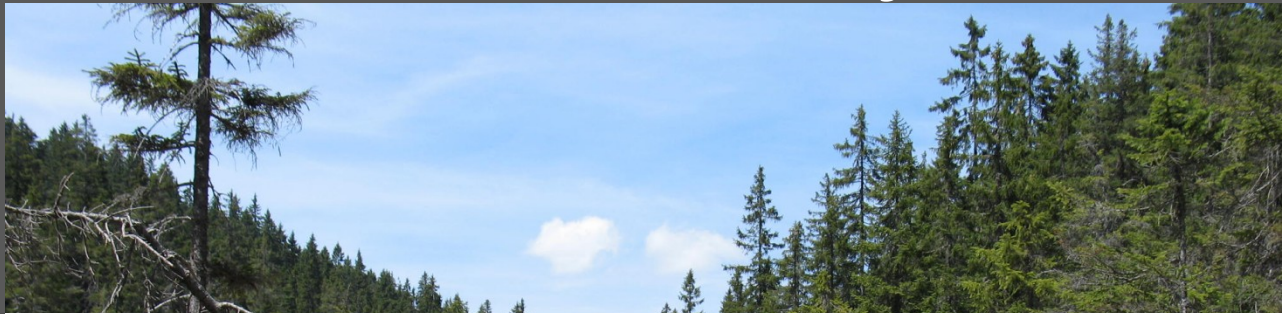
sum-Pras2wen, Profile #1



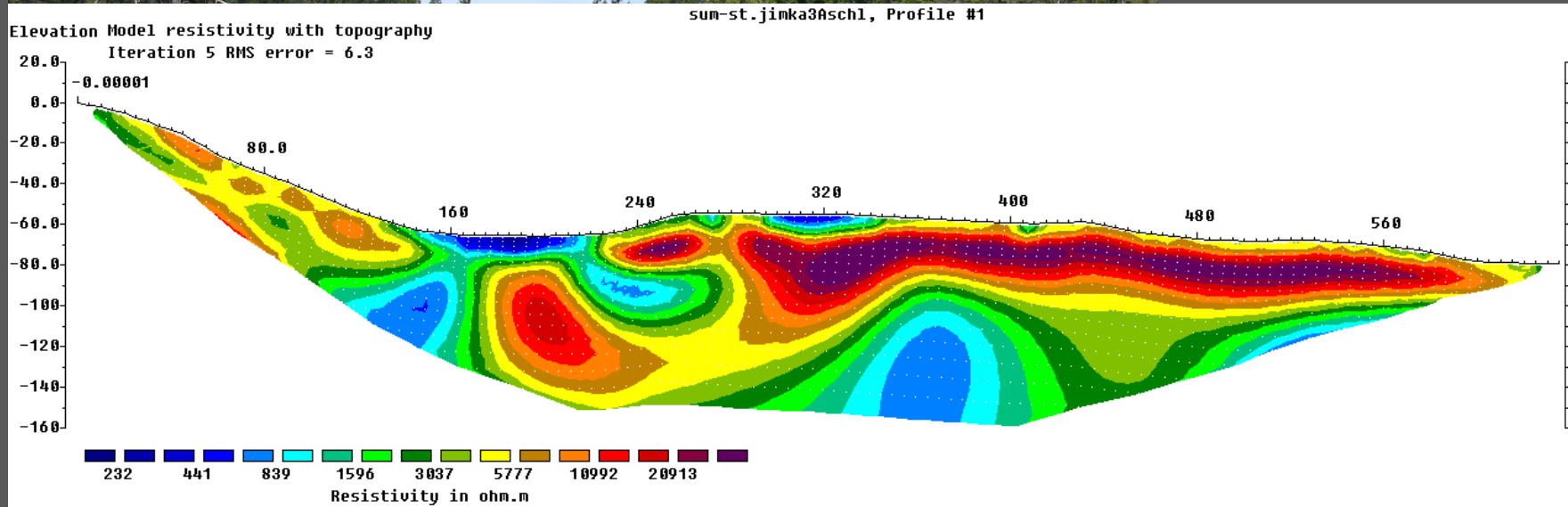
Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Horizontal scale is 13.78 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.09
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 435.0 m.

Stará jímka



Sníženina jižně od jezera
Přímo pod skalnatým
svahem Poledníku
Dříve opravdu „jímka“



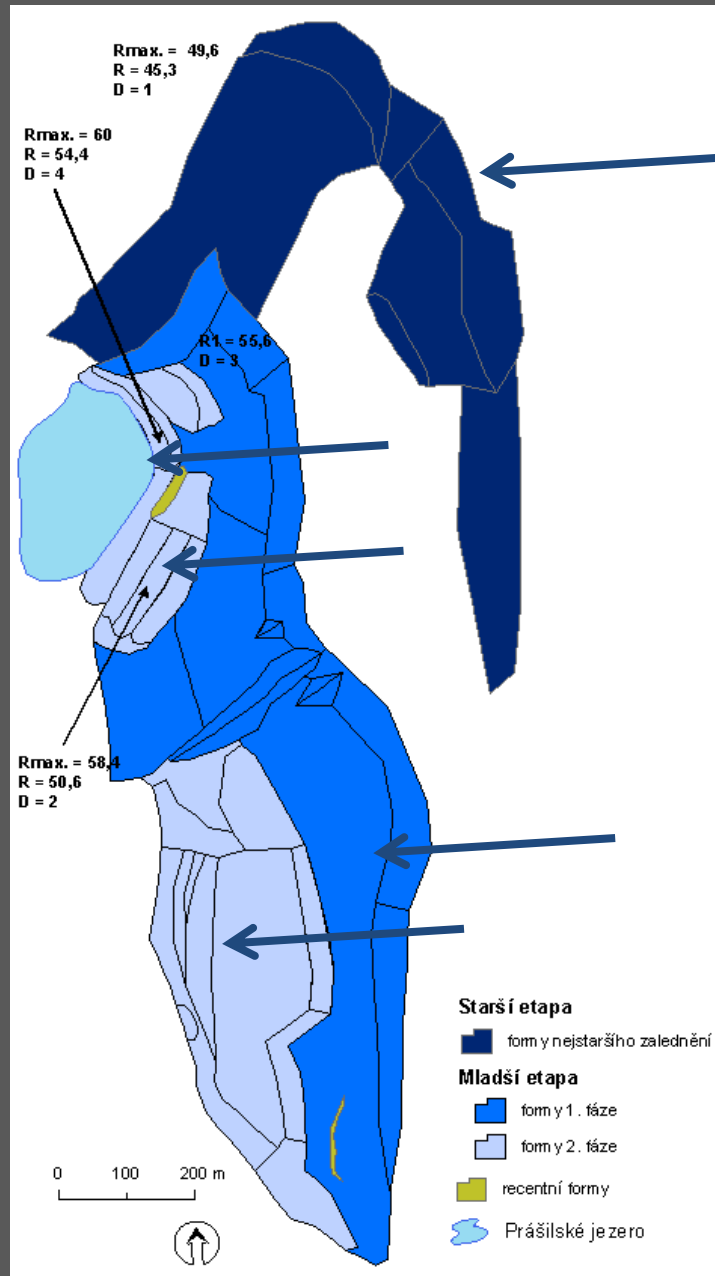
Horizontal scale is 9.44 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.87
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 635.0 m.

Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Postup práce

- 1) Geomorfologické mapování (elementární formy reliéfu)
- 2) Vznik (geneze) forem
- 3) Určit kdy vznikly - datování

Schmidt hammer test – příklad relativního datování forem

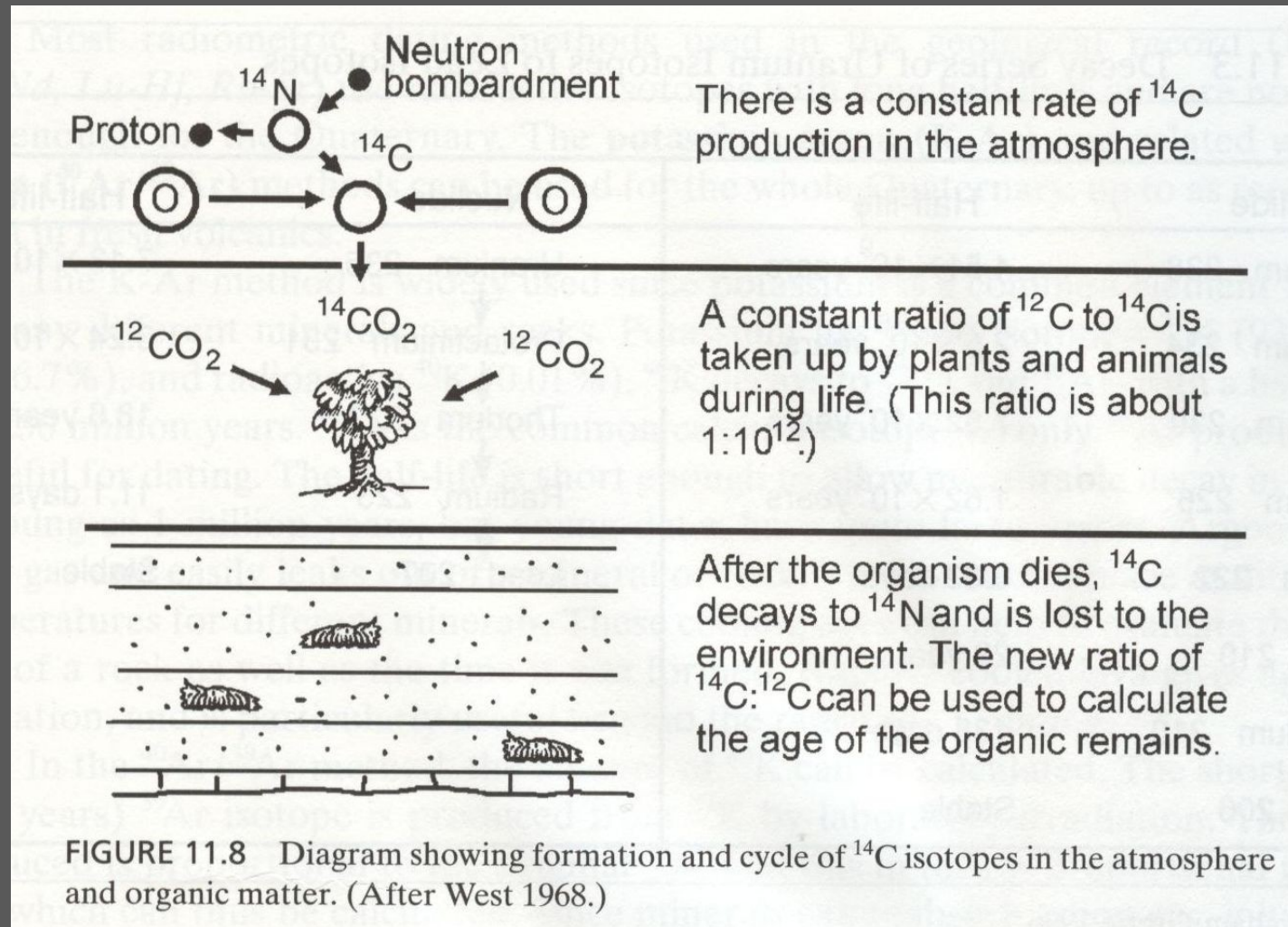


Jak to mohlo být?

Hypotéza (korelace na klimatické události v alpské oblasti)...

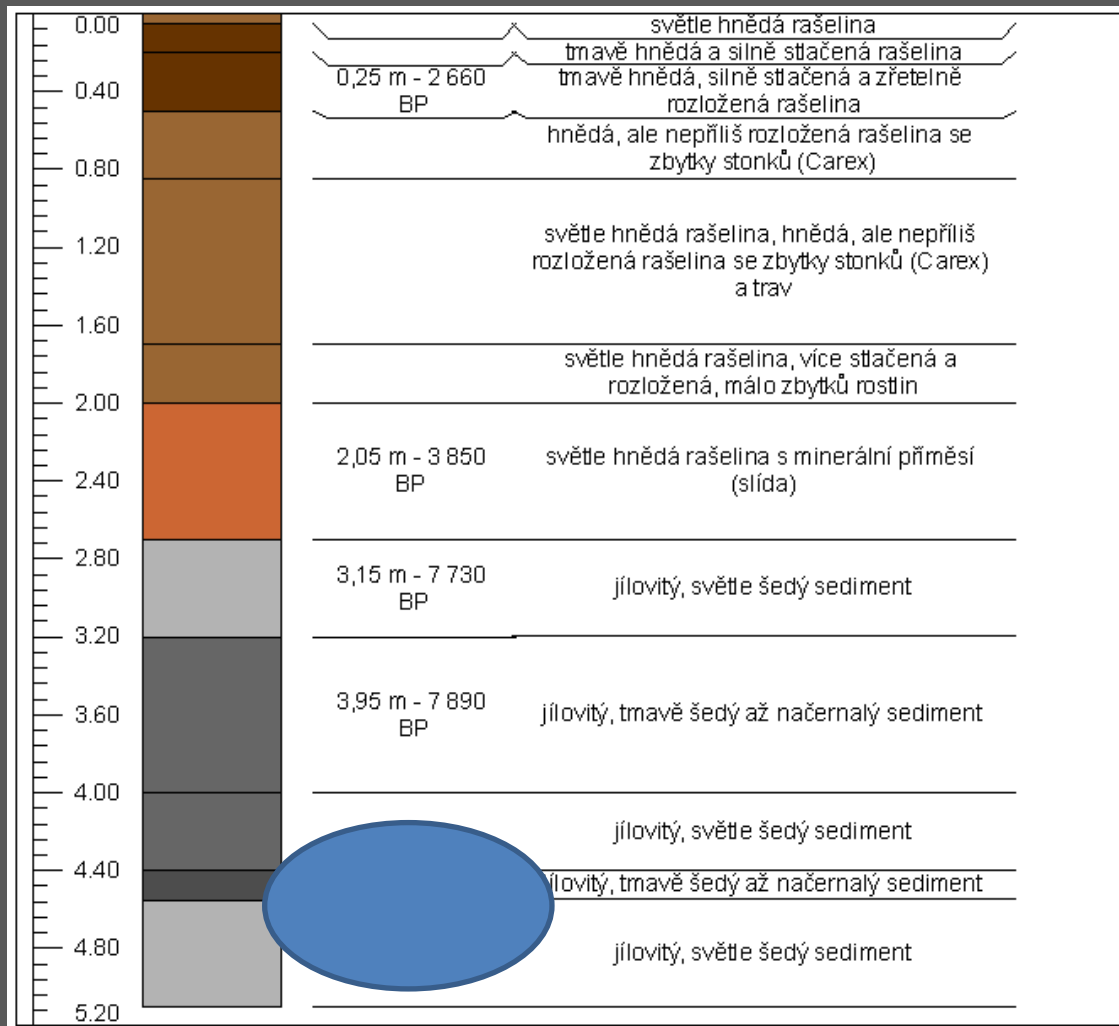
Fáze deglaciace	Okolí Prášilského jezera (cal. ¹⁴ C BP)	Typ glaciální aktivity	Alpská oblast (IVY-OCHS et al., 2008; PREUSSER, 2004) (cal. ¹⁴ C BP)		Severoatlantský region (BJÖRK et al., 1998)		
Fáze Malého údolního ledovce	?	Malý údolní ledovec	LGM		Před 18–19 ka	GS-2c	21 000–18 500
Ledovcový-skální ledovec	?	Ledovcový skální ledovec	Nejstarší Dryas	Fáze časné deglaciace	18–17 kyr	GS-2b	18 500–16 500
Karová fáze	Před 14 kyr	Schodovitý karový ledovec. Ledovec ve Staré jímce		Gschnitz	16–17 kyr	GS-2a	16 500–15 000
		Karový ledovec (ledovec pouze v nižším karu); zbytky ledovce ve Staré jímce		Clavadel nebo Daun	Před 14,7 kyr		
Paraglaciální fáze sensu stricto	~14 kyr	Svahové pohyby – zahrazení Staré jímky a vznik jezera	Bølling /Allerød	–	12,9–14,7 kyr	GI-1	15 000–13 000
Periglaciální procesy	~14–10 kyr	Bez zalednění – vyšší aktivity svahových geom. procesů (skalní řízení a geliflukce)	Mladší Dryas	Egesen	> 12,9 kyr	GS1	13 000–11 500

