

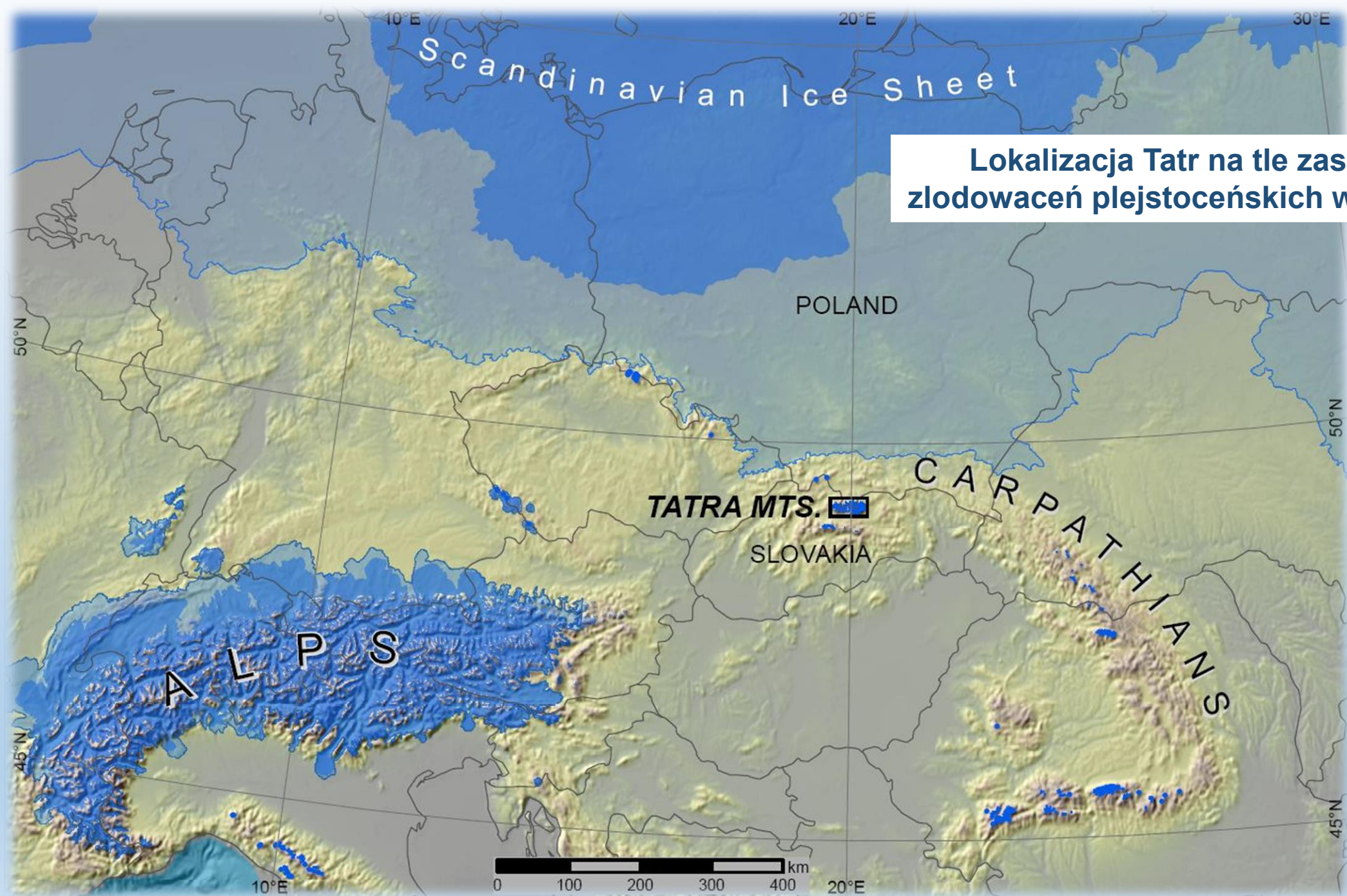
Topografia Tatr podczas maksimum ostatniego złodowacenia

Jerzy Zasadni

***Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Analiz Środowiskowych, Kartografii i Geologii
Gospodarczej***

jerzyzasadni@geol.agh.edu.pl

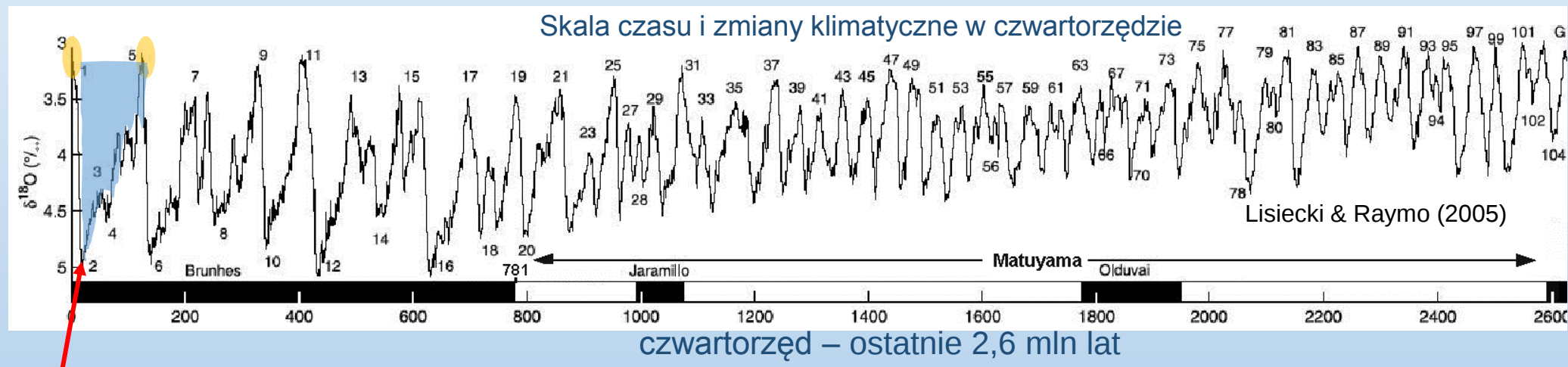
- 
- **Zlodowacenia Tatr – zarys problematyki**
 - **Geologiczne dowody na zasięg lodowców podczas maksimum ostatniego zlodowacenia**
 - **Metody rekonstrukcji i wizualizacji lodowców**
 - **Jak Tatry wyglądały 20 tys. lat temu?
- wirtualne krajobrazy**



**Lokalizacja Tatr na tle zasięgu
złodowaceń plejstocenijskich w Europie**

Maksimum ostatniego zlodowacenia

LGM (Last Glacial Maximum) **30-19 tys. lat temu**
Czas największego rozprzestrzenienia lądolodów
i najniższego poziomu światowego oceanu (-130 m)



LGM

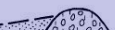
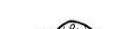
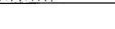
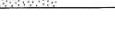
Wiek stabilizacji moren w pozycji maksymalnej oraz wiek odsłonięcia podciosów został określony **w Tatrach** na podstawie datowań izotopami kosmogenicznymi na LGM (stadium tlenowe MIS 2), tj. **26-18 tys. lat temu** (Makos i in. 2013, 2014; Engel i in. 2015).

Ile razy Tatry były zlodowacone?

W zależności od podejścia badaczy od 3 do 8 razy

ostatnie zlodowacenie

Schemat chronologii
zlodowaceń tatrzańskich
według Lindnera i in. (2003)

SLOVAKIAN TATRAS	GLACIAL EPISODES	POLISH TATRAS
	EARLY HOLOCENE LATE GLACIAL	
	WÜRM	
	RISS II	
	RISS I	
	pre-RISS	?
	MINDEL	
	GÜNZ	?
	DONAU	
	BIBER	?

 moraines  rock glaciers  glaciofluvial levels

	ALPS	TATRA MTS.
QUATERNARY	Holocene	Holocene
	Würm	Würm
	R/W	RII/W
	Riss	Riss II
		RI/RII
		Riss I
		pre-R/RI
		pre-Riss
	M/R	M/R
	Mindel	Mindel
	G/M	G/M
	Günz	Günz
	D/G	D/G
	Donau	Donau
	B/D	B/D
	Biber	Biber

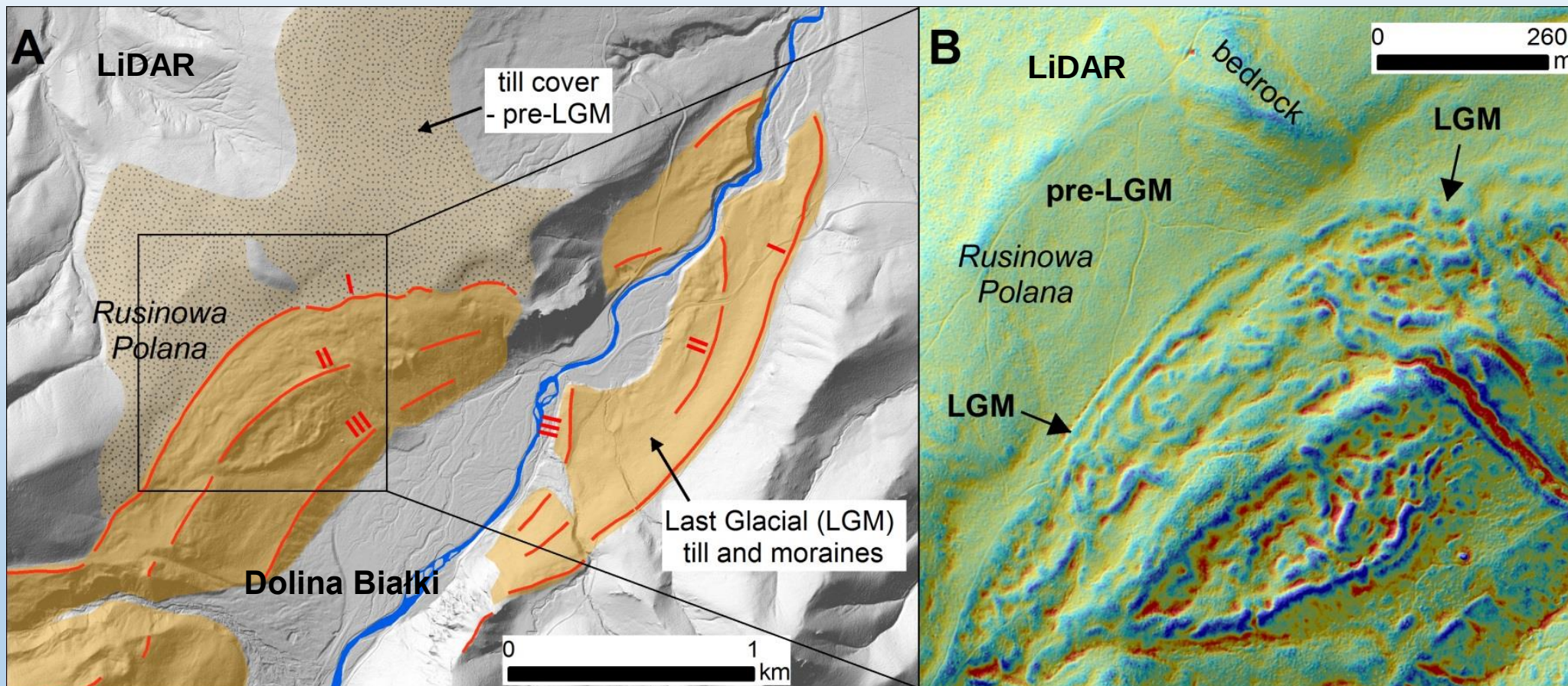
- Wyraźna różnica w „świeżości” form pozostawionych przez ostatnie zlodowacenie (**LGM**) a starszymi pokrywami morenowymi (**pre-LGM**)
- Wiek najświeższych moren potwierdzony (LGM). Brak danych na temat wieku starszych pokryw morenowych
- Chronologia starszych zlodowaceń oparta o dowiązanie do schematu „niżowego” i alpejskiego