Numerické datování: ^{14}C datování



Numerické datování: Kosmogenní izotopy

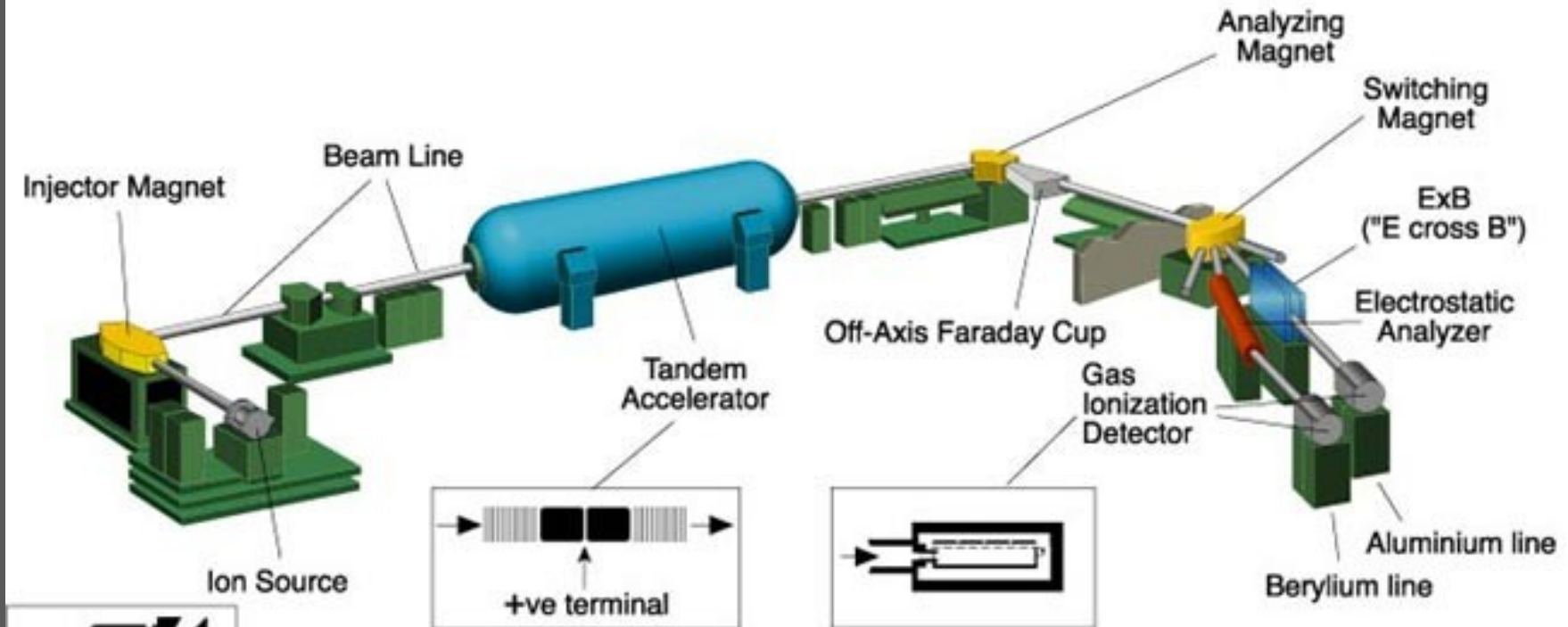
Datování jezerních sedimentů ve Staré jílmce



Principy expozičního datování

Accelerator Mass Spectrometry (AMS)

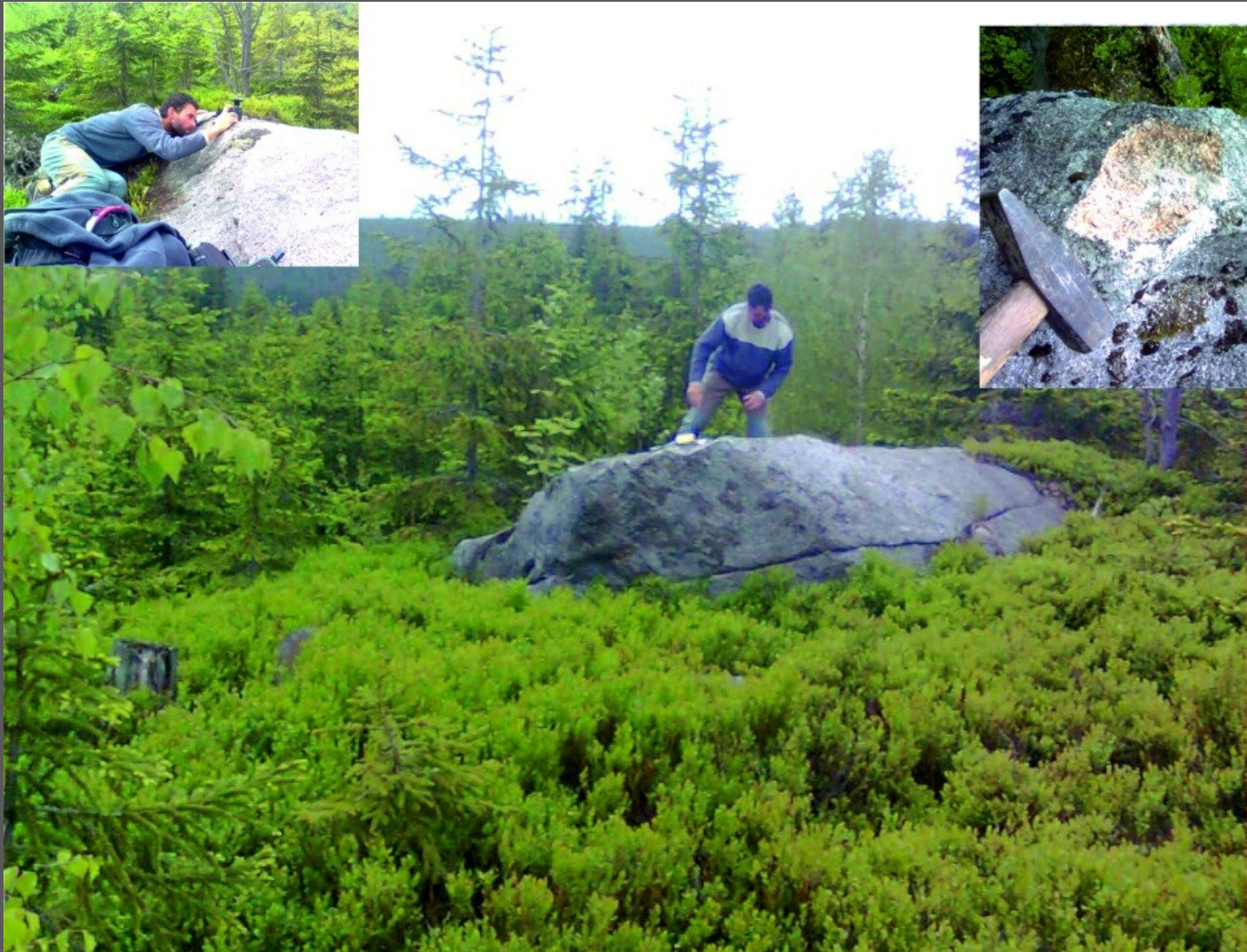
A method for counting cosmogenic radionuclides at a resolution of 1 atom in 1,000,000,000,000,000 (1×10^{15})



**Cosmogenic radionuclides used in Earth Science applications
measured by AMS with half-lives in years:**

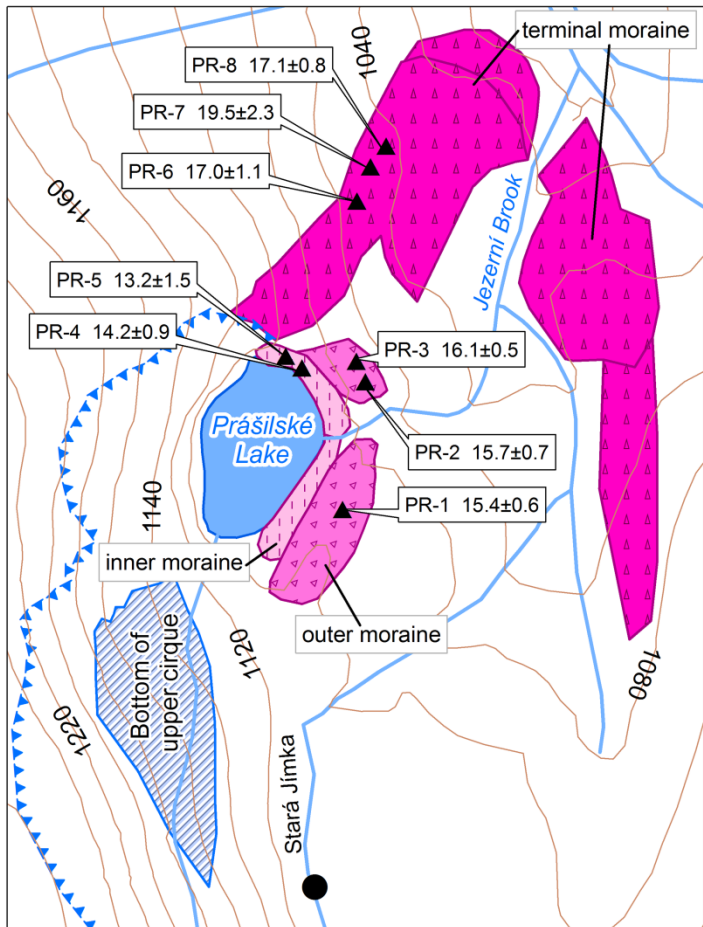
^{14}C (5730) ^{41}Ca (100,000) ^{36}Cl (301,000) ^{26}Al (705,000) ^{10}Be (1,510,000)

Odebrání vzorků pro expoziční datování




Prášíly – 3 fáze zalednění Doložené morénami

19,5 ky
16 ky
14 ky



Phases of glaciation

-  Pras1
-  Pras2
-  Pras3

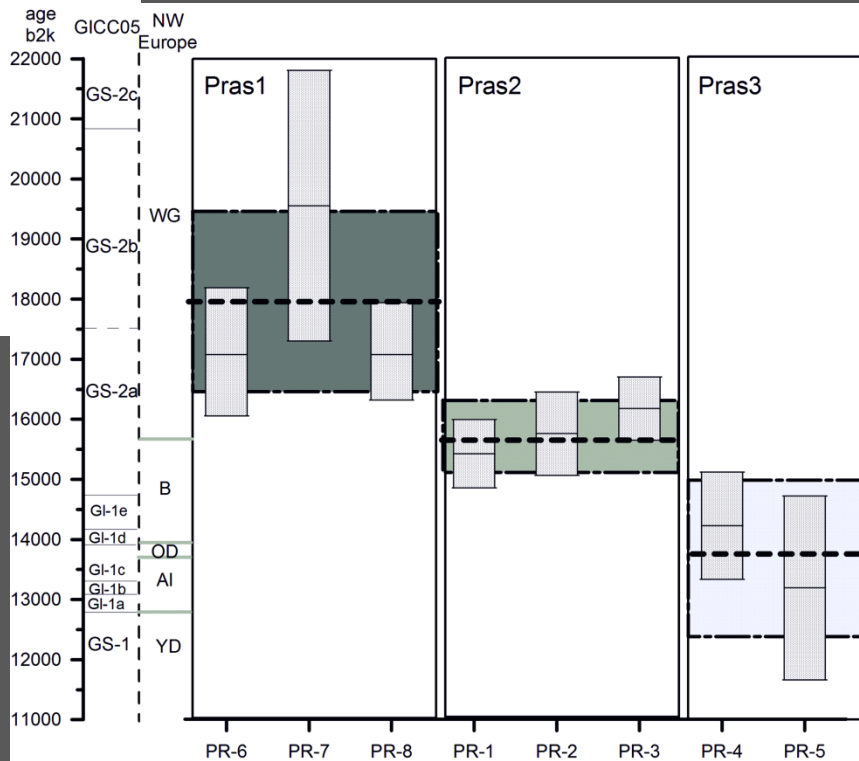
● core site (Mentlík et al., 2010)