**Rusinowa Polana – klasyczna lokalizacja
młodszych i starszych pokryw morenowych
w Tatrach**

Dolina Białki

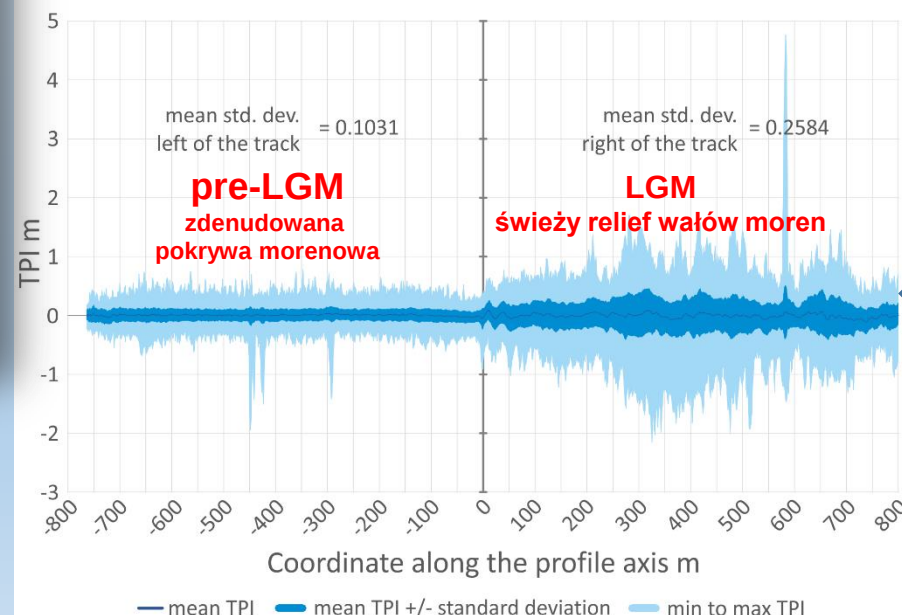
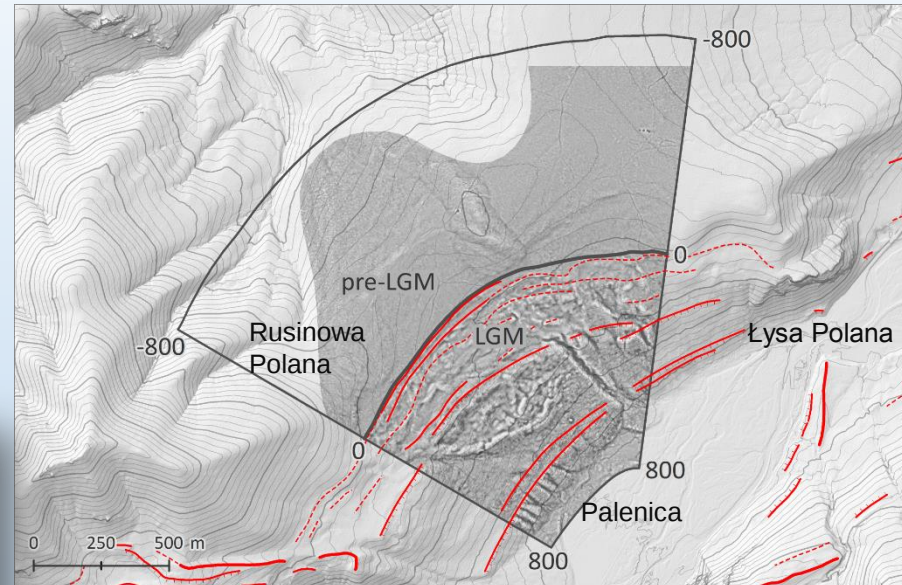
morena boczna LGM

Stara i młoda pokrywa morenowa Rusinowa Polana



Zasadni & Kłapyta (2014)

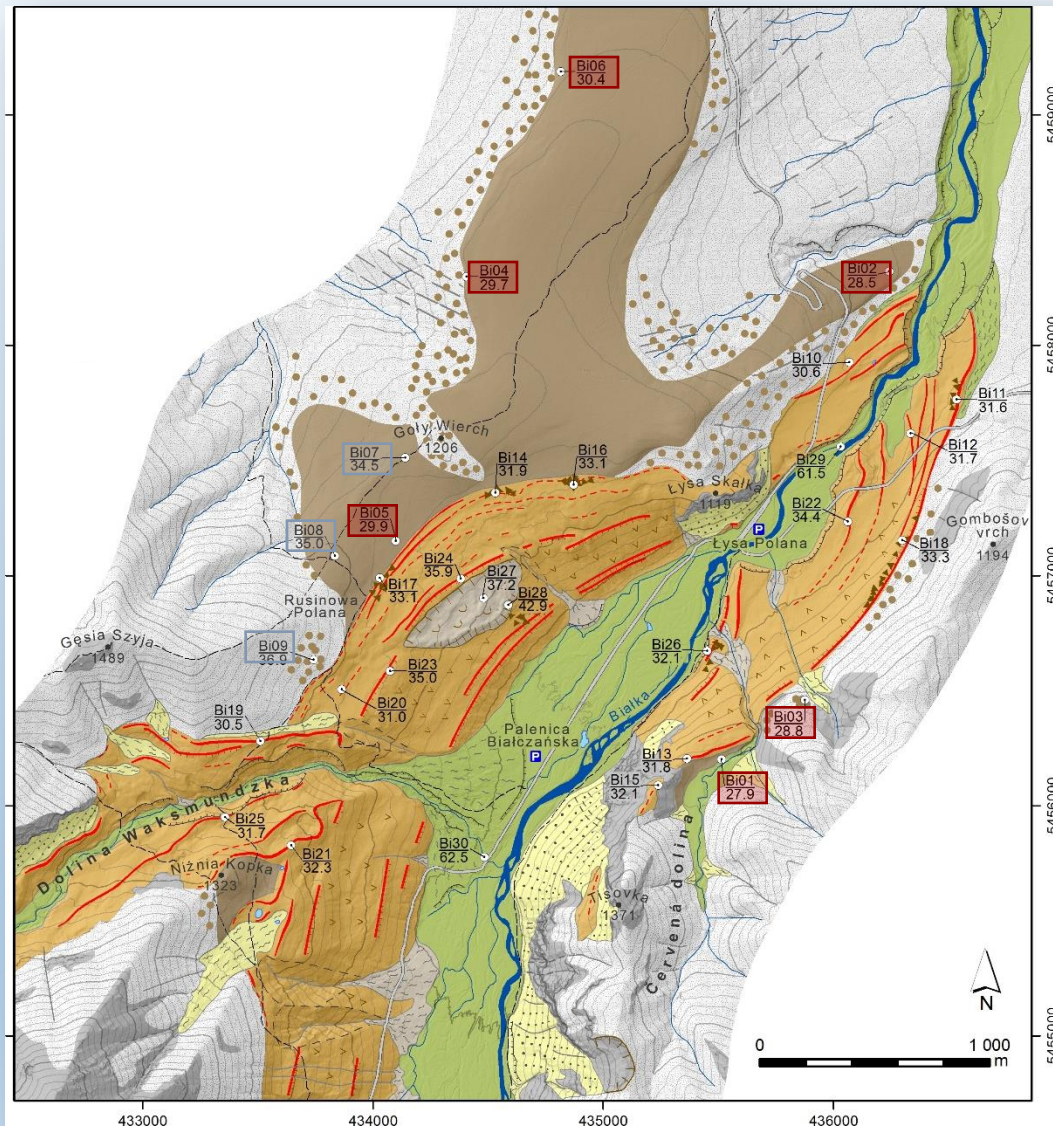
LGM vs pre-LGM różnica w rzeźbie pokryw morenowych



Uśredniony profil (swath profile)
indeksu pozycji topograficznej
(Topographic Position Index, TPI)
liczony dla obszaru o promieniu 10 m
- model LiDAR

LGM vs pre-LGM

różnica w stopniu zwietrzenia głazów określana metodą młotka Schmidta



Zasadni, Opyrchał, Kłapyta & Świader (w przygotowaniu do publ.)

Wartość odboju młotka Schmidta
– *rebound value* (R)

Niezwiertzały granit tatrzański - R **62**

LGM: średnia R **32,5** (od 30,5 do 35,9) n 17

pre-LGM: najniższe wartości R **28-30**, n 9

Stopień zwietrzenia głazów ujawnia
różnicę wieku między systemem LGM i pre-LGM

Wartości LGM są jednak blisko zasięgu
metody datowania (R ~28)

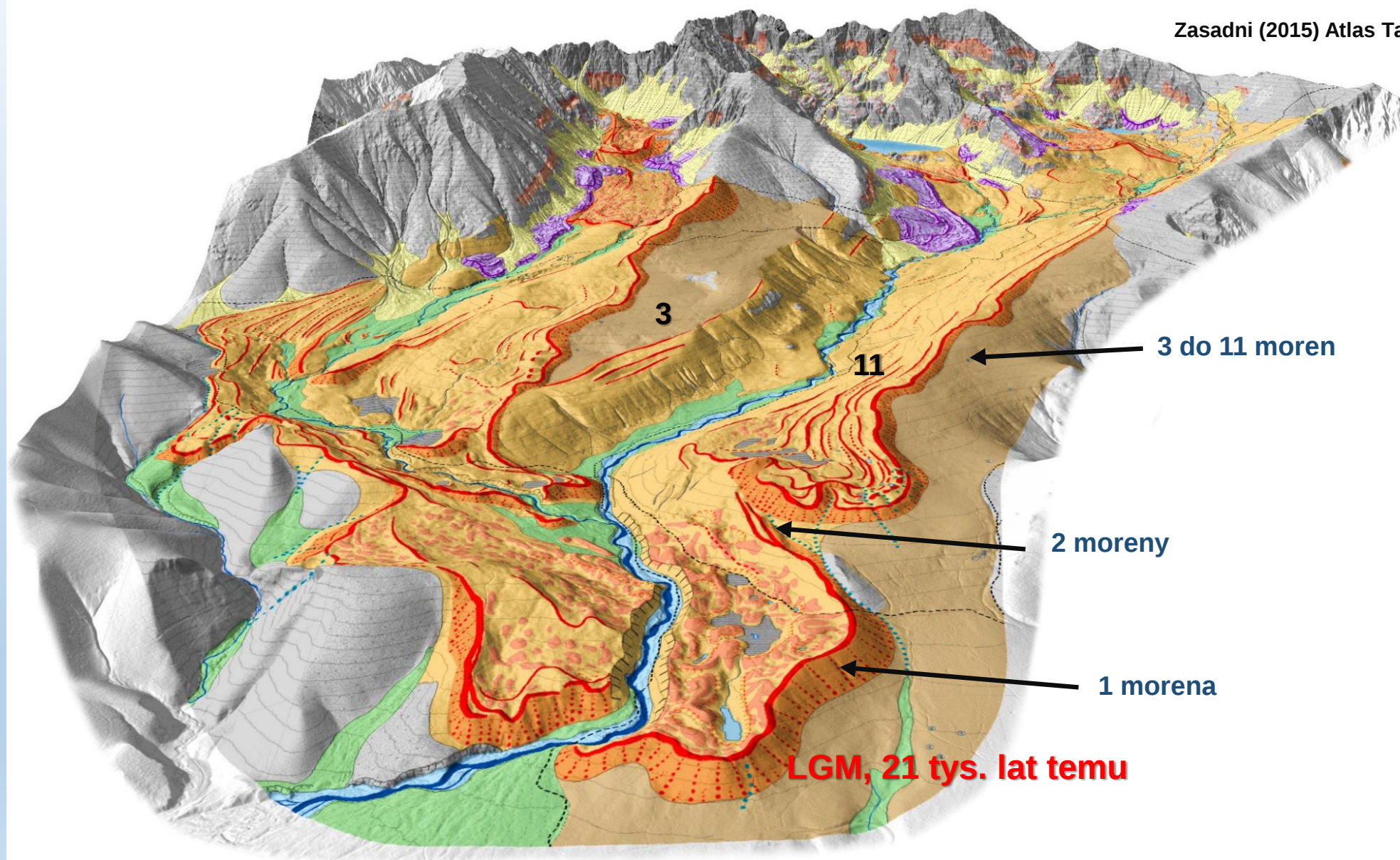
Brak możliwości określenia różnic
w wieku w obrębie pokryw starszych