▲ sampling sites

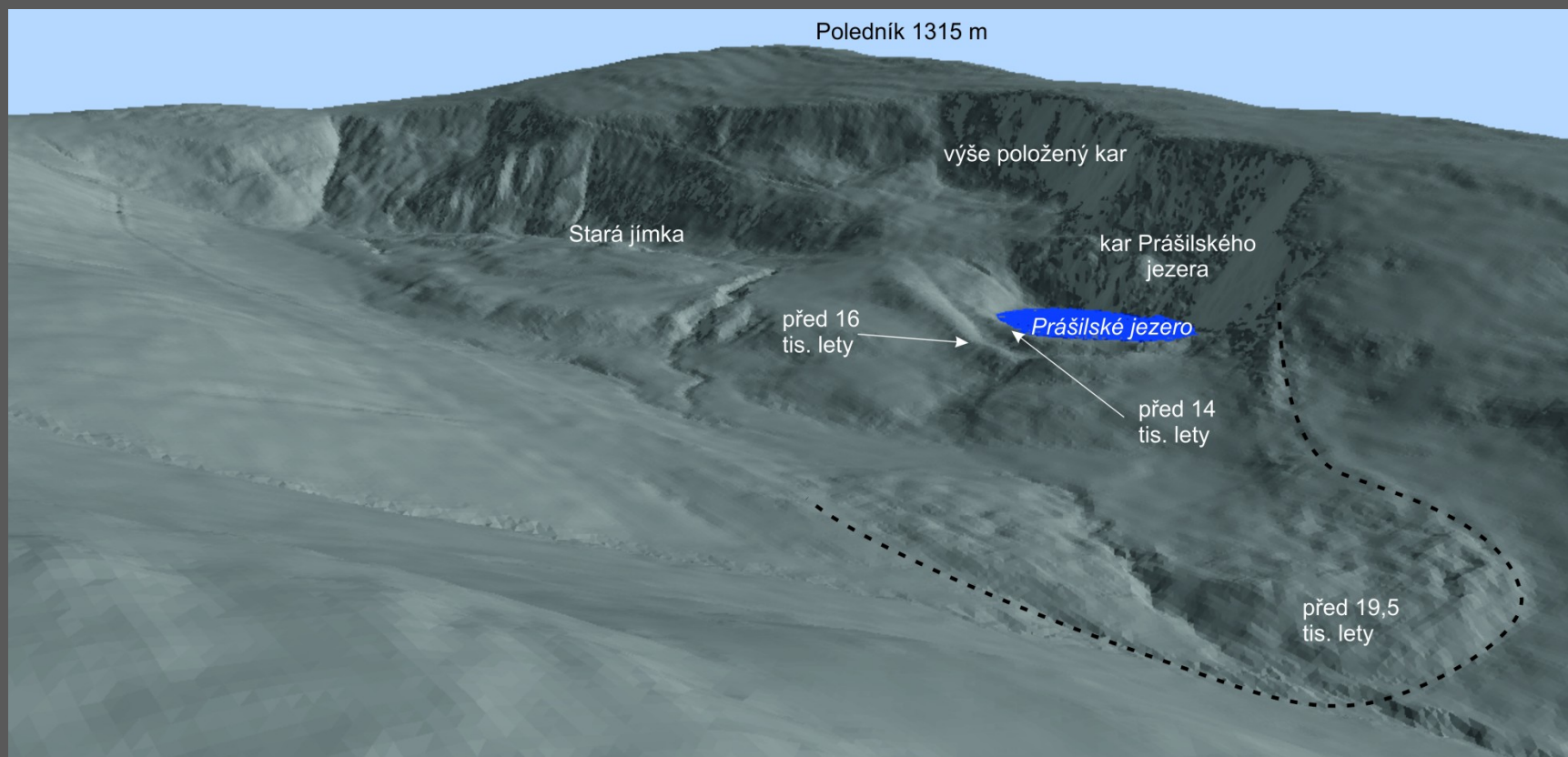
 cirque



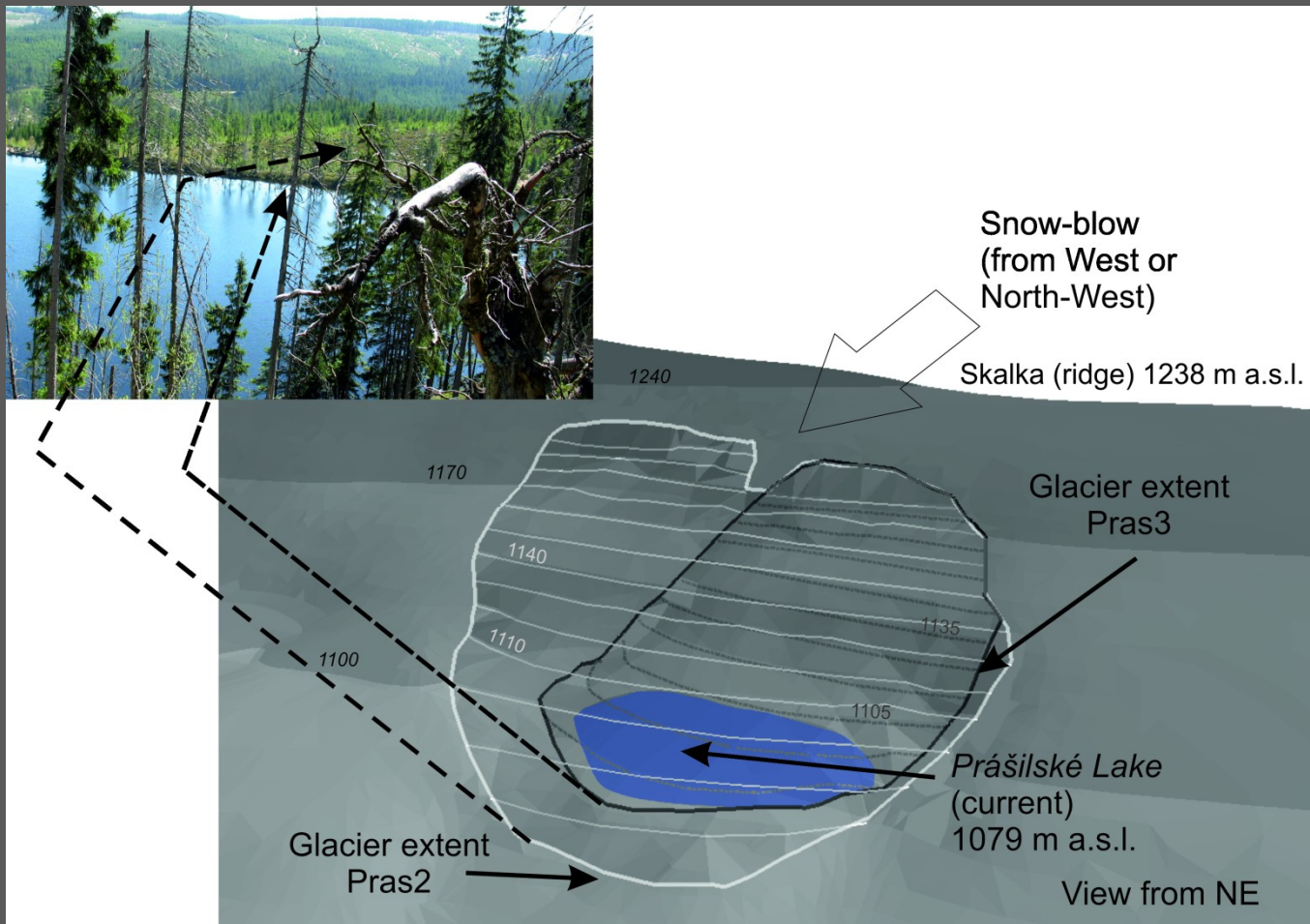
0 200 400 m



Zalednění okolí Prášílského jezera- syntéza

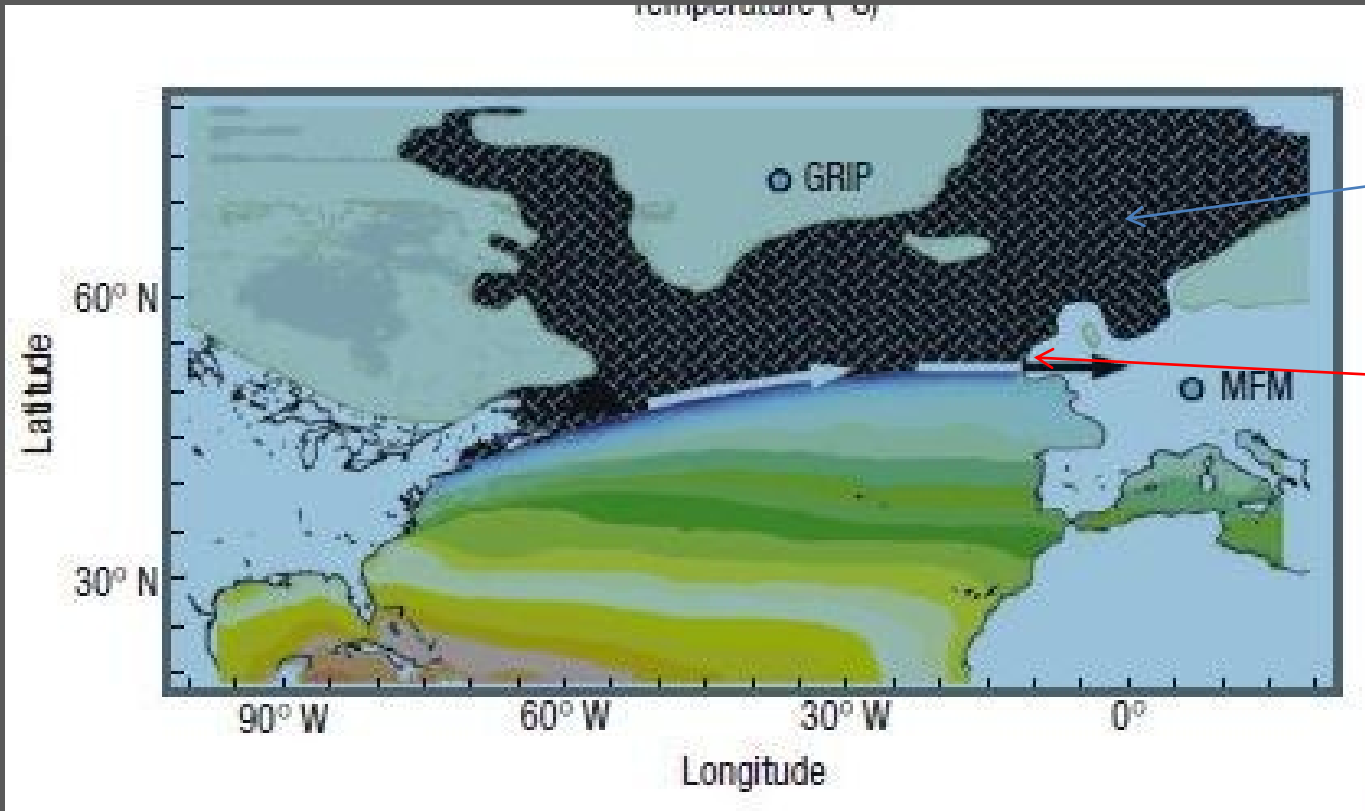


16 a 14 ka (Starší Dryas?)



Proč větší ledovce v OD než v YD?

Bouřlivé západní větry posunuté více k S?
Sucho?

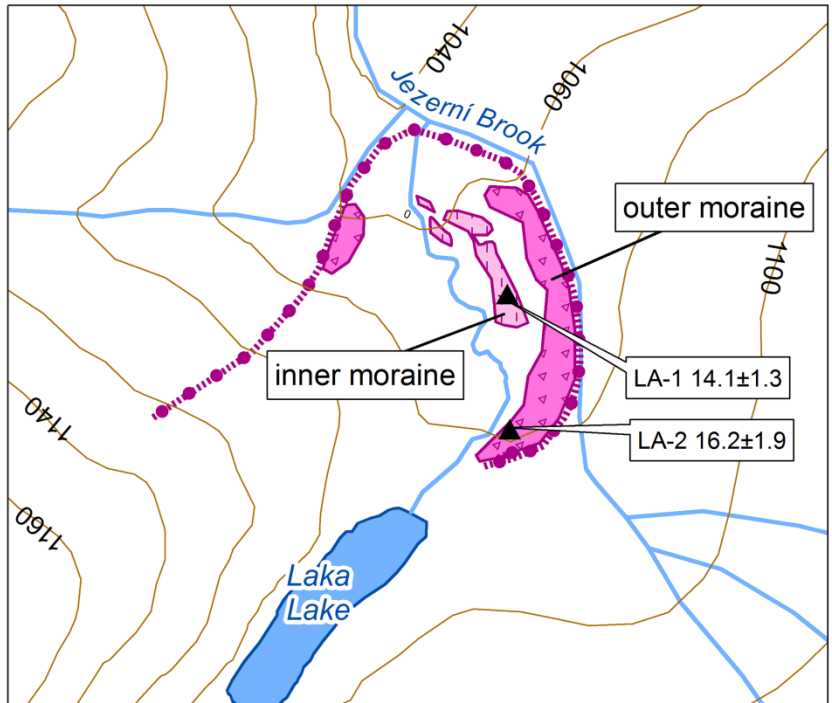


Zámrz

Bouřlivé západní větry
Posun se zámrzem
Atlantiku

Brauer et al. (2008) and also Bakke et al. (2009)


Jezero Laka




Phases of glaciation

 Laka1

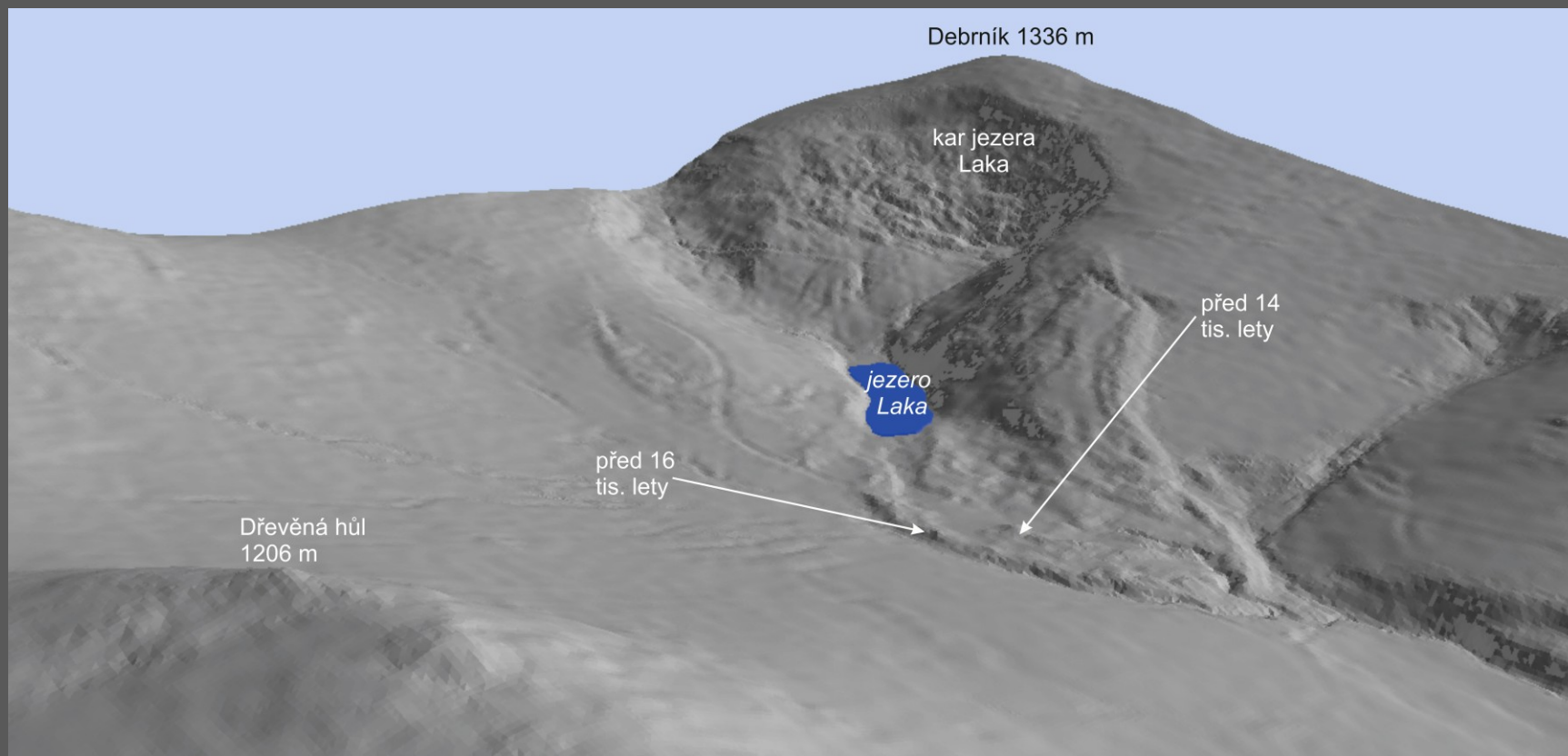
 Laka2

 sampling sites

 lobe-shaped moraine assemblage

Dvě fáze
16 ky
14 ky

Dvě fáze – před 16 a 14 ky



Malé Javorské jezero (Reuther, 2007)