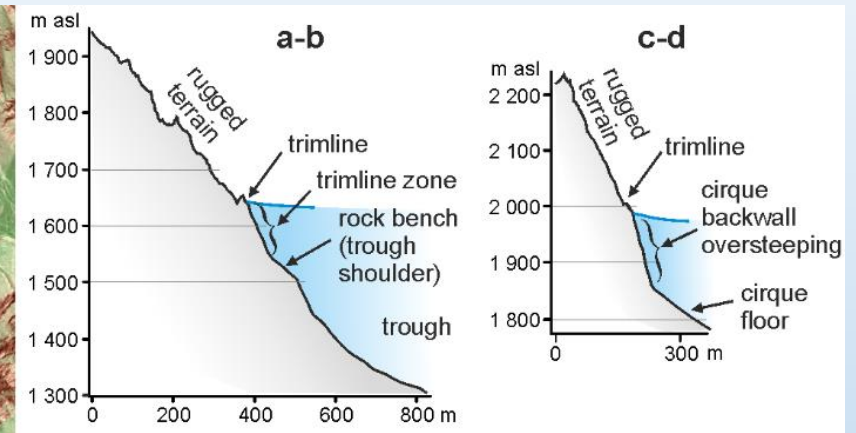
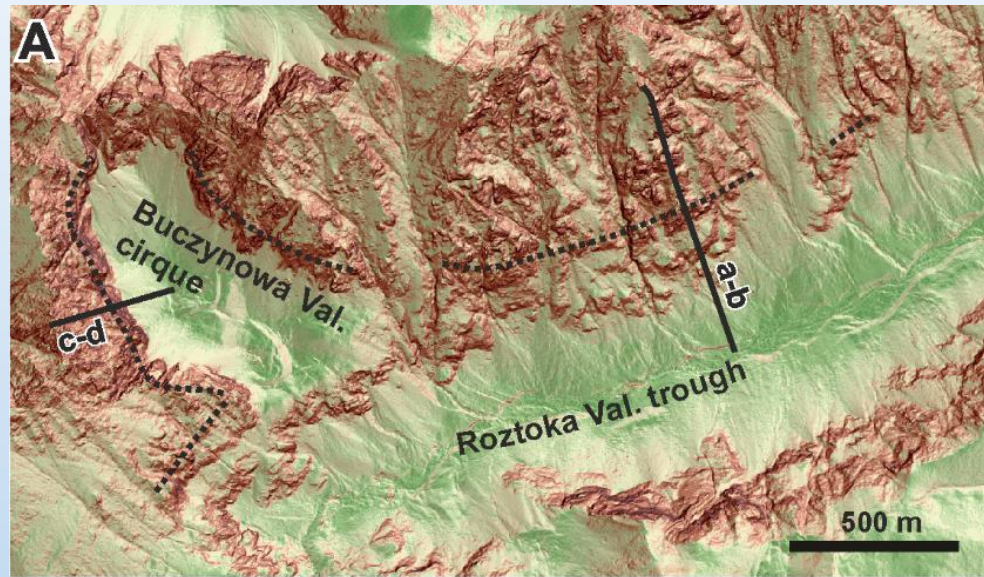
St Bi12, LGM II, Łysa Polana (SK)

Wieloetapowe formowanie moren podczas LGM system doliny Suchej Wody

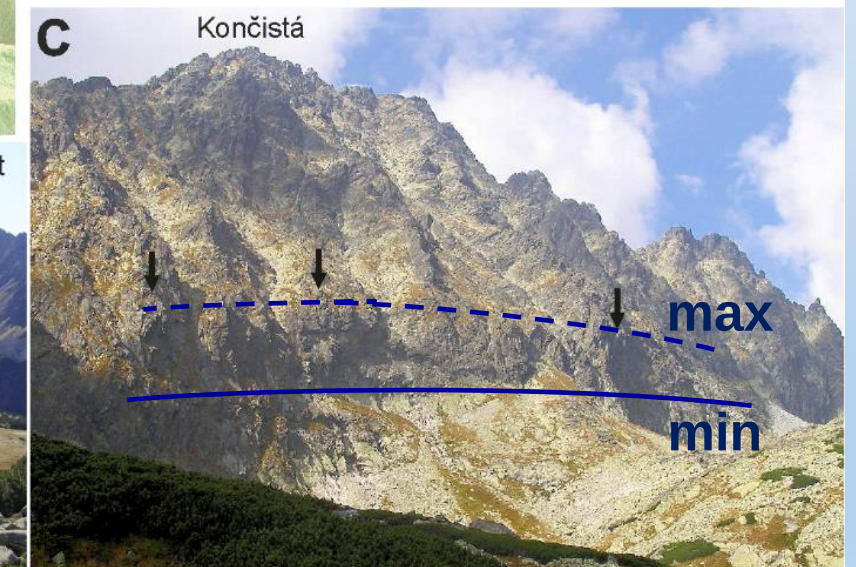
Zasadni (2015) Atlas Tatr, TPN



Podciosy w żłobach i cyrkach tatrzańskich (ang. *trimline*) zapis erozji lodowców w strefie akumulacji

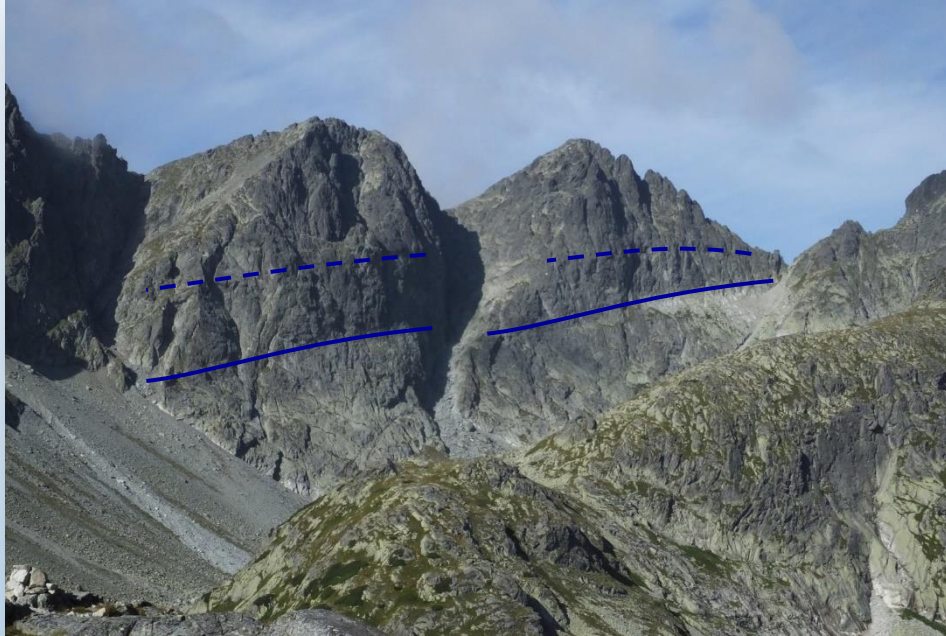


Dol. Kobyla, Tatry Zachodnie, Słowacja



Dol. Batyżowiecka, Tatry Wysokie, Słowacja

Podciosy w żłobach i cyrkach tatrzańskich (ang. *trimline*) zapis erozji lodowców w strefie akumulacji



Dol. Staroleśna (SK)



Dol. Rybiego Potoku (PL)



Dol. Furkotna (SK)

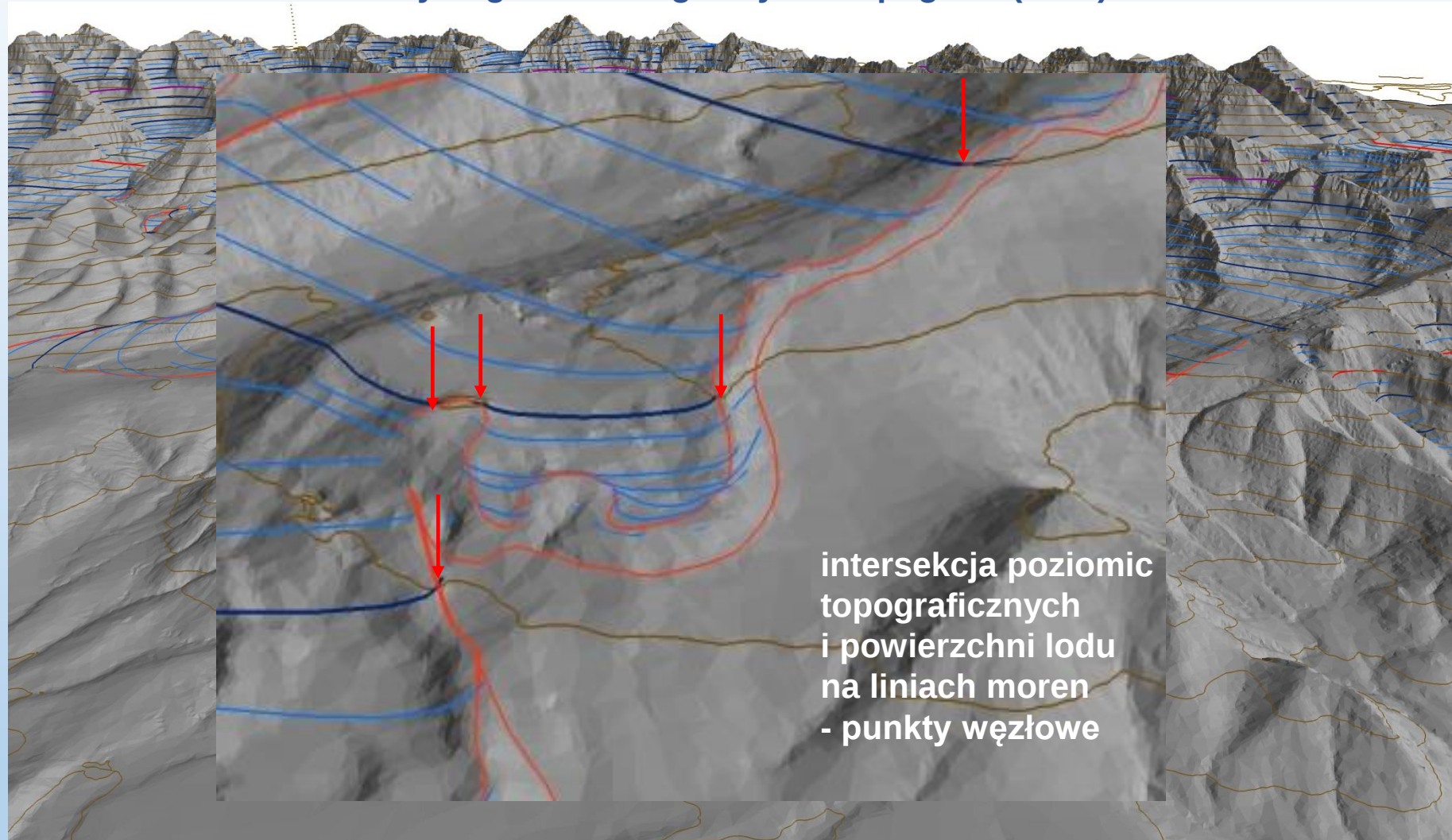


Rekonstrukcja lodowców w środowisku GIS

Założenia i metody:

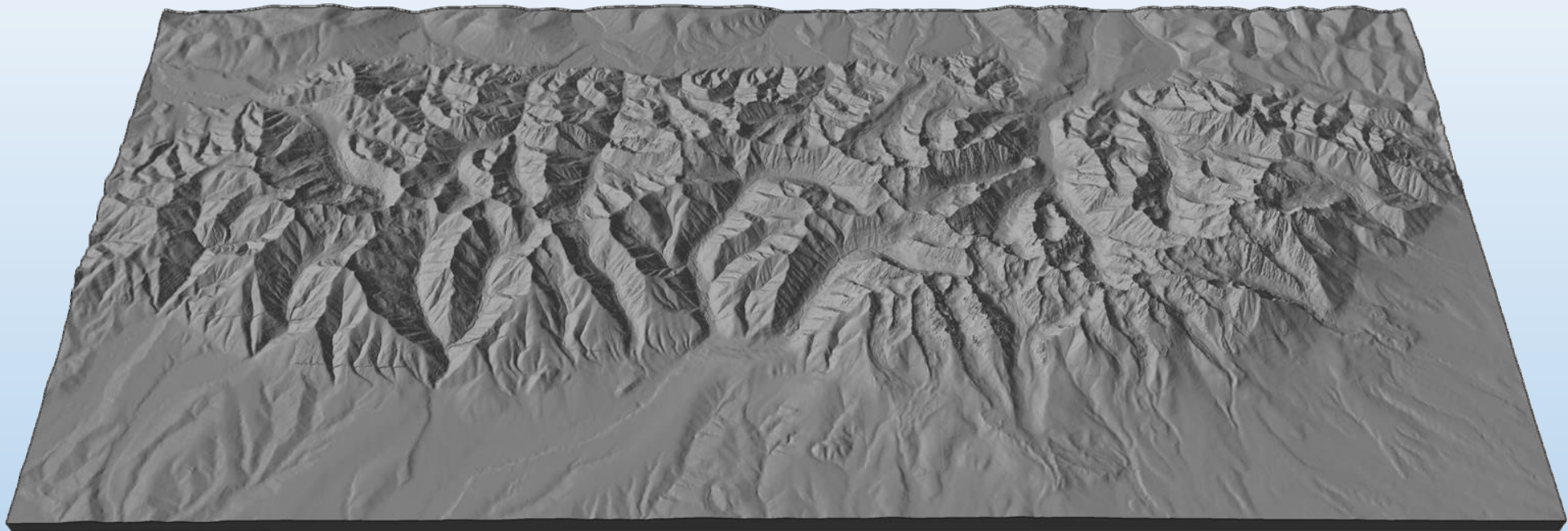
- Rekonstrukcja geometrii lodowców oparta jest o zapis geomorfologiczny ich zasięgu – moreny i podciosy.
- Interpolacja powierzchni 3D lodowców uwzględnia prawidłowości glaciologiczne.
(np. wklęsły/wypukły kształt powierzchni lodu w strefie akumulacji/ablacji)
- Prawdopodobny układ struktur na powierzchni lodowców (np. moreny środkowe, szczeliny) odwzorowany jest poprzez analogię do współczesnych lodowców.
- Model lodowców „dopasowany” jest do obecnej topografii (DEM 10 m).

Tworzenie poziomic lodu na podstawie danych geomorfologicznych i topografii (DEM)

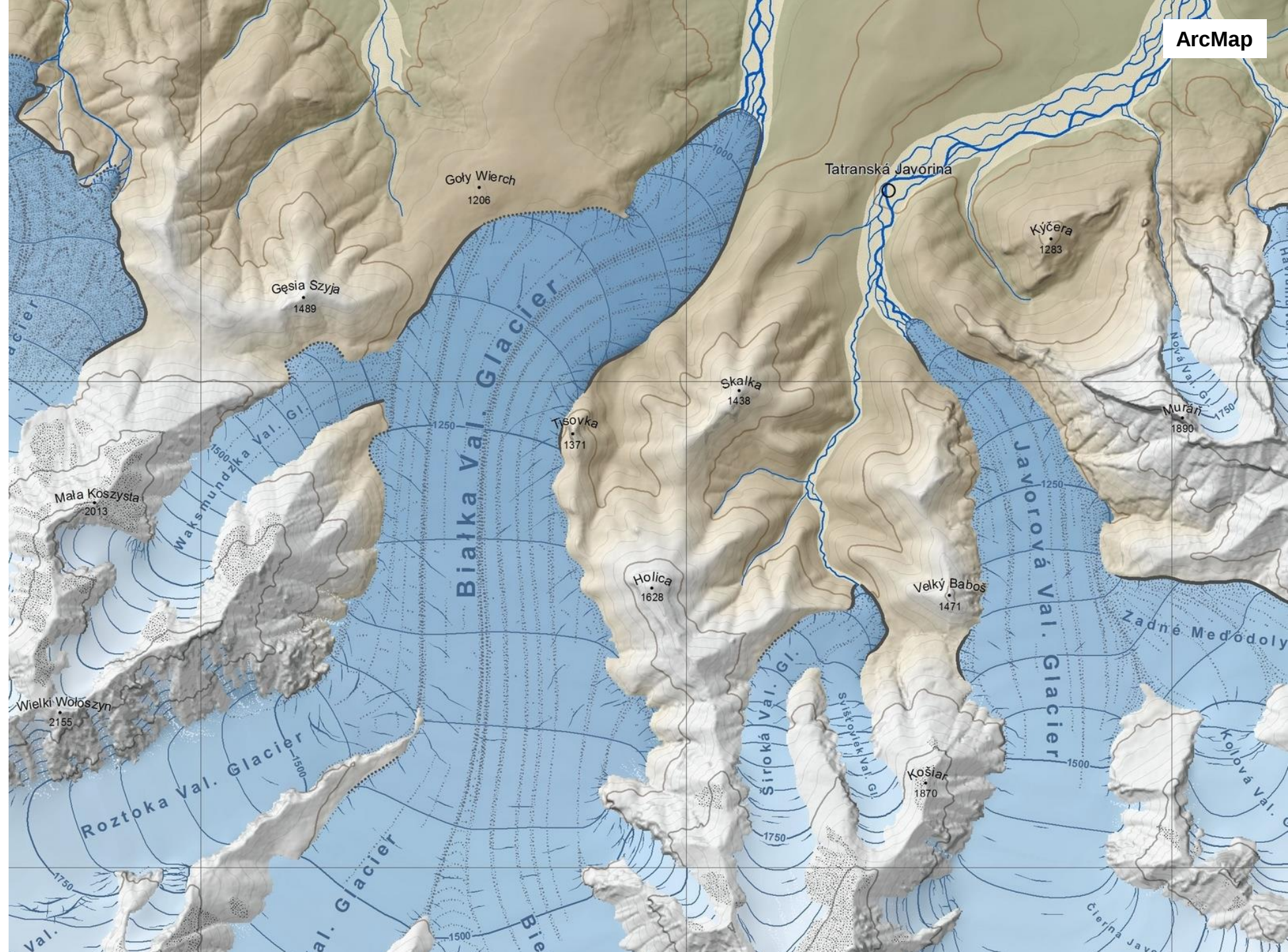


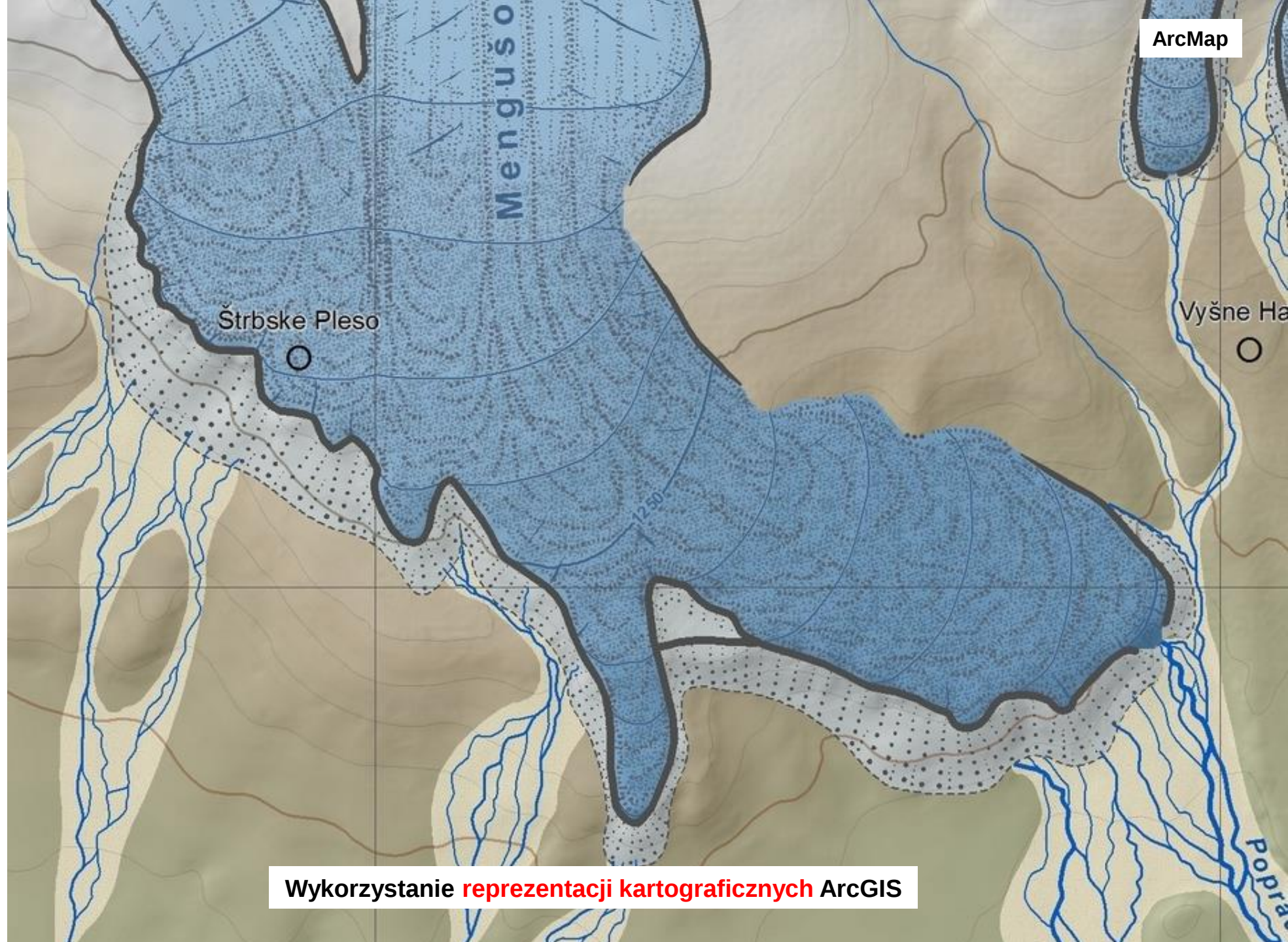
Kształt poziomic lodowców rysowany w ArcMap i wizualizowany w ArcScene