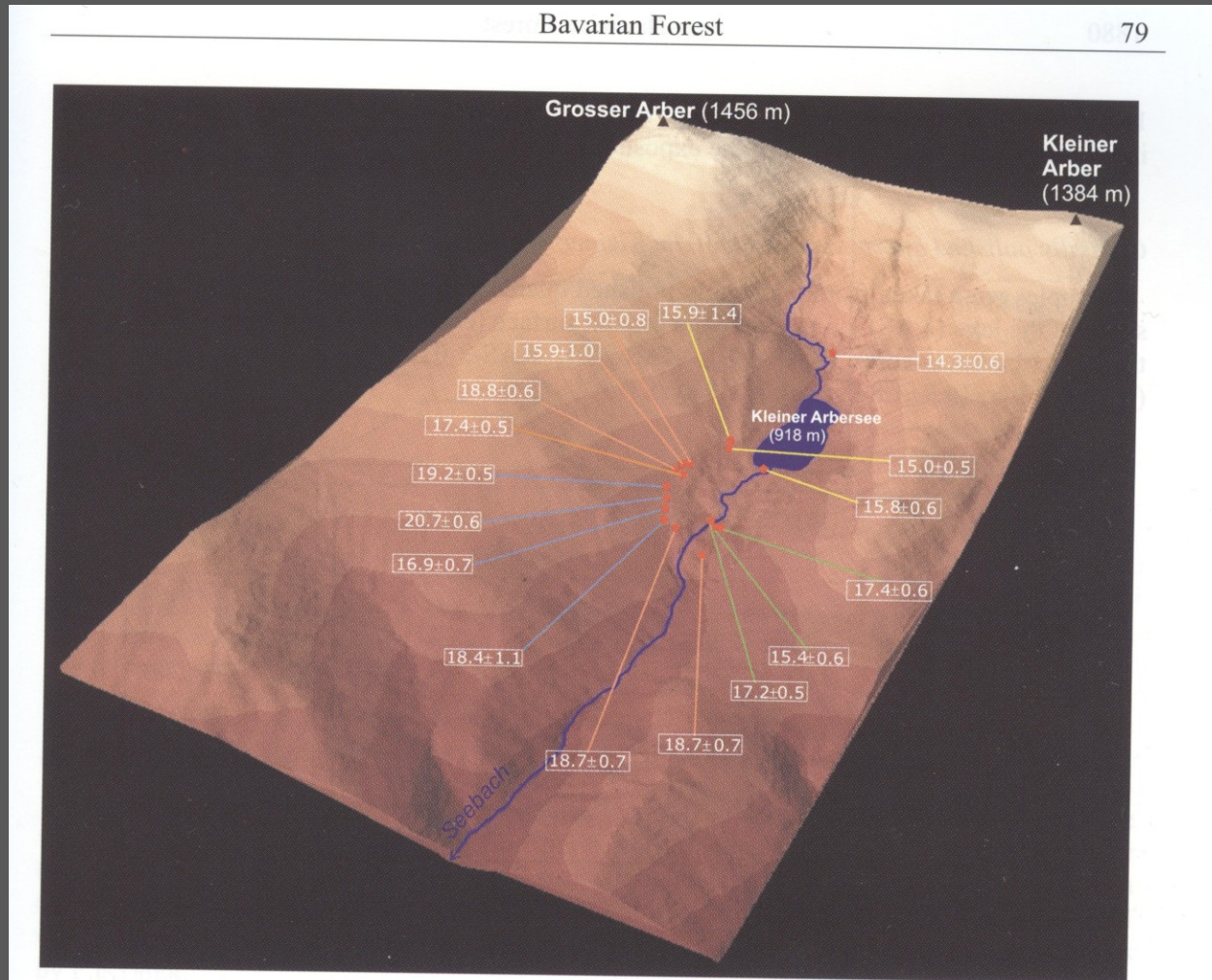


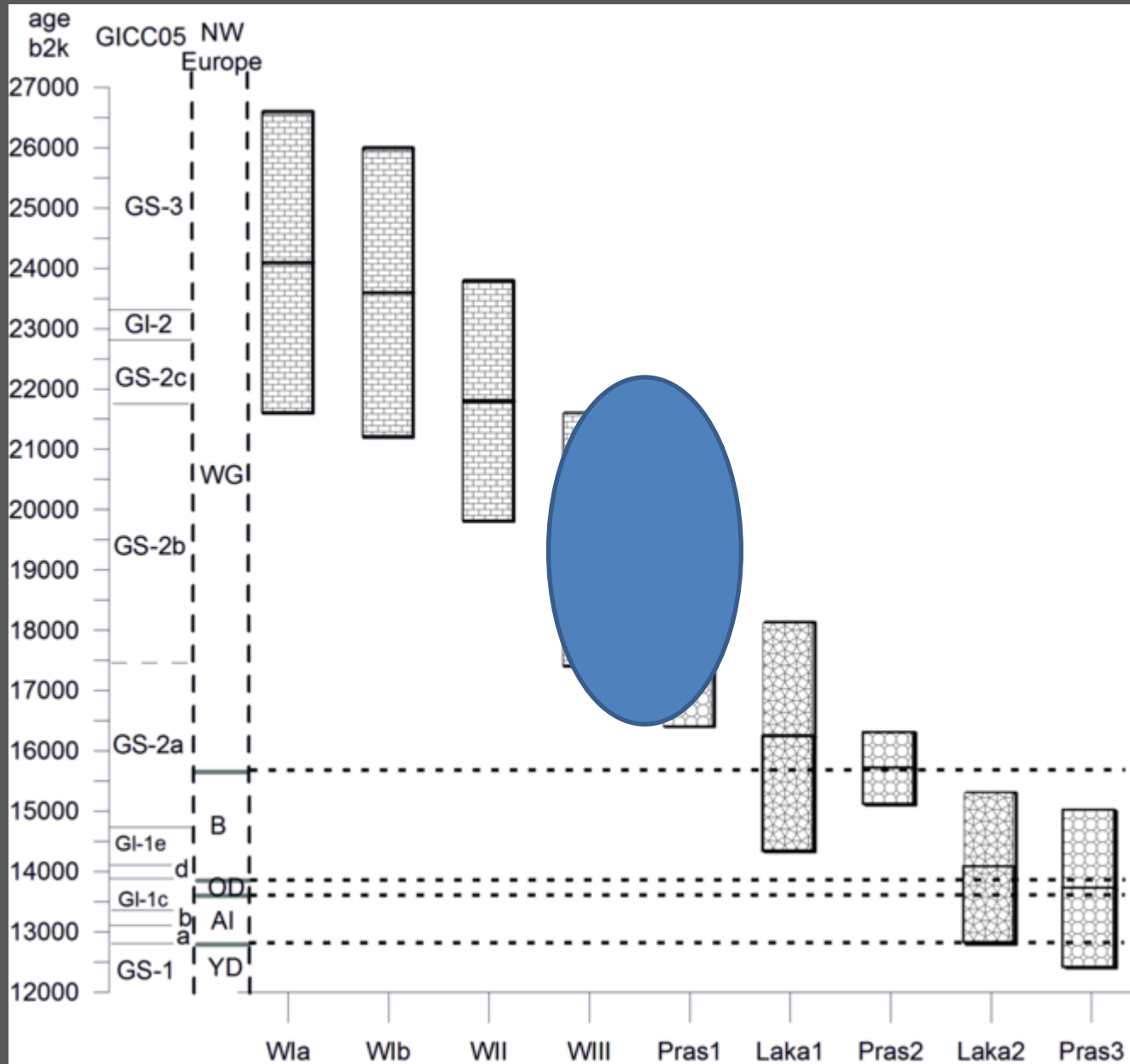
Fig. 3.10 DEM of *Kleiner Arbersee* catchment with the approximate position of the moraines, the sample locations and the respective exposure ages, reported with their total errors (see Fig. 3.7 for a plain DEM; DEM interpolated from 1:5000 map as well as on 1 m resolution map in RAAB 1999).

Přepočtená data

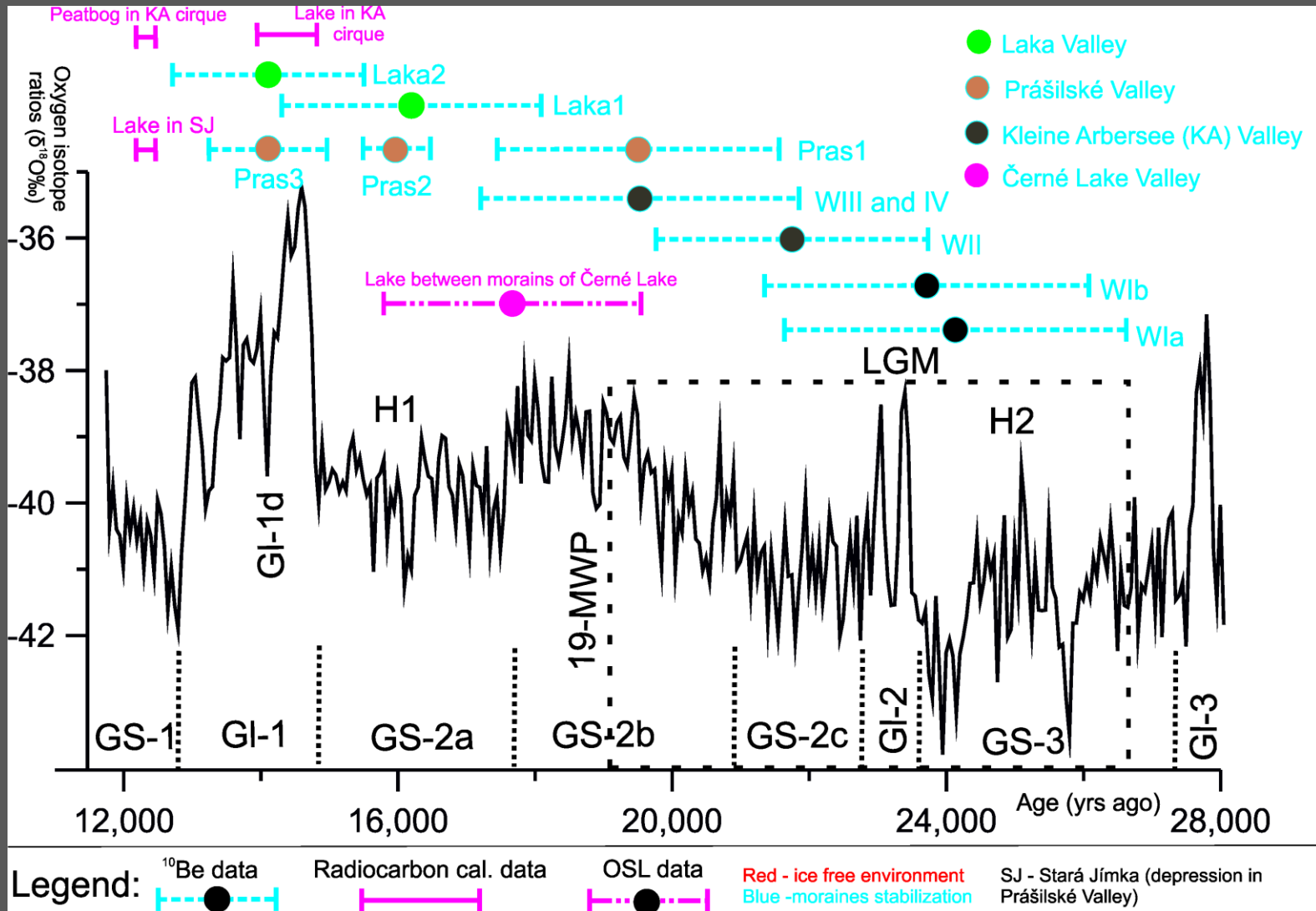
Recalculated ^{10}Be exposure ages for moraines in the Kleiner Arbersee valley. Moraine labels and original exposure ages after Reuther (2007) (Mentlík et al., 2013).

Moraine	Original age (ka)	Recalculated age (ka)
WIa	19.1 ± 2.0	24.1 ± 2.5
WIb	18.7 ± 1.9	23.6 ± 2.4
WII	17.3 ± 1.6	21.8 ± 2.0
WIII and WIV	15.5 ± 1.7	19.5 ± 2.1

Datování jednotlivých fází zalednění na Šumavě



Syntéza + Vočadlova, et al. 2015

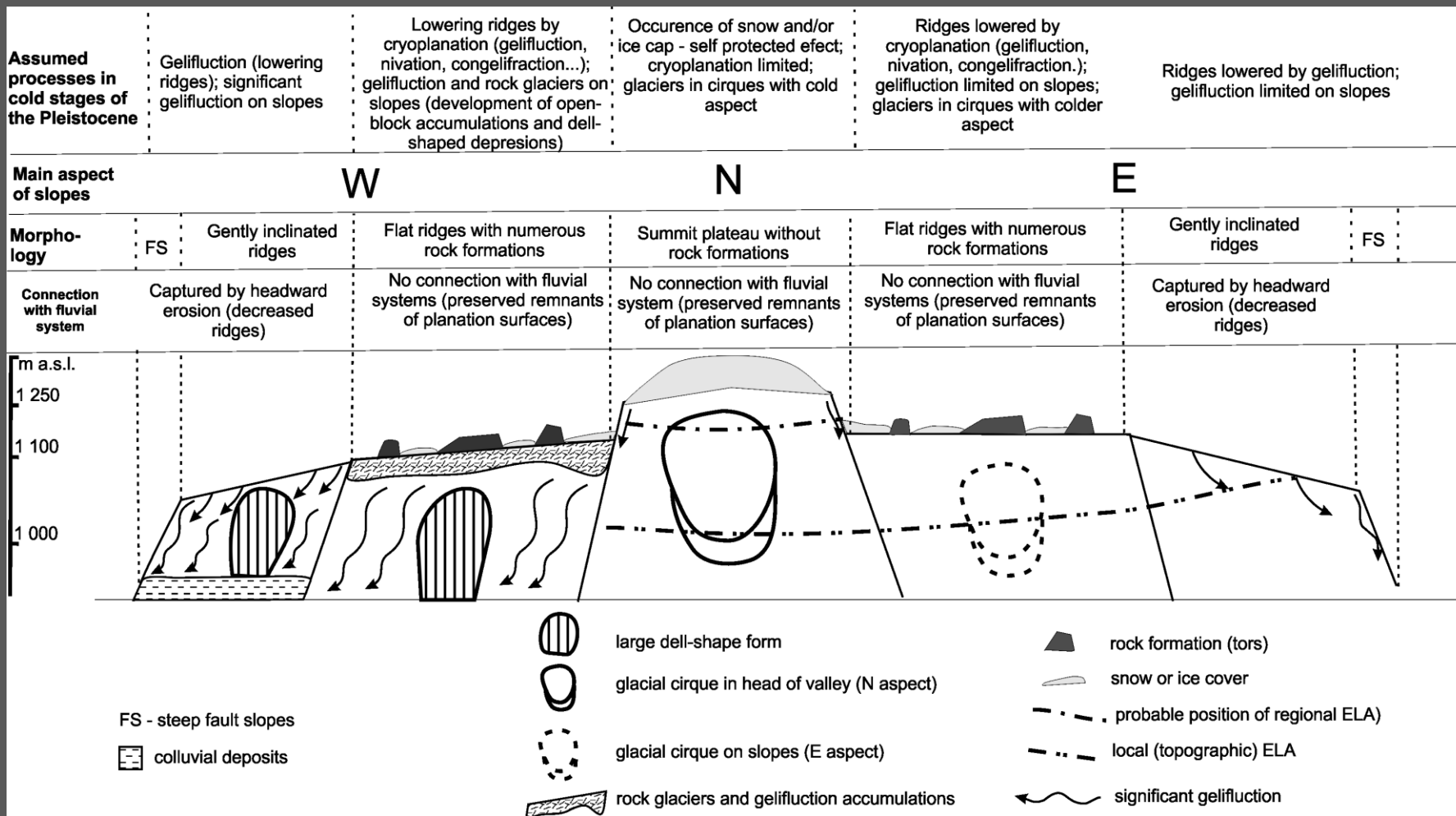


Dva druhy „reakce“ na klimatické změny:

Velké kary – ledovce v LGM (několik fází) a v kratších obdobích pozdního glaciálu bez ledu.

Malé kary – ledovce v kratších obdobích pozdního glaciálu.