Rekonstrukcja lodowców



- zasięg lodowców - moreny
- kształt poziomic lodu
- DEM lodowców

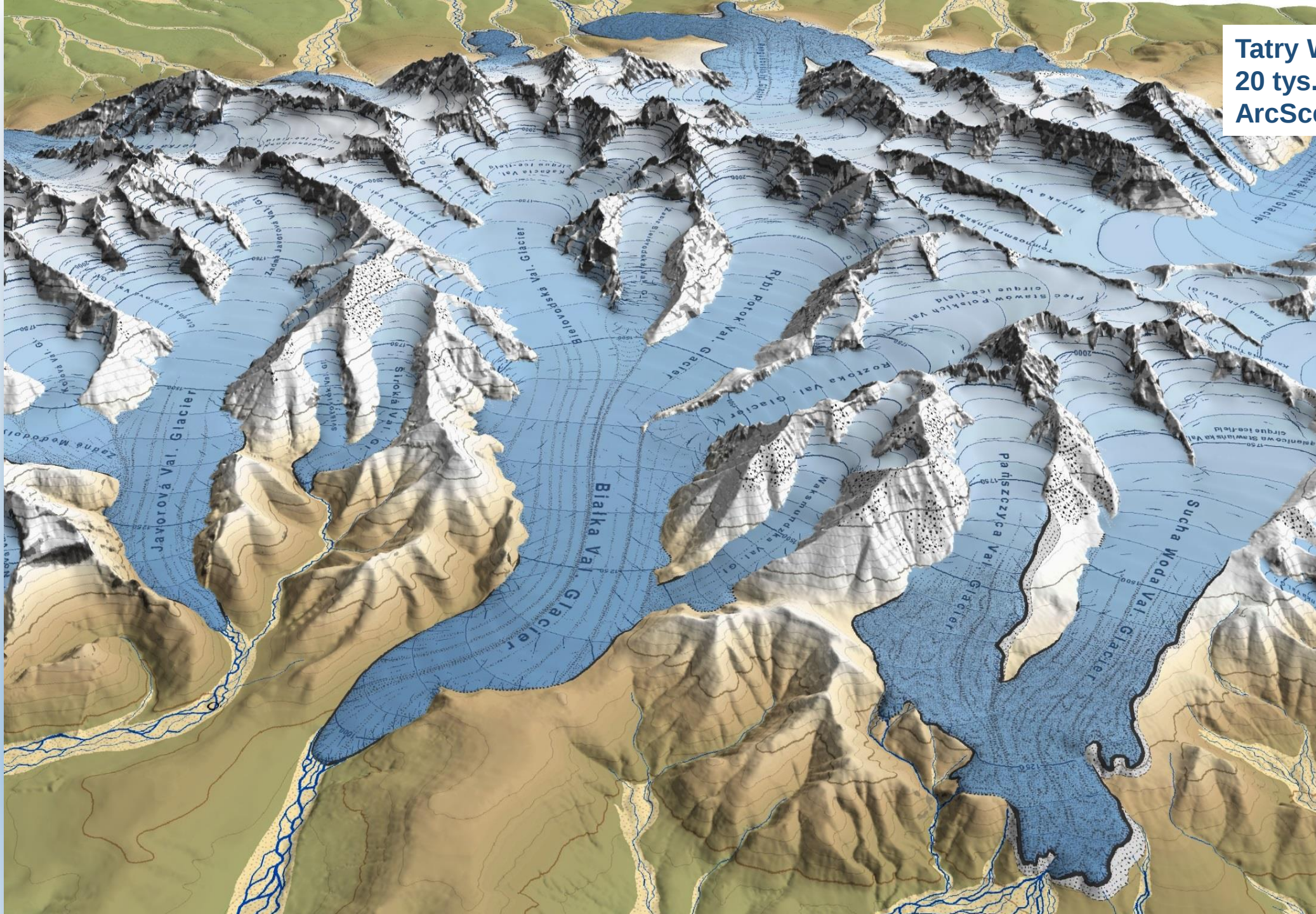




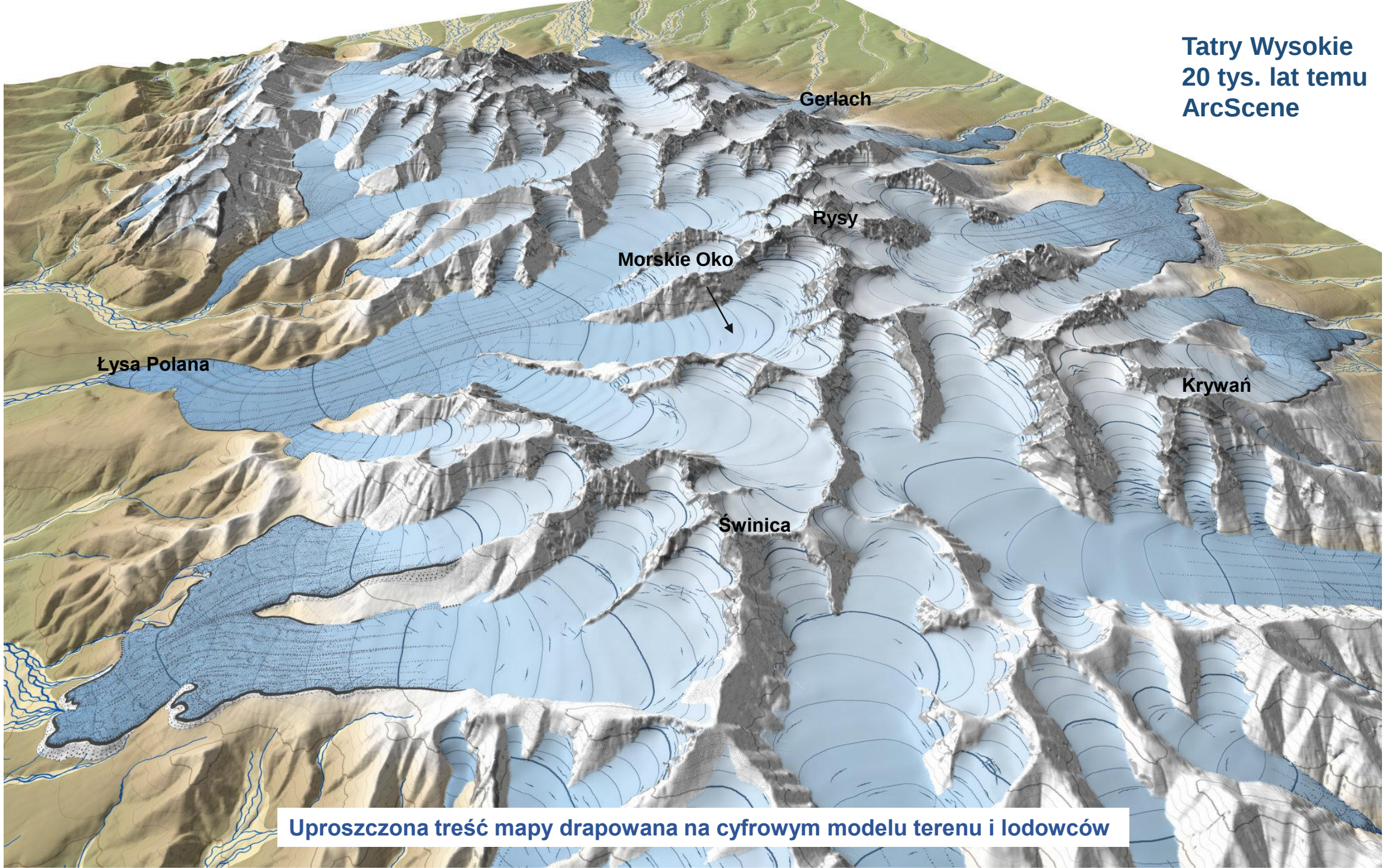
ArcMap

Wykorzystanie reprezentacji kartograficznych ArcGIS

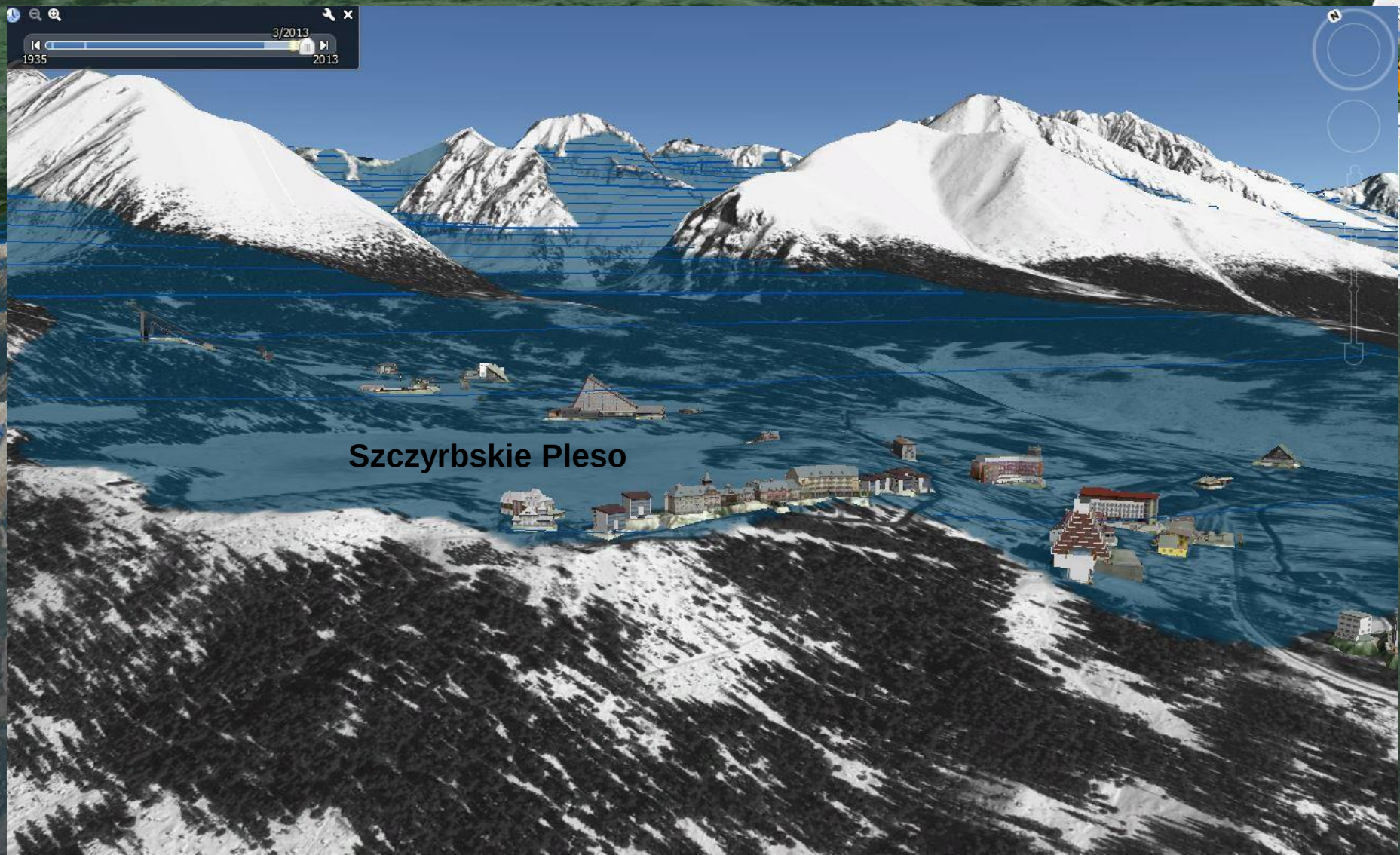
Tatry Wysokie
20 tys. lat temu
ArcScene



**Tatry Wysokie
20 tys. lat temu
ArcScene**



Uproszczona treść mapy drapowana na cyfrowym modelu terenu i lodowców



Szczyrbskie Pleso

Poziomice lodu i zasięg lodowców w pliku kml

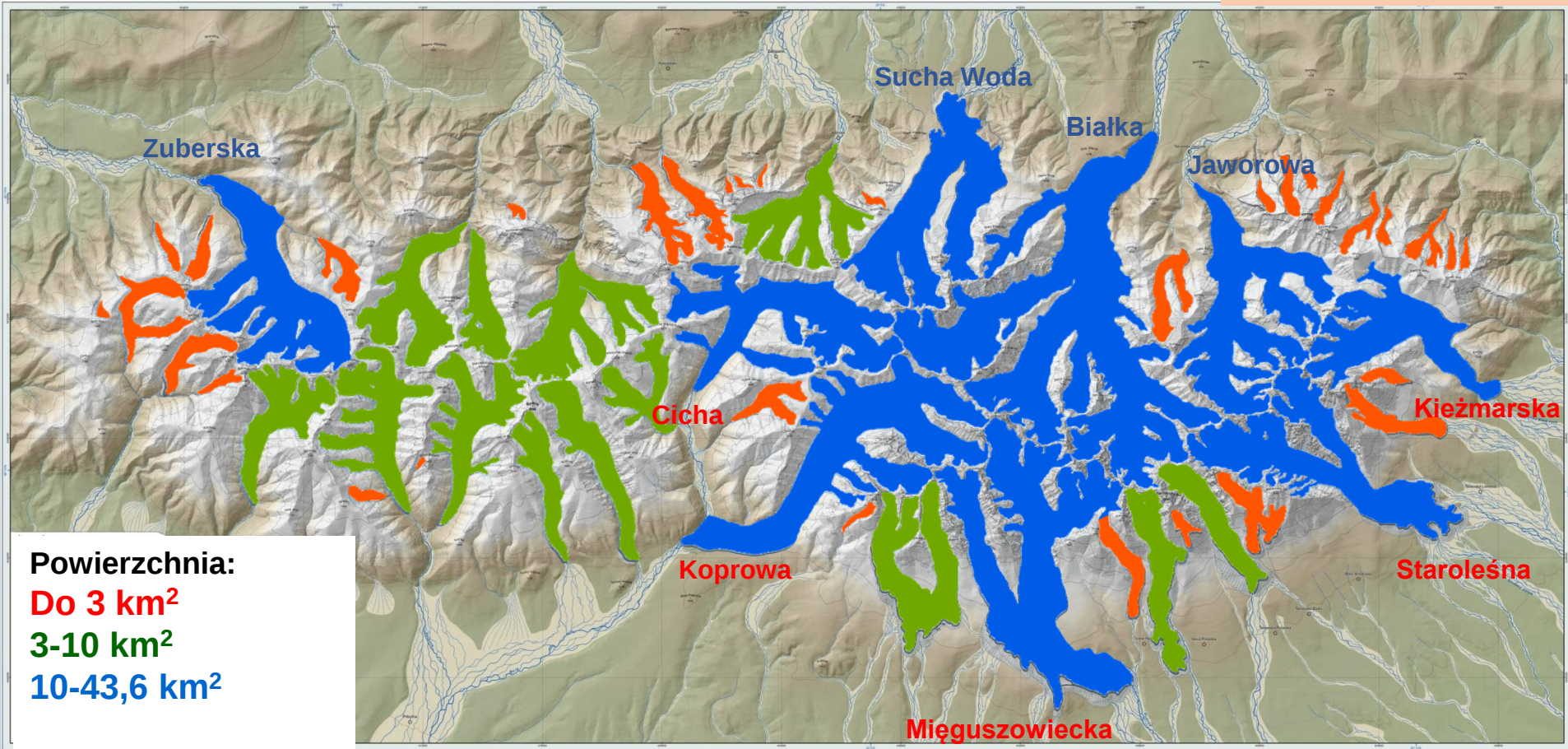
Mapa paleogeograficzna „Tatry podczas maksimum ostatniego zlodowacenia” 1: 50 000

THE TATRA MOUNTAINS DURING THE LAST GLACIAL MAXIMUM

Jerzy Zasadni¹ & Piotr Kłapyta²

¹ AGH University of Science and Technology, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland; j.zasadni@agh.edu.pl
² Jagiellońska University, Institute of Geography and Spatial Management, Gronostajowa 7, 30-349 Kraków, Poland; klapypa@gmail.com

Journal of Maps
Best Map Award 2014



Zasadni & Kłapyta (2014)

- 55 lodowców
- Obszar zlodowacony - 280 km²
- 9 lodowców miało powierzchnię większą niż 10 km²
- 8 lodowców sięgnęło czołem do 1000 m n.p.m.

czasopismo *Journal of Maps*
publikacja on-line, pdf
(wolny dostęp)

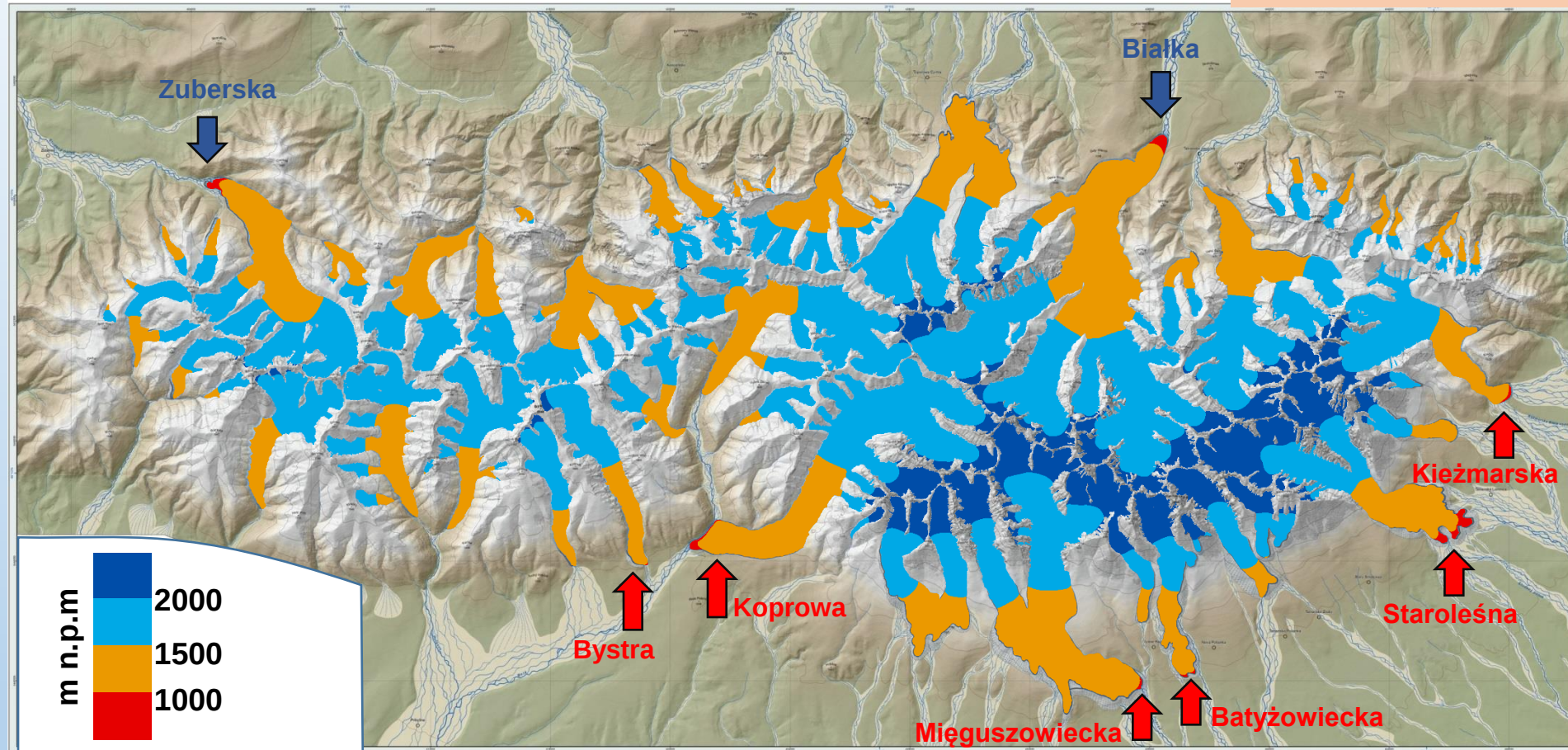
Mapa paleogeograficzna „Tatry podczas maksimum ostatniego zlodowacenia” 1: 50 000

THE TATRA MOUNTAINS DURING THE LAST GLACIAL MAXIMUM

Jerzy Zasadni¹ & Piotr Kłapyta²

¹ AGH University of Science and Technology, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland; j.zasadni@agh.edu.pl
² Jagiellońska University, Institute of Geography and Spatial Management, Gronosłowa 7, 30-349 Kraków, Poland; klapyta@gmail.com

Journal of Maps
Best Map Award 2014

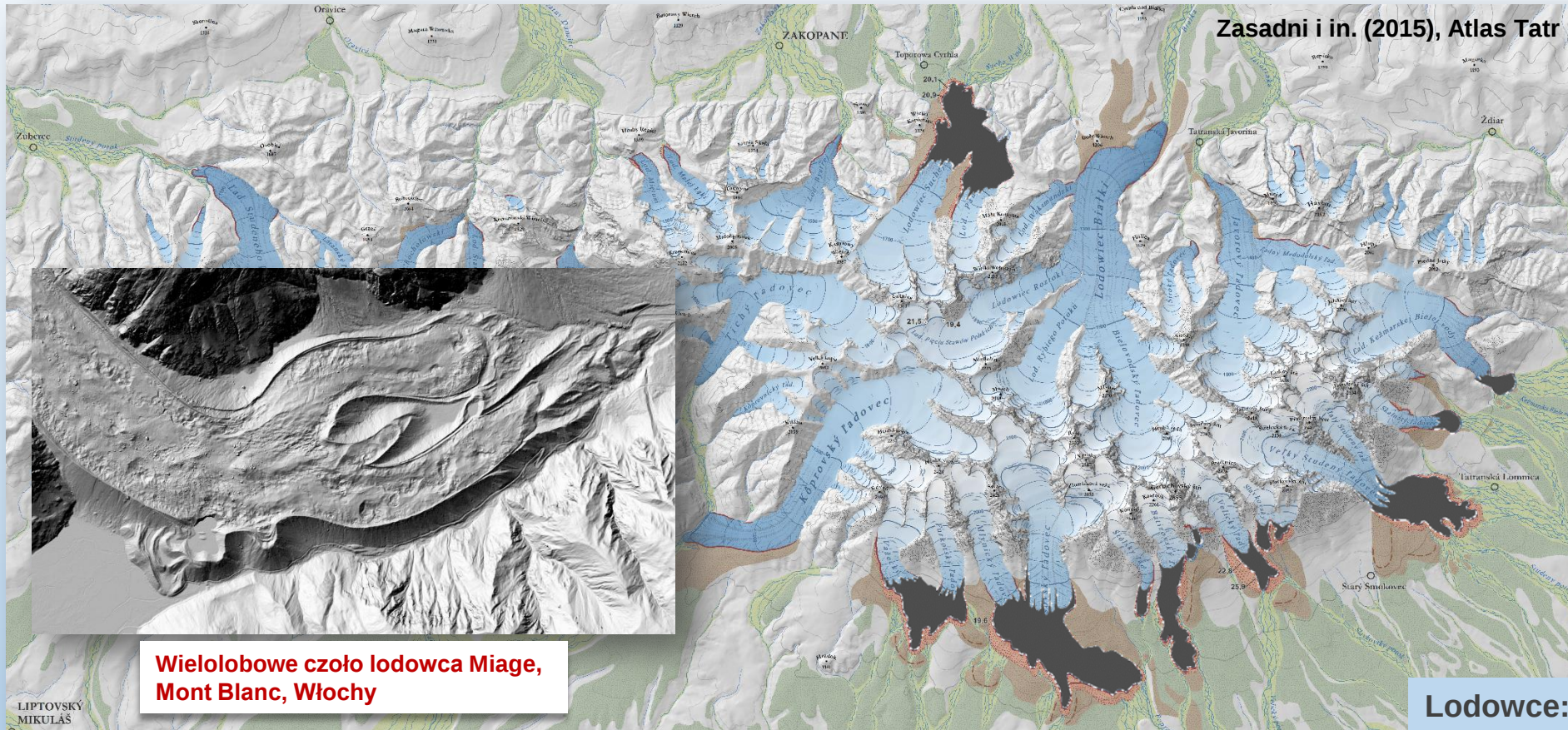


Zasadni & Kłapyta (2014)