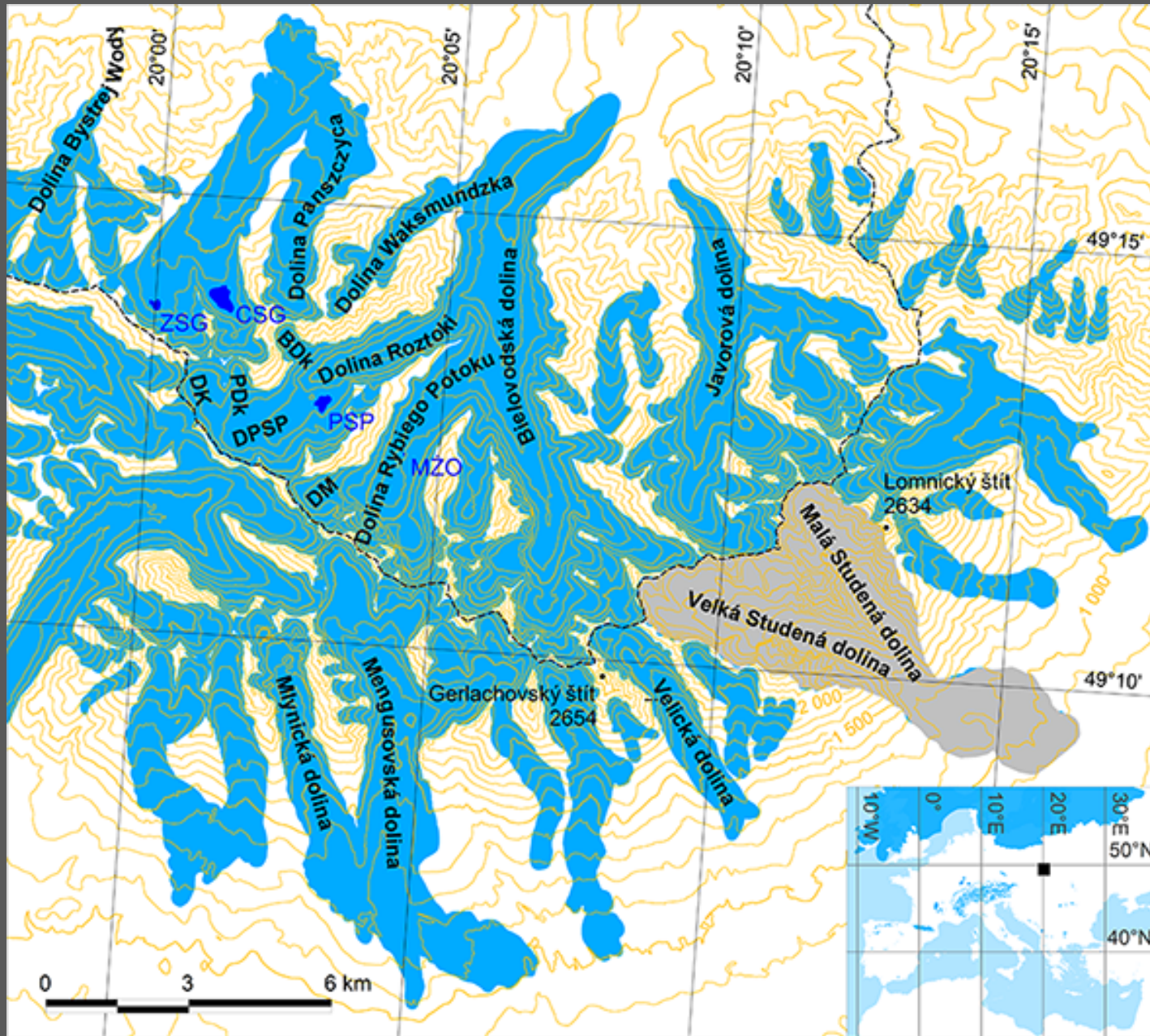
Nezaledněný „zbytek“



Tatry

2654





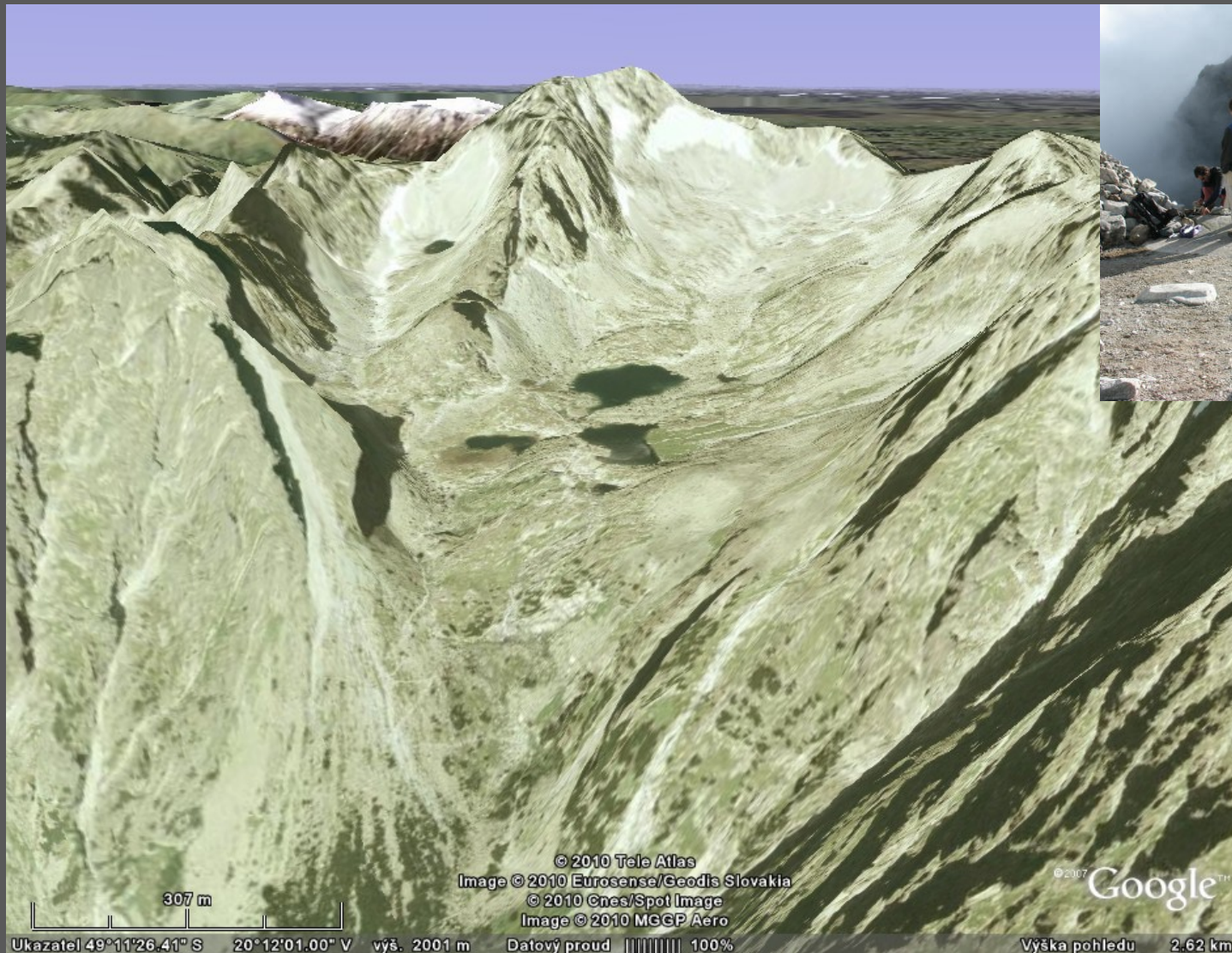
LGM – velmi výrazné
zalednění
Skandin. kont. A Alpy

Deglaciace Malé a Velké Studené doliny Vysoké Tatry



Výzkumy od 2004
Prof. Minár, Dr. Engel a doc. Pánek
CEREGE

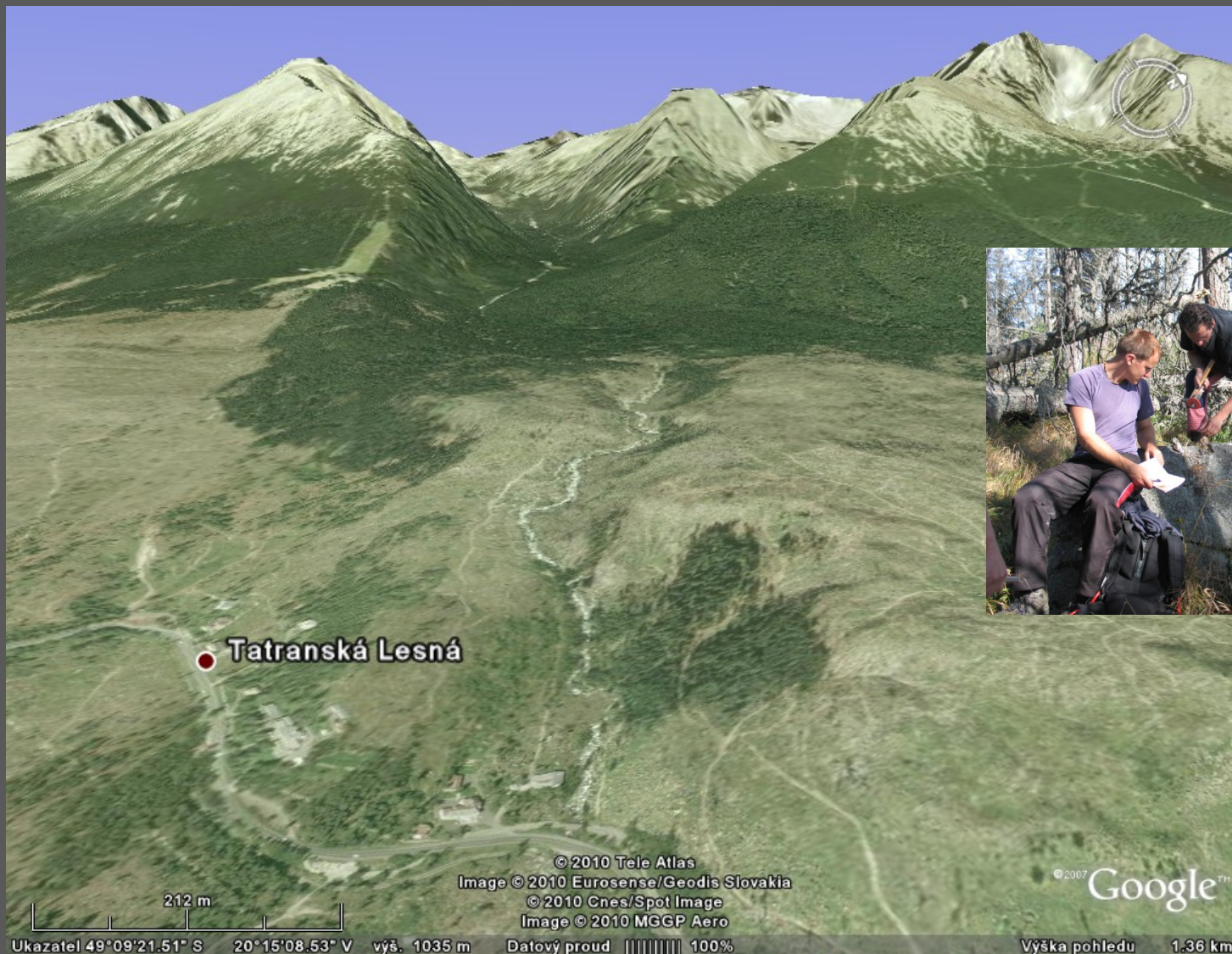
Karová část Malé Studené doliny



Trogy Malé a Velké Studené doliny

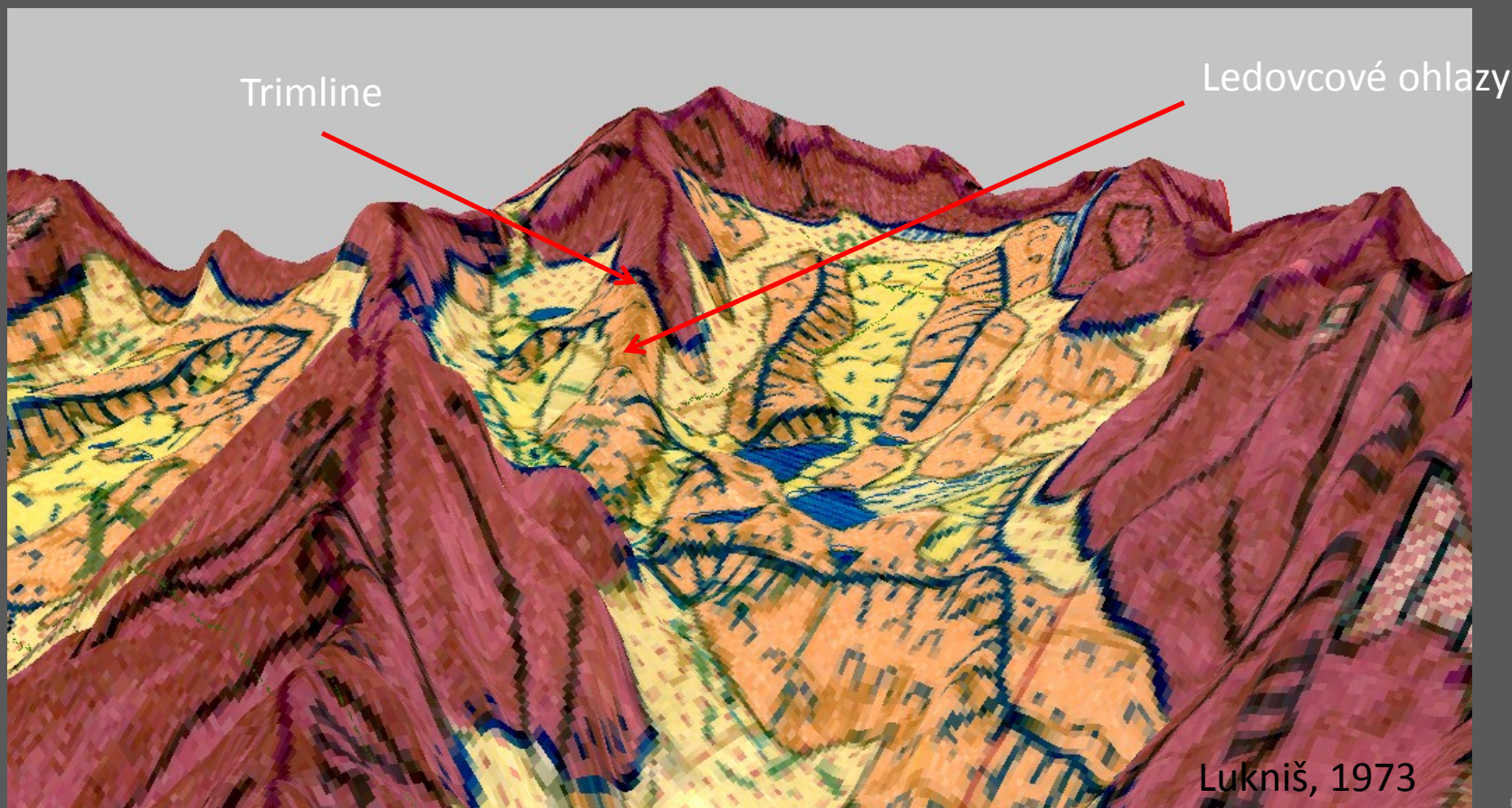


Oblast morén před Malou a Velkou Studenou dolinou



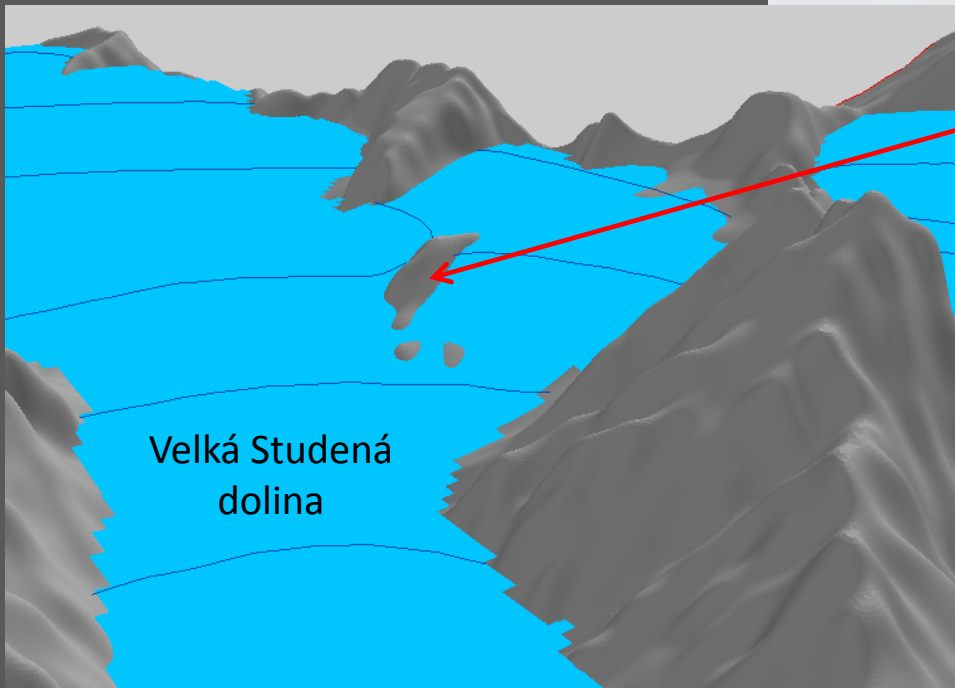
Výsledky geomorfologických výzkumů umožňují určit jak dnes již zaniklý ledovec vypadal – jeho rozsah, mocnost...

Kromě akumulačních forem (morény) - erozní formy v horních částech glaciálního systému – vymezení mocnosti.

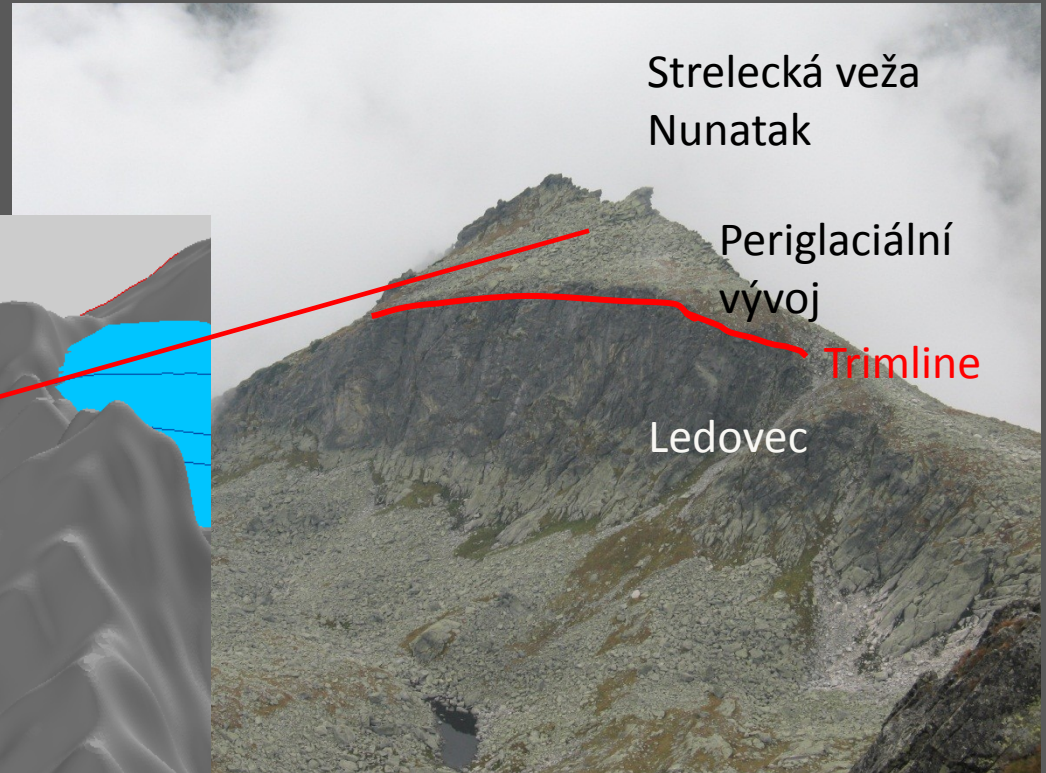


Jak to vypadá ve skutečnosti?