- 55 lodowców
- Obszar zlodowacony - 280 km²
- 9 lodowców miało powierzchnię większą niż 10 km²
- 8 lodowców sięgnęło czołem do 1000 m n.p.m.

czasopismo *Journal of Maps*
publikacja on-line, pdf
(wolny dostęp)

Styl złodowacenia

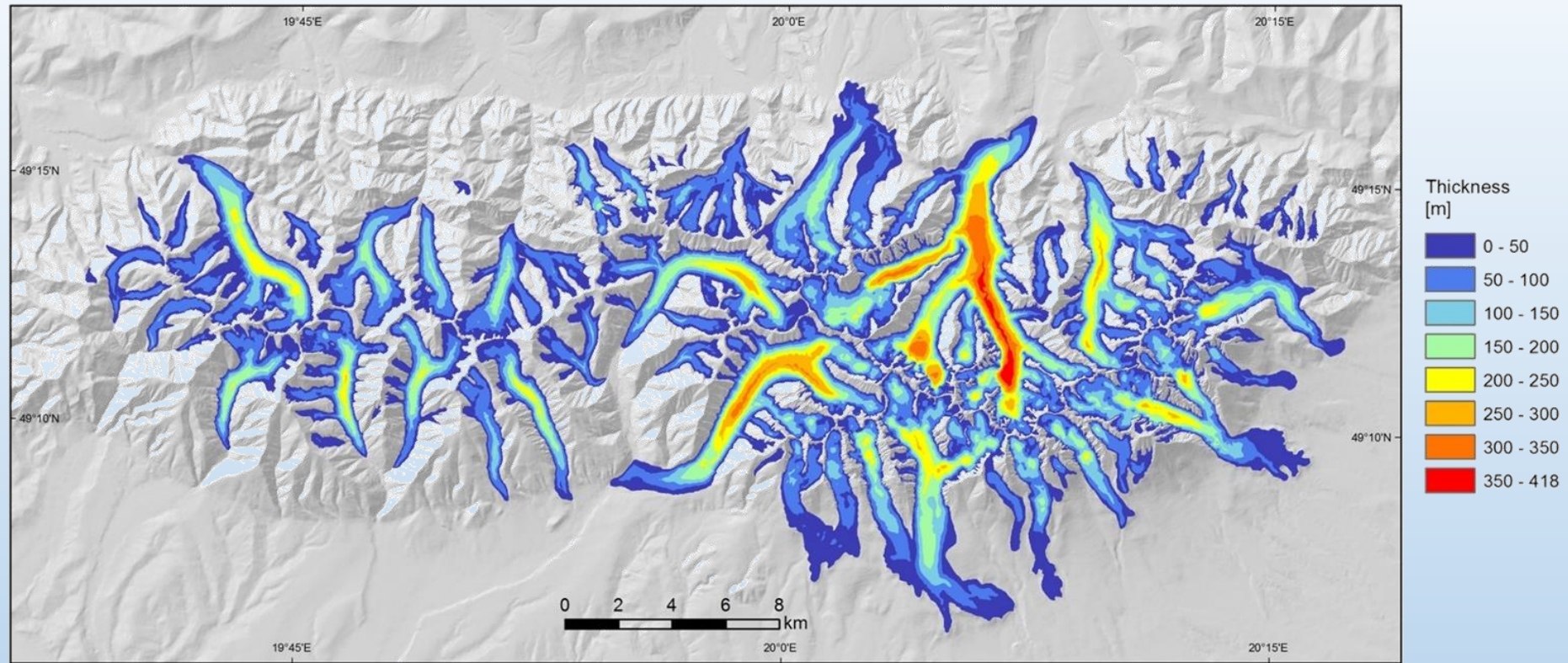


**Wielolobowe czoło lodowca Miage,
Mont Blanc, Włochy**

Lodowce:
Cyrkowo-dolinne
Cyrkowo-zboczowe
Cyrkowe, niszowe
Piedmontowe
Lodowce gruzowe

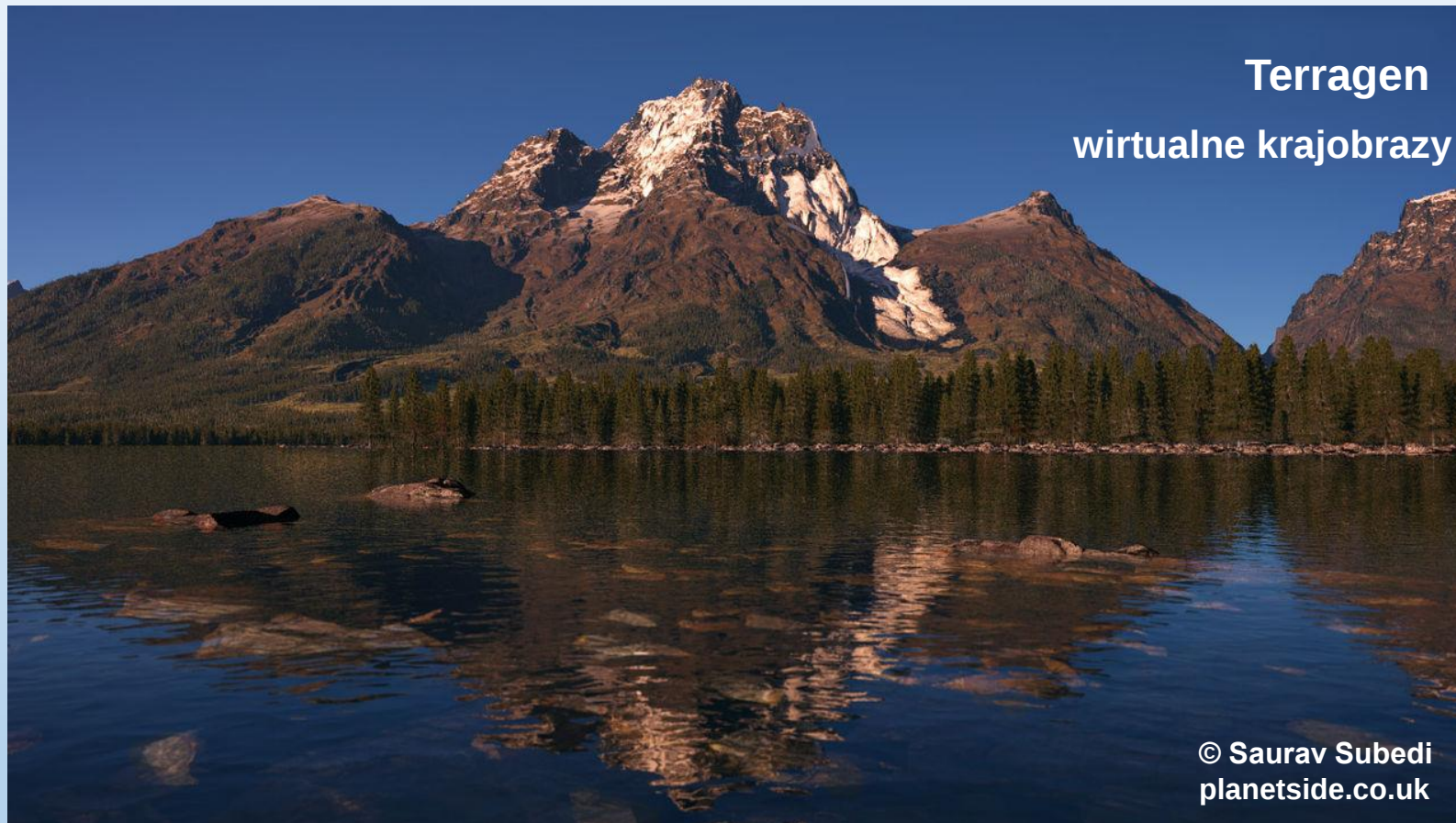
Masywne (do 100 m wysokości), nieregularne, wielolobowe moreny (palczasty układ moren) oraz relief wytopiskowy w systemach glacialnych świadczą o obecności **lodowców pokrytych gruzem**.

Grubość lodowców



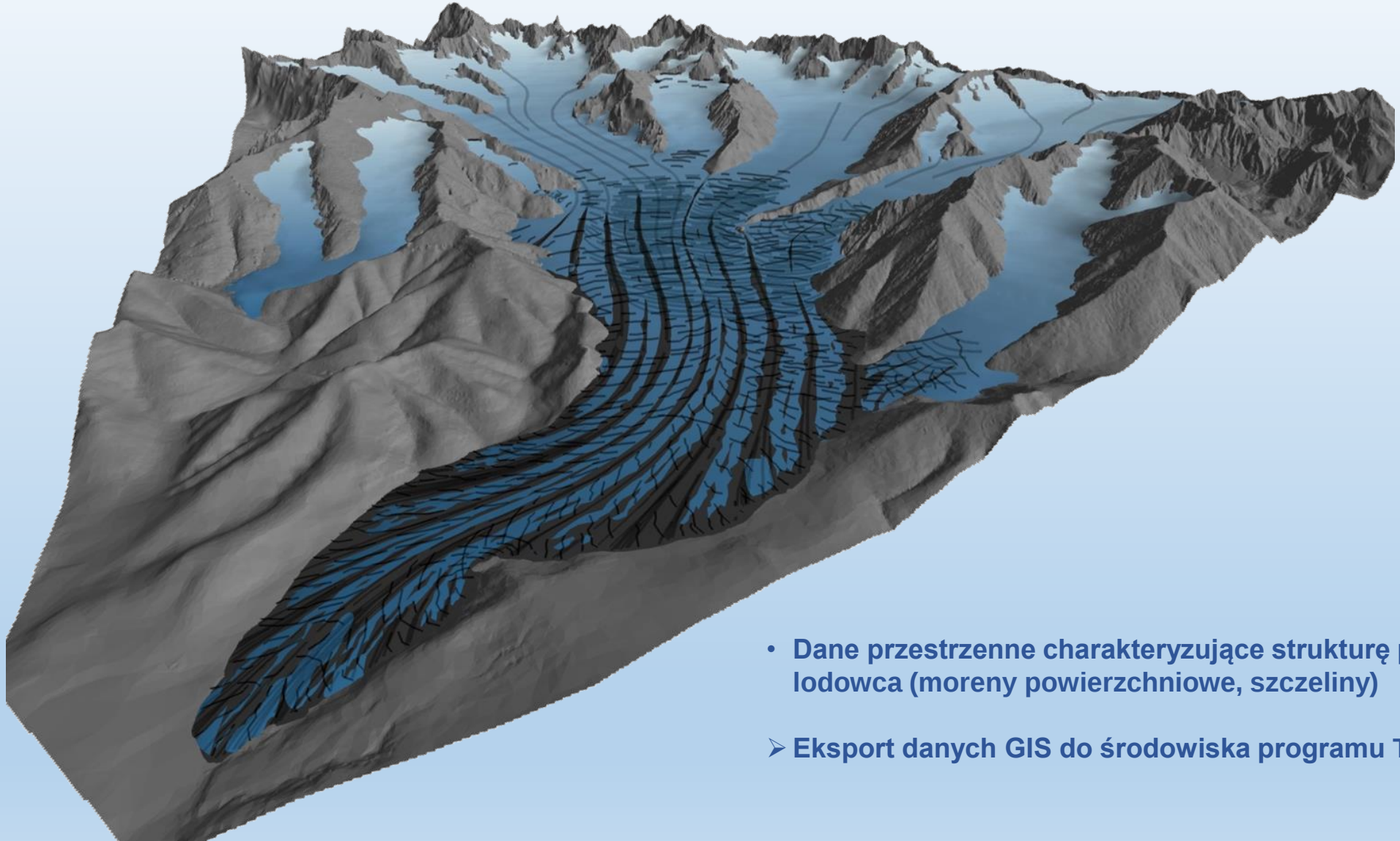
- Pokrywa lodowa Tatr miała średnią grubość 88 m
(Wartość minimalna. Model grubości uwzględnia współczesną rzeźbę terenu.)
- Największą grubość osiągał lodowiec Białki - ponad 400 m.
- Całkowita objętość lodu wynosiła 24,6 km³, w lodowcach związane było 22,6 km³ wody.
Udział „lodu tatrzańskiego” w podniesieniu poziomu oceanu światowego to ok. 0,06 mm.