Poslední ledovcové maximum
ve Velké Studené dolině



Velká Studená
dolina



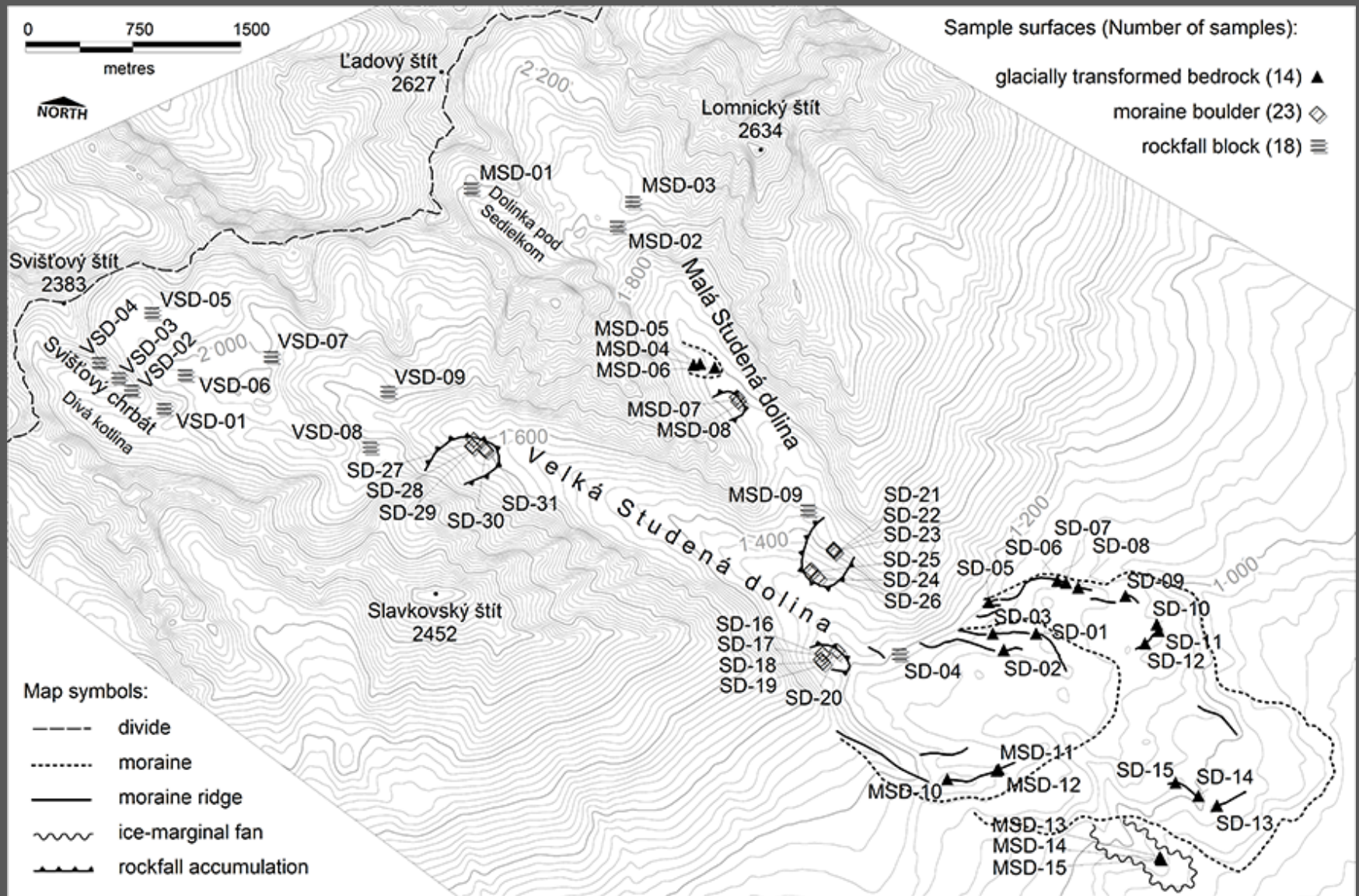
Strelecká veža
Nunatak

Periglaciální
vývoj

Trimline

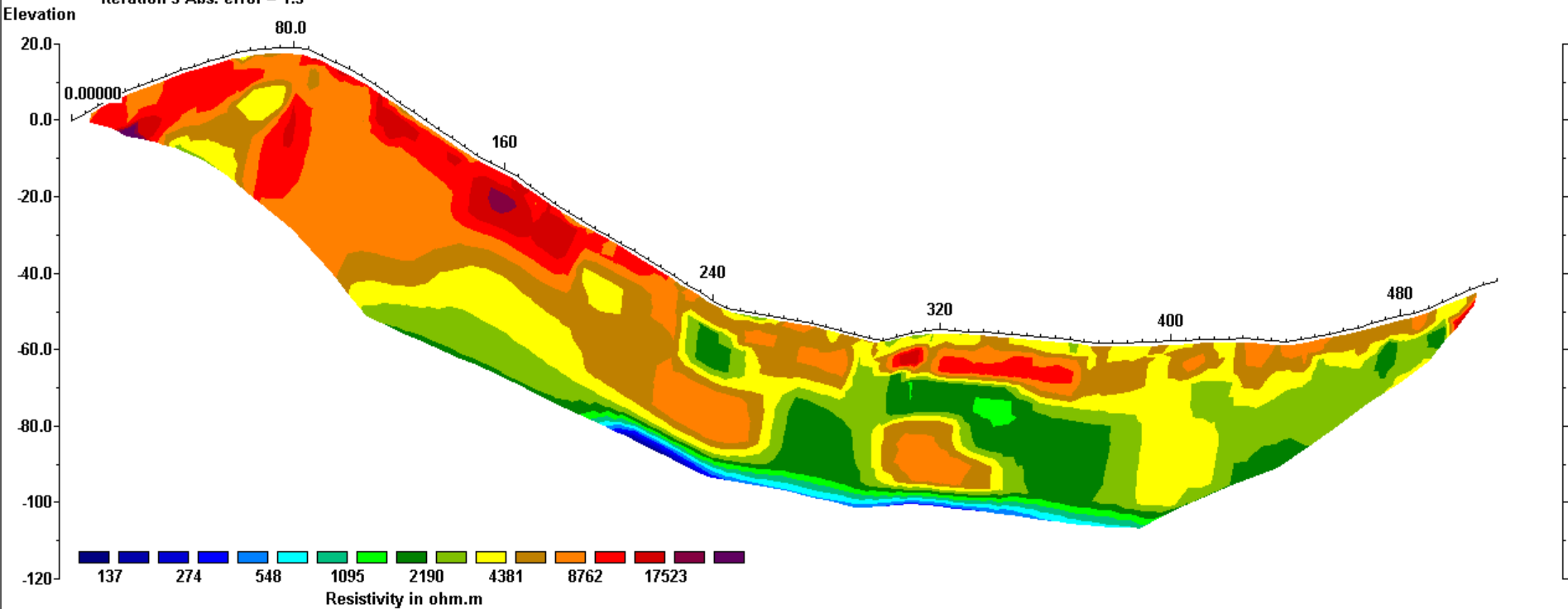
Ledovec

55 vzorků pro 10 Be datování



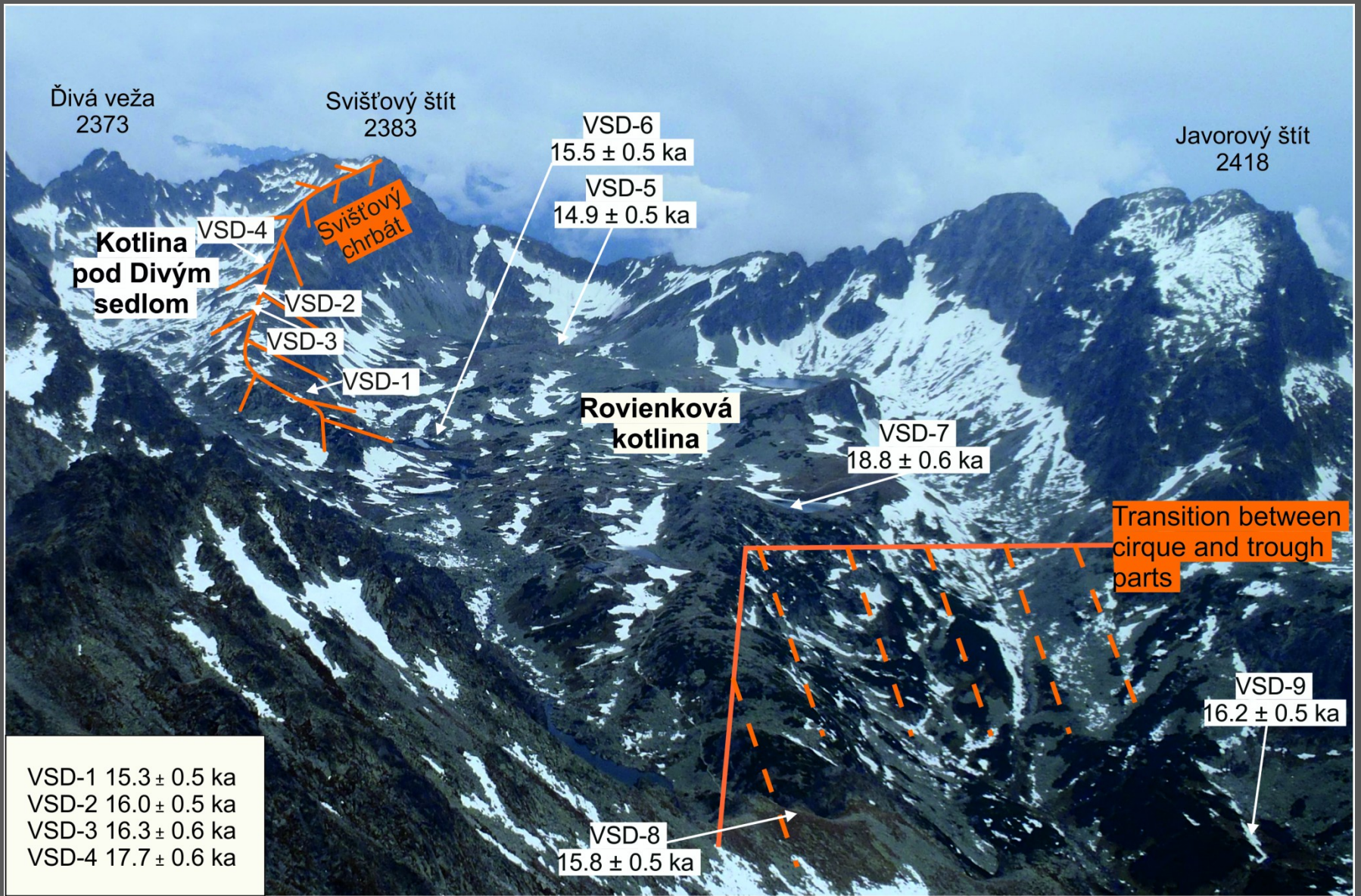
Tatry-Hrebienok-Schl, Profile #1

Model resistivity with topography
Iteration 5 Abs. error = 1.5



Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Horizontal scale is 11.64 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.32
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 515.0 m.



Východná Vysoká
2428 m

Svišťový štít
2383

16.3±0.6 ka
16.0±0.5 ka
17.7±0.6 ka
VSD-3
VSD-2
VSD-4
16.0 ka
17.7 ka

15.3±0.5 ka

VSD-1

15.3 ka

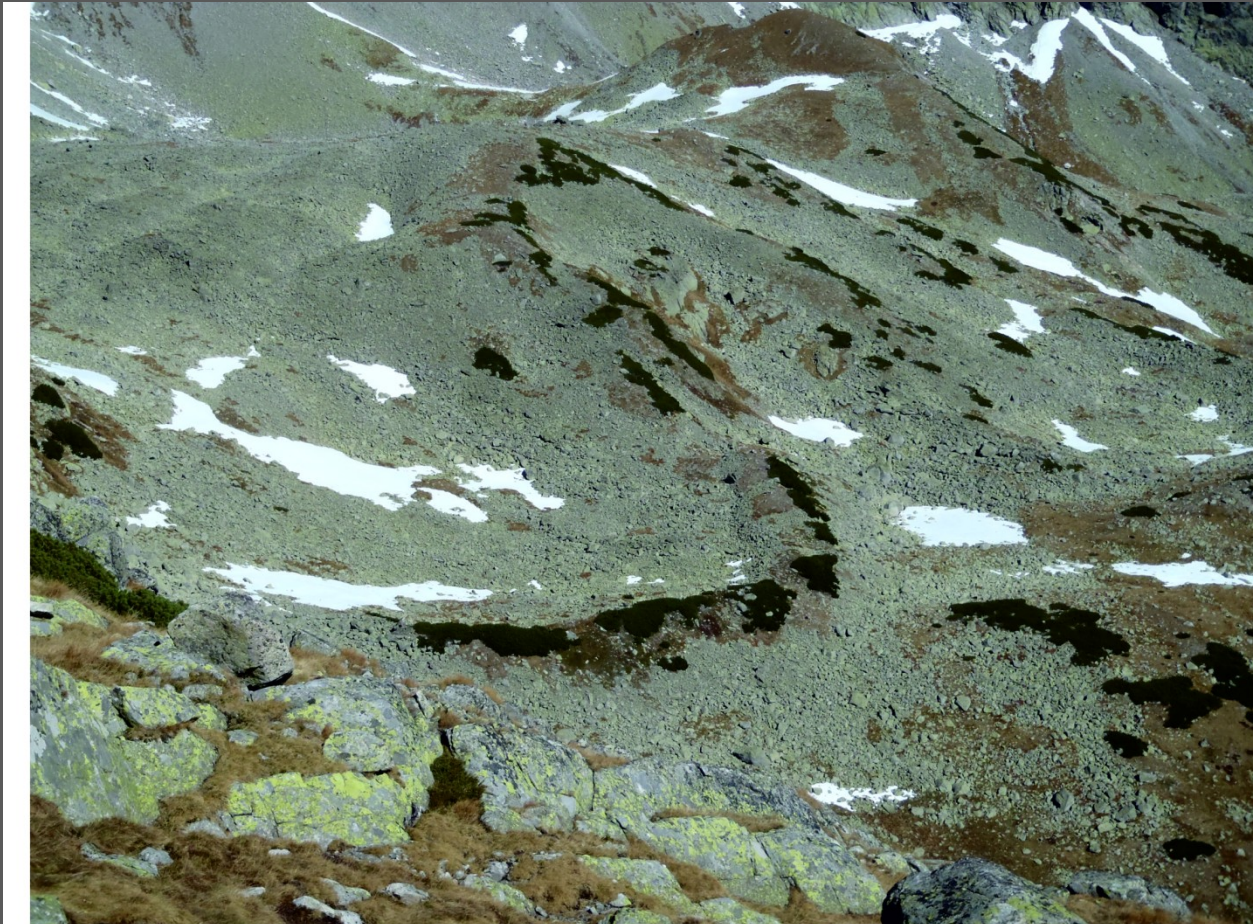
— — — Svišťový chrbát highlighting

~~~~~ 16.0 ka Suggested ice surfaces

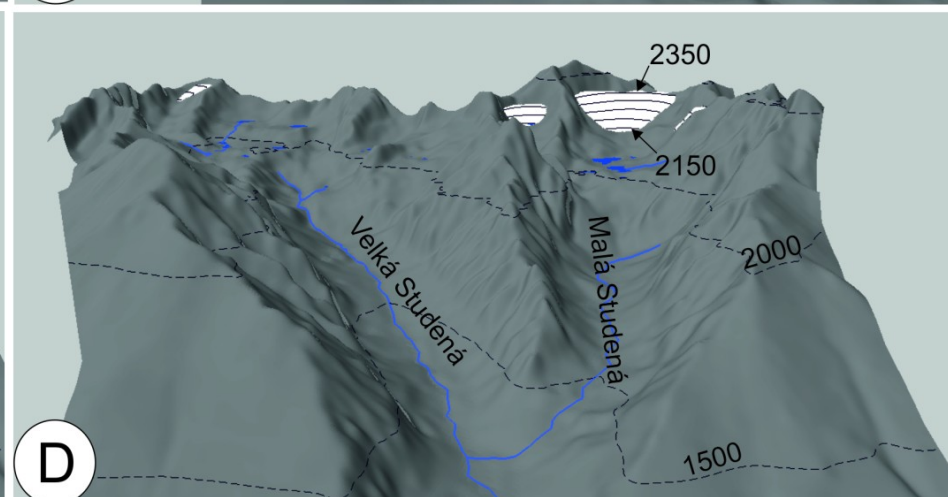
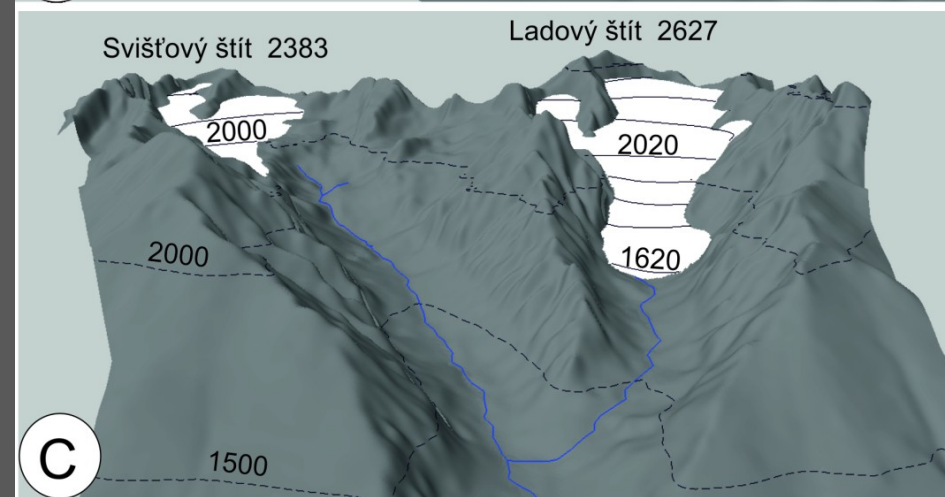
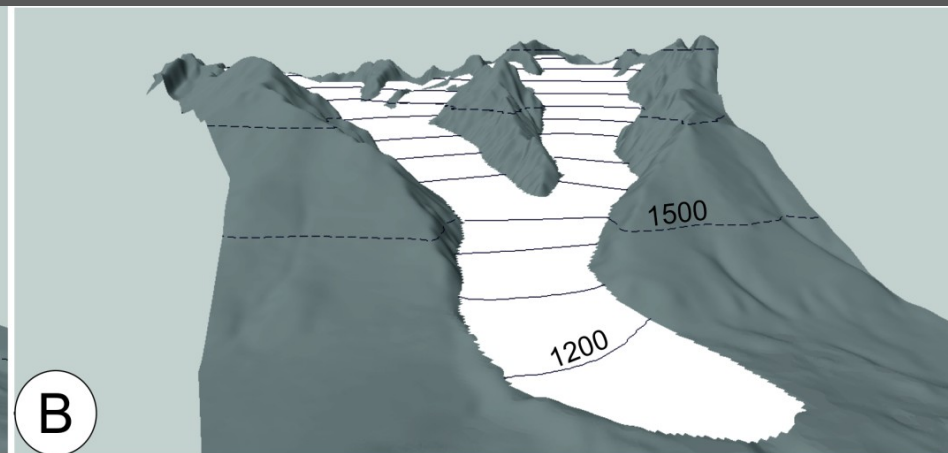
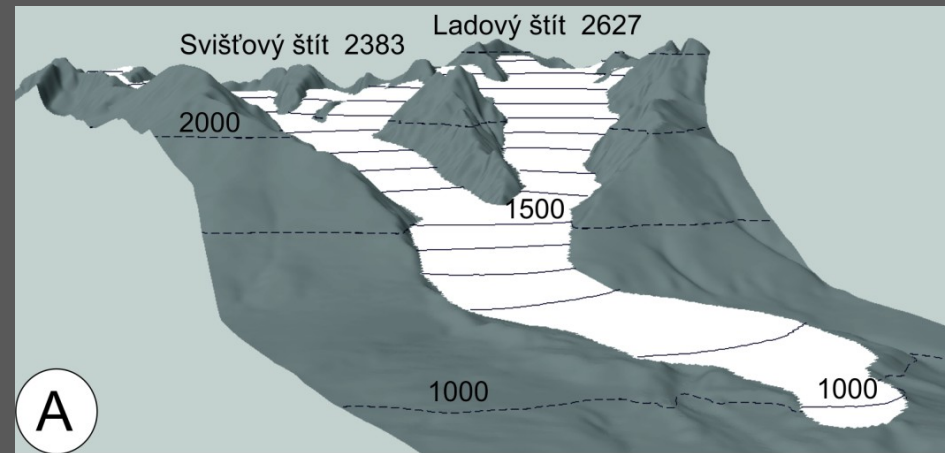
16.3±0.6 ka  
VSD-1 Dated rock surfaces



# Malá moréna YD

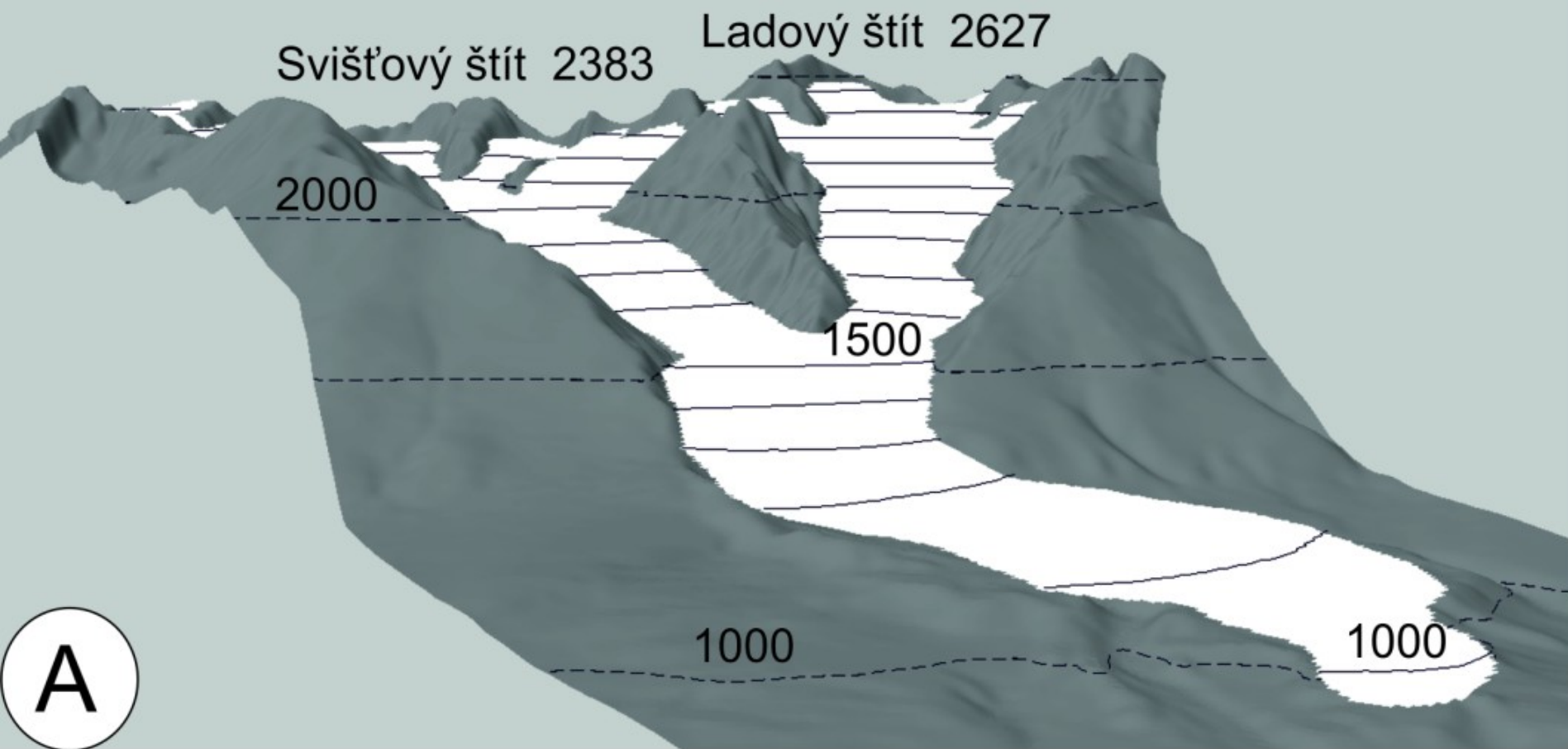


Small moraine wall probably attributed to cooling during Younger Dryas (in front of Pusté Pleso lake, closure of Velká Studená Valley)



All views from SE, None vertical exaggeration

22 ky, LGM,  
970 m, 1,21 km<sup>3</sup>, ELA 1640 m

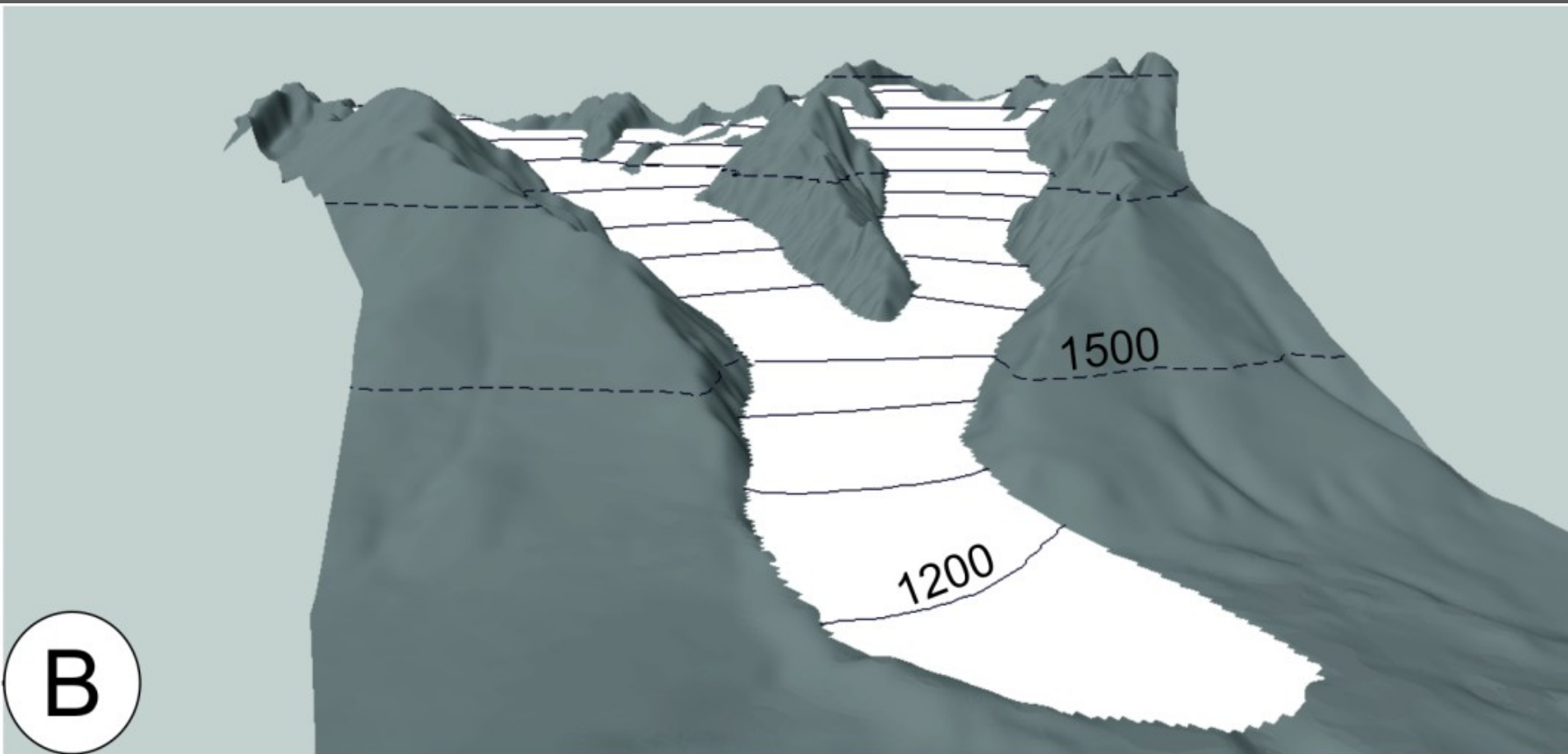


Svišťový štít 2383

Ladový štít 2627

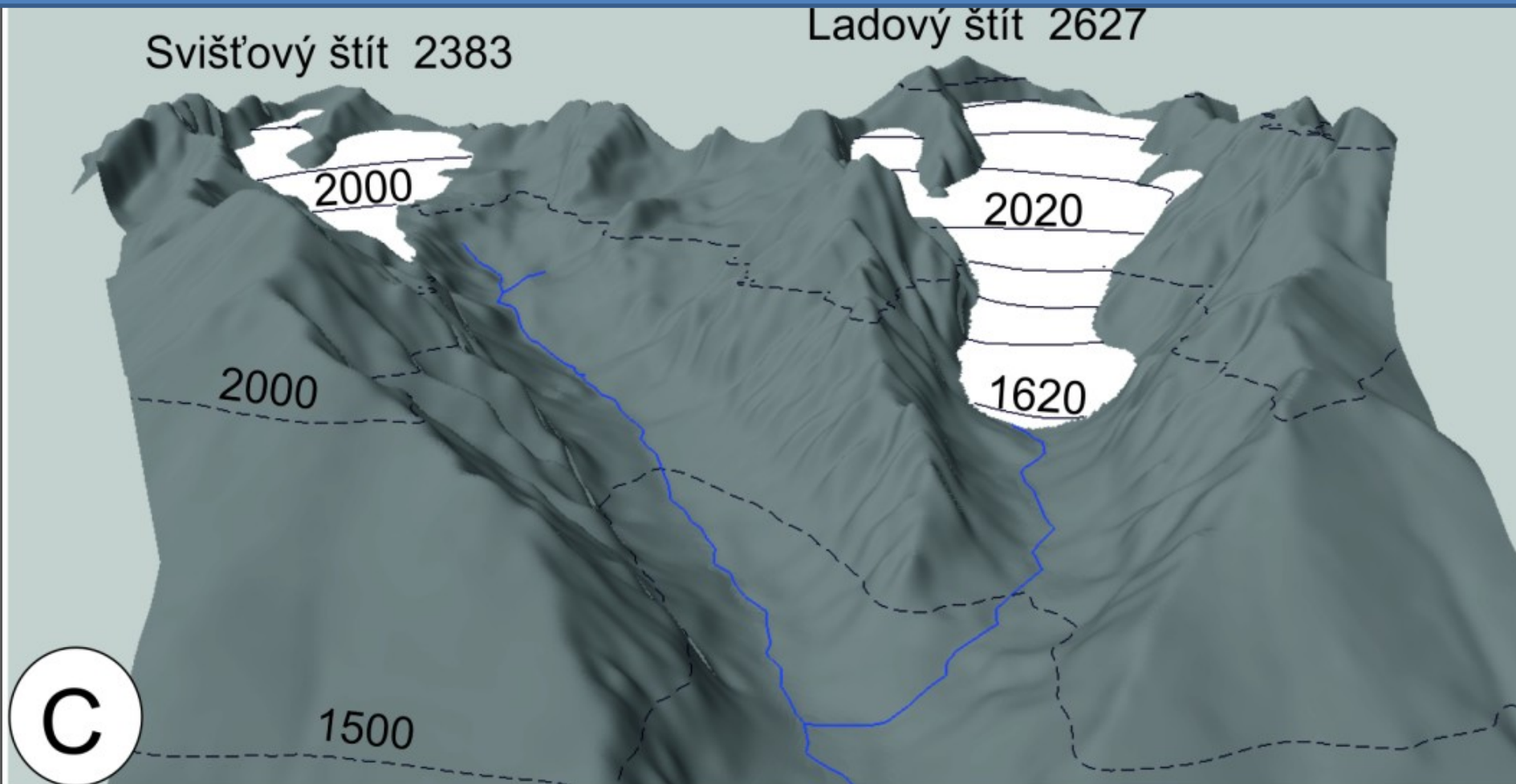
~20,5 ky

1120 m, 0,92 km<sup>3</sup>, 76 % LGM, ELA 1720 m



~15,5 ky

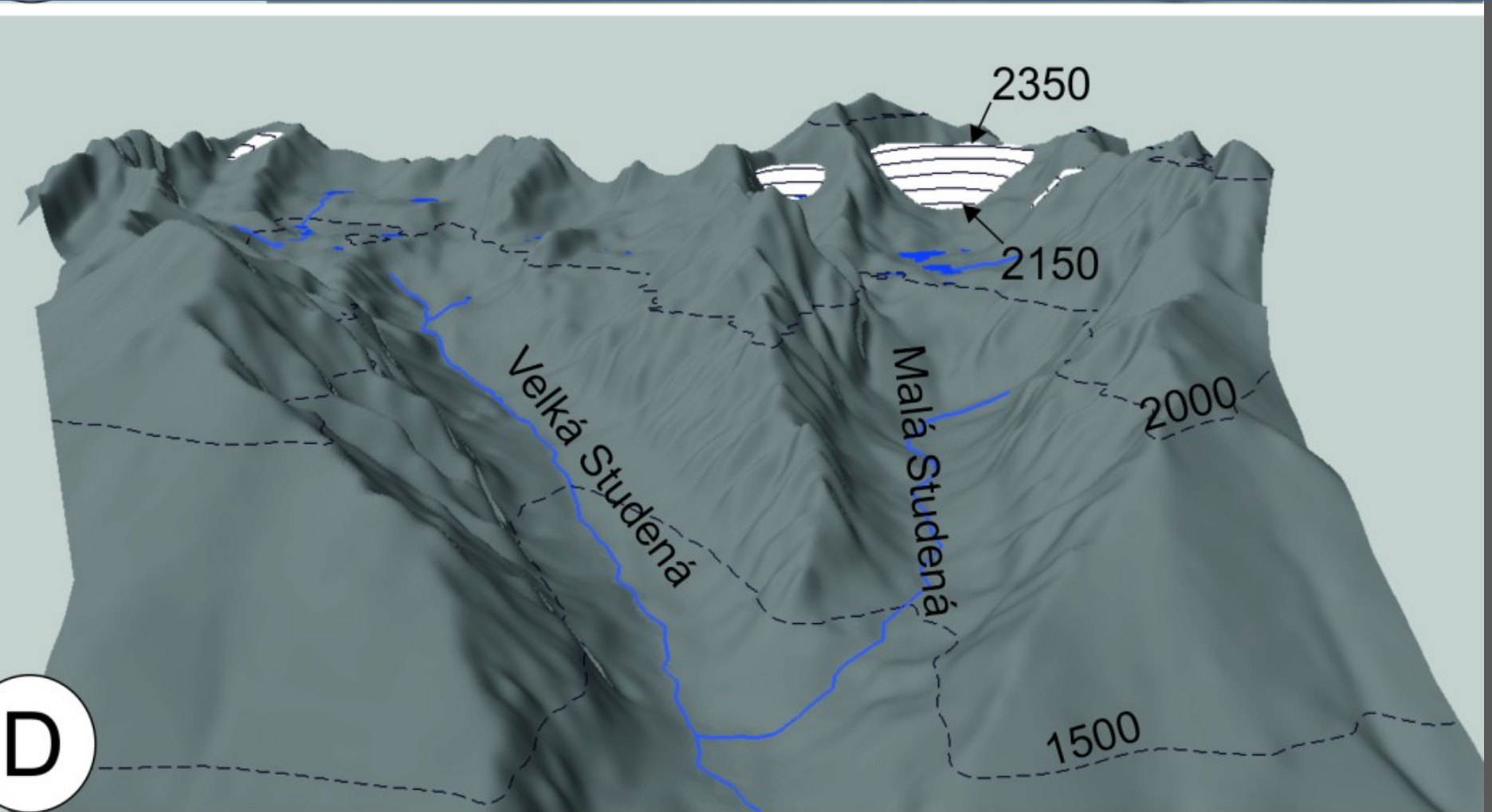
1680 m (MSD) a 1920 m (VSD), 0,06 km<sup>3</sup>, 5 % LGM, ELA 2130





~12 ky

2110 m (MSD) a 2180 m (VSD), 0,01 km<sup>3</sup>, 0,8 % LGM, ELA 2290 m



All views from SE, None vertical exaggeration

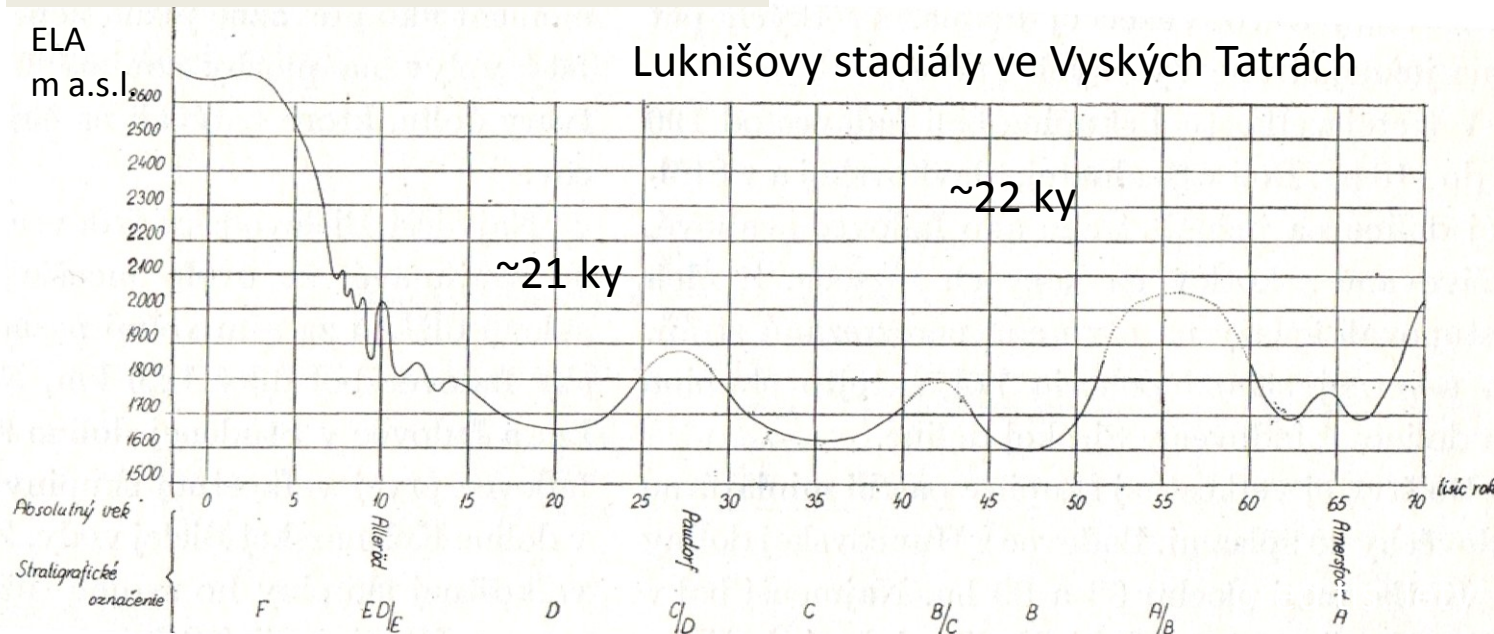
|                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| Snežná čiara<br>v m n. m. | Vysoké Tatry                 |
| Sever – juh               |                              |
| 2 550 2 750               |                              |
| 2 157 2 245               | holocén                      |
| 1 910 2 018               | E3 Poľana p. Vysokou II      |
| 1 837 1 967               | E2 Poľana p. Vysokou I       |
| 1 766 1 884               | E1 Ústie Rybieho p.          |
| 2 061 2 174               | D/E Senná kopa interšt.      |
| 1 708 1 810               | D2 Prostred. poľana II       |
|                           | D1/D2                        |
| 1 683 1 798               | D D1 Prostred. poľana        |
| 1 616 1 750               |                              |
|                           | štadiál Veža (Spálený vrch)  |
|                           | C/D interštadiál             |
| 1 583 1 697               | C štadiál T. Lomnica (Varta) |
|                           | B/C interštadiál             |
| 1 578 1 800               | B štadiál Štósy (Uhlisko)    |
|                           | A/B interštadiál             |
| 1 640 1 752               | A štadiál Rakytovec          |
|                           | predposledný interglaci      |

Prof. M. Lukniš

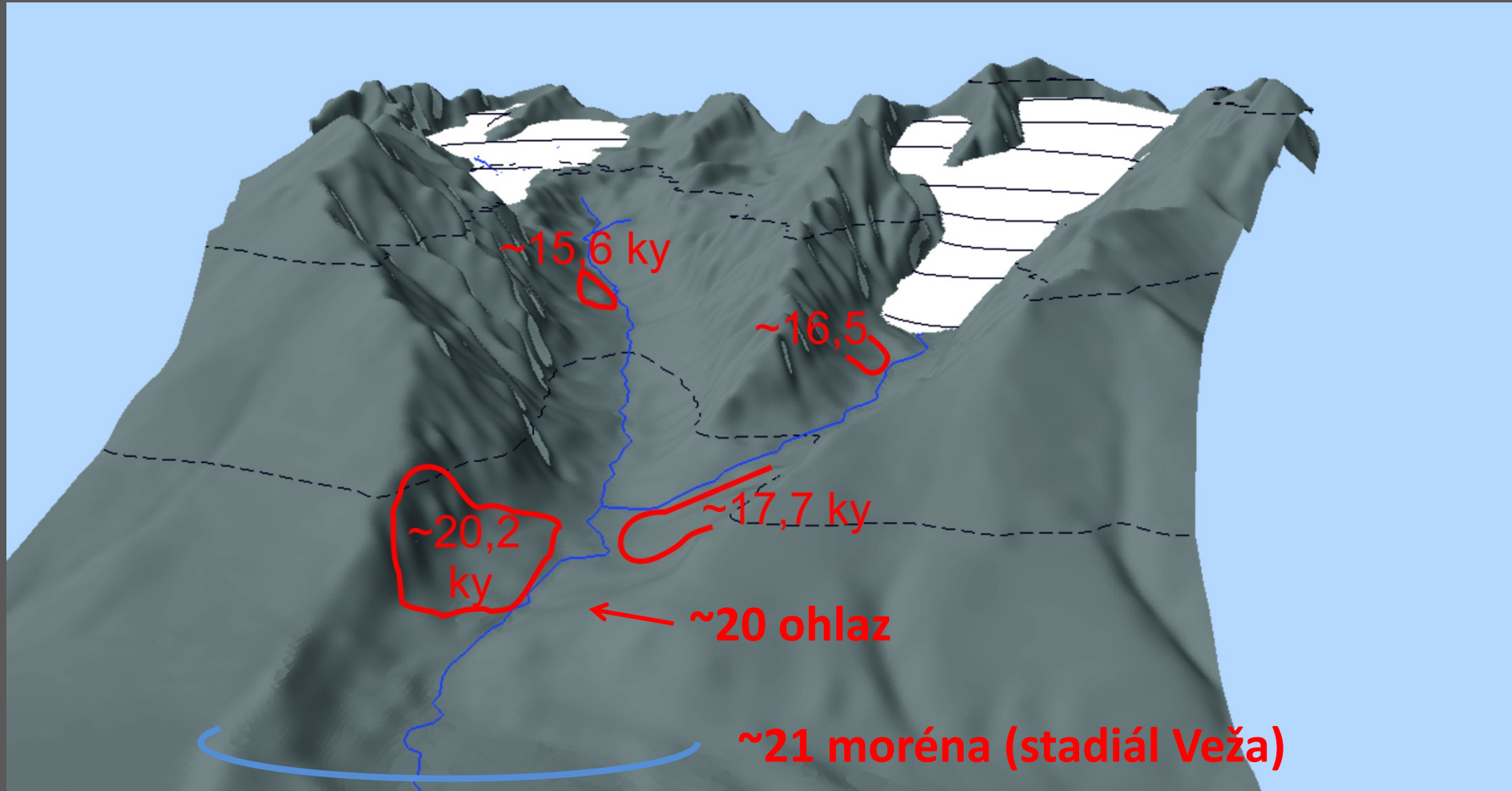


ELA  
m a.s.l.

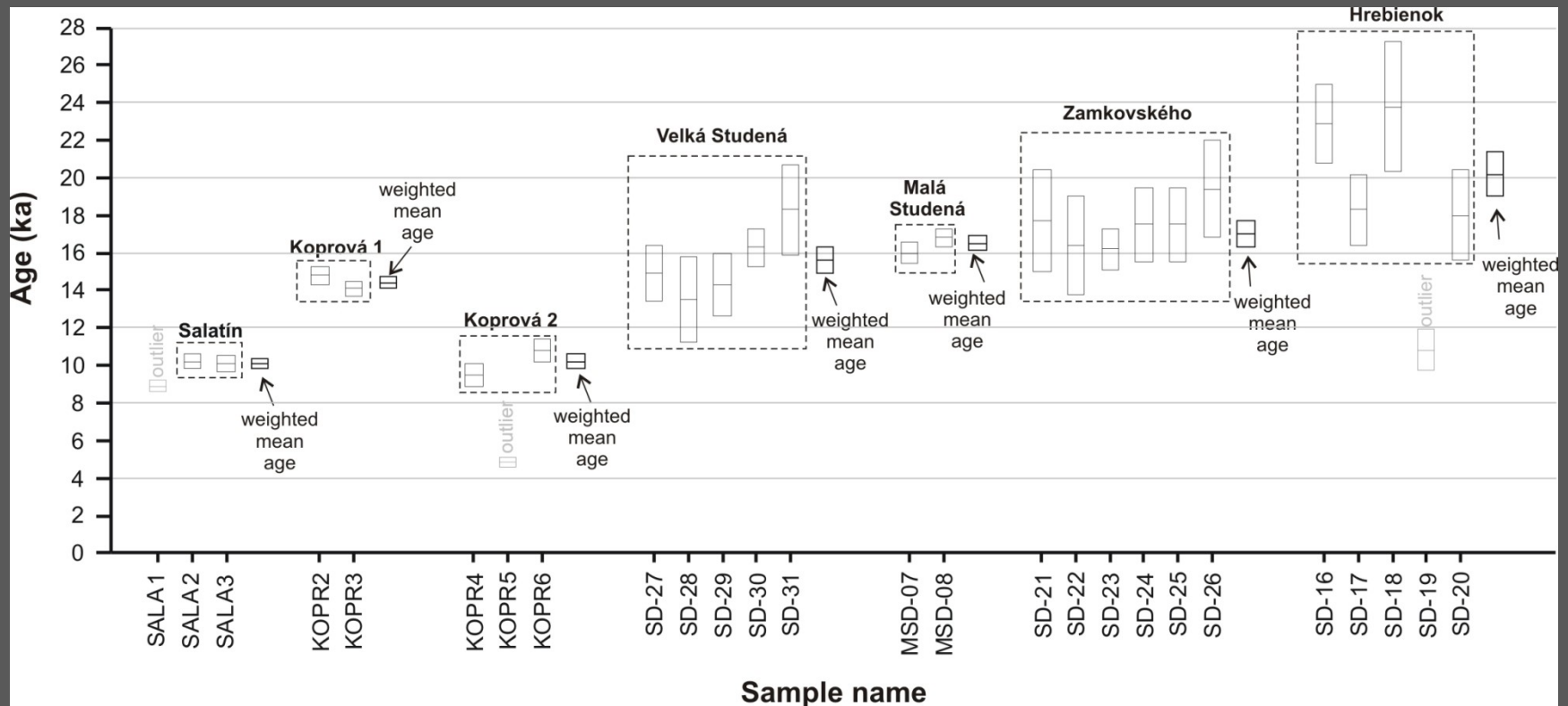
Luknišovy štadiály ve Vyských Tatrách



## Zalednění 15,5 ky a datovaná skalních řícení



# Skalní laviny – fenomén paraglaciální fáze



(Pánek et al., 2015)



# Srovnání

## Šumava

LGM ELA 1000-1160 m

LGM „maximum“ 27-22

Fáze LG

~16 a ~14 – ne YG

Paraglaciální mezi 19 a  
16 (degradace  
permafrostu?)

## Tatry

LGM ELA 1460-1700 m

LGM „maximum“ 26-20

Fáze LG

~15,5 a YD

Paraglaciální od ~20 do  
~15 (navazuje na  
deglaciaci)

Degradace horského  
permafrostu i později  
(konec YD – zvláště  
vrcholové partie)