Krok dalej...
w stronę fotorealistycznego krajobrazu



Lodowiec Białki

ArcScene: struktura powierzchni lodowca



- Dane przestrzenne charakteryzujące strukturę powierzchni lodowca (moreny powierzchniowe, szczeliny)
- Eksport danych GIS do środowiska programu Terragen

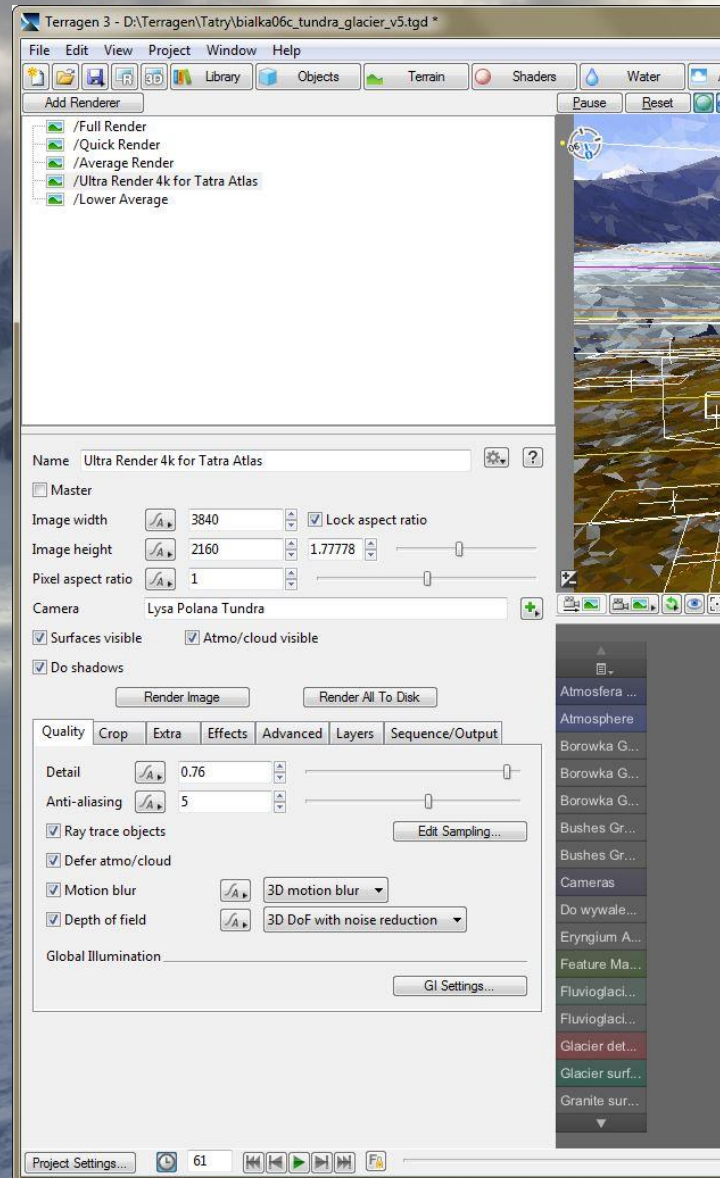
Program Terragen oparty jest na grafice fraktalnej.



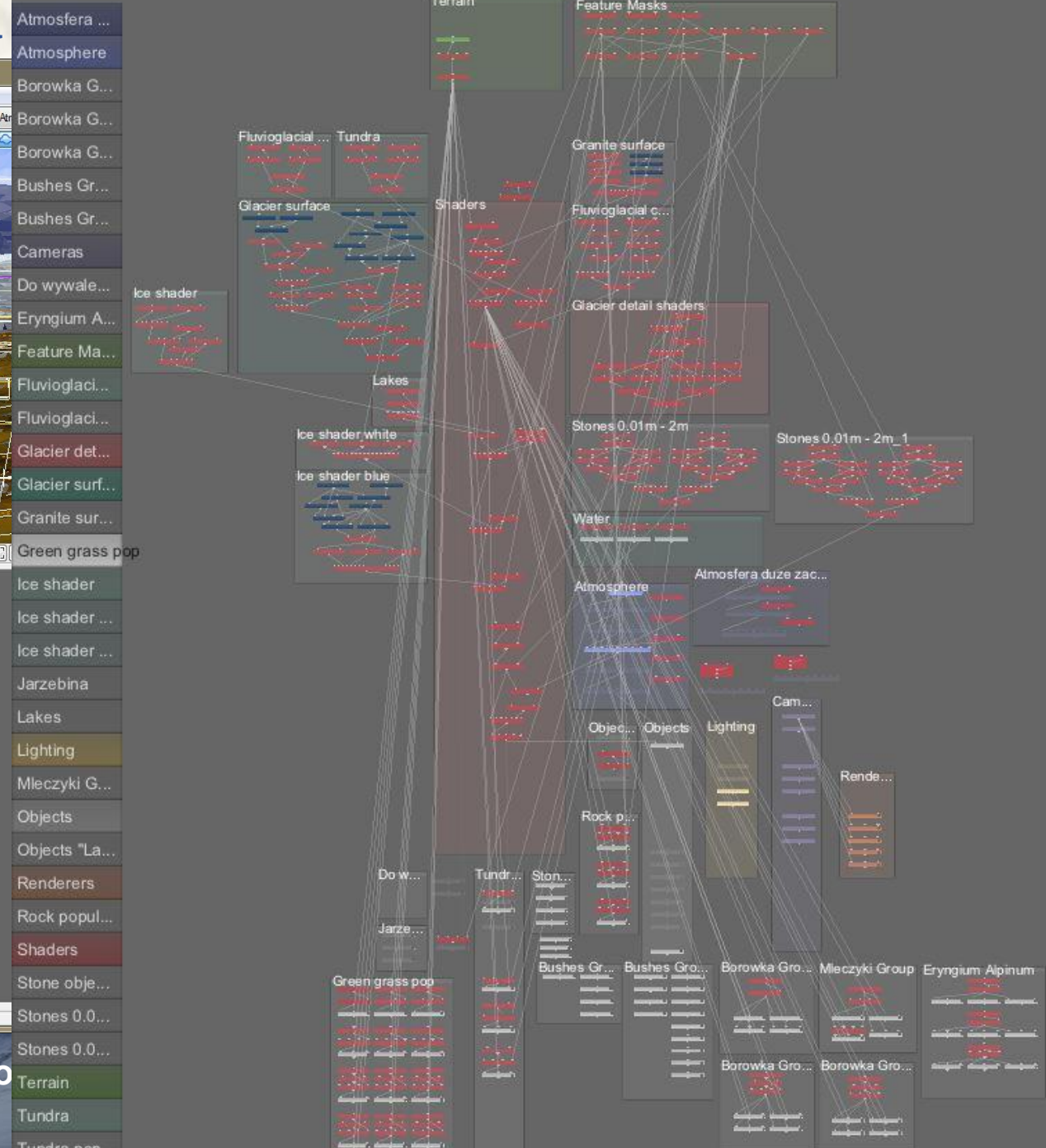
Dolina Białki podczas maksimum ostatniego zlodowacenia
Próba ujęcia wszystkich komponentów krajobrazu.

J. Zasadni & A. Świąder (2013)

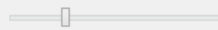
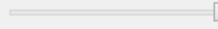
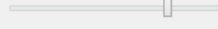
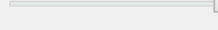
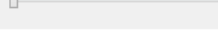
Schemat generowania

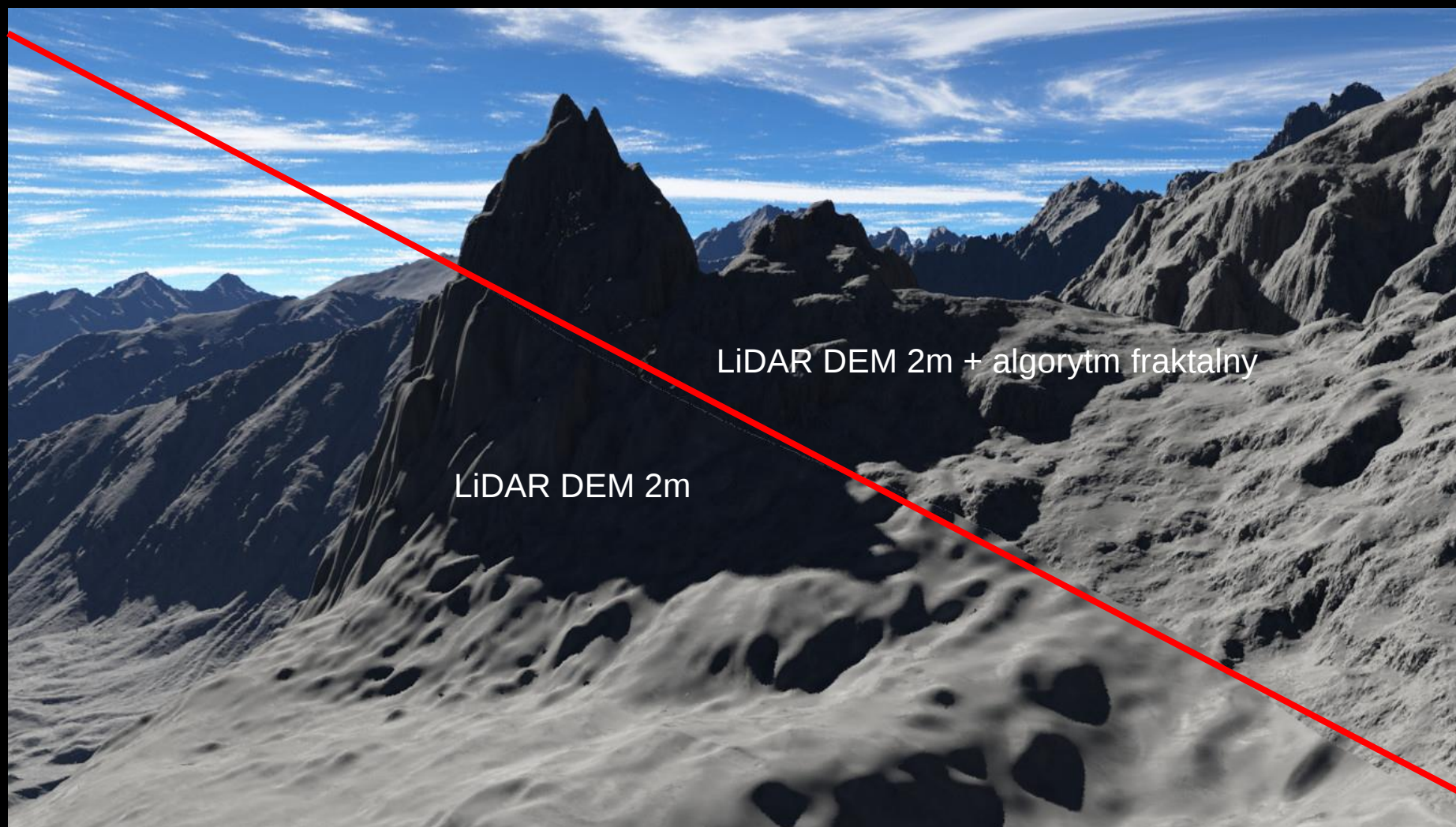


Możliwy jest jedynie uproszczo



Detale w obrębie piksela generowane przy użyciu fraktali.

Location	Colour	Displacement	Fractal Detail
☒ Add fractal detail			
Fractal amount		0.5	
Fractal scale adjust		4	
Fractal variation		1.5	
Fractal roughness		1	
Fractal flow factor		0	





Rysy

Mnich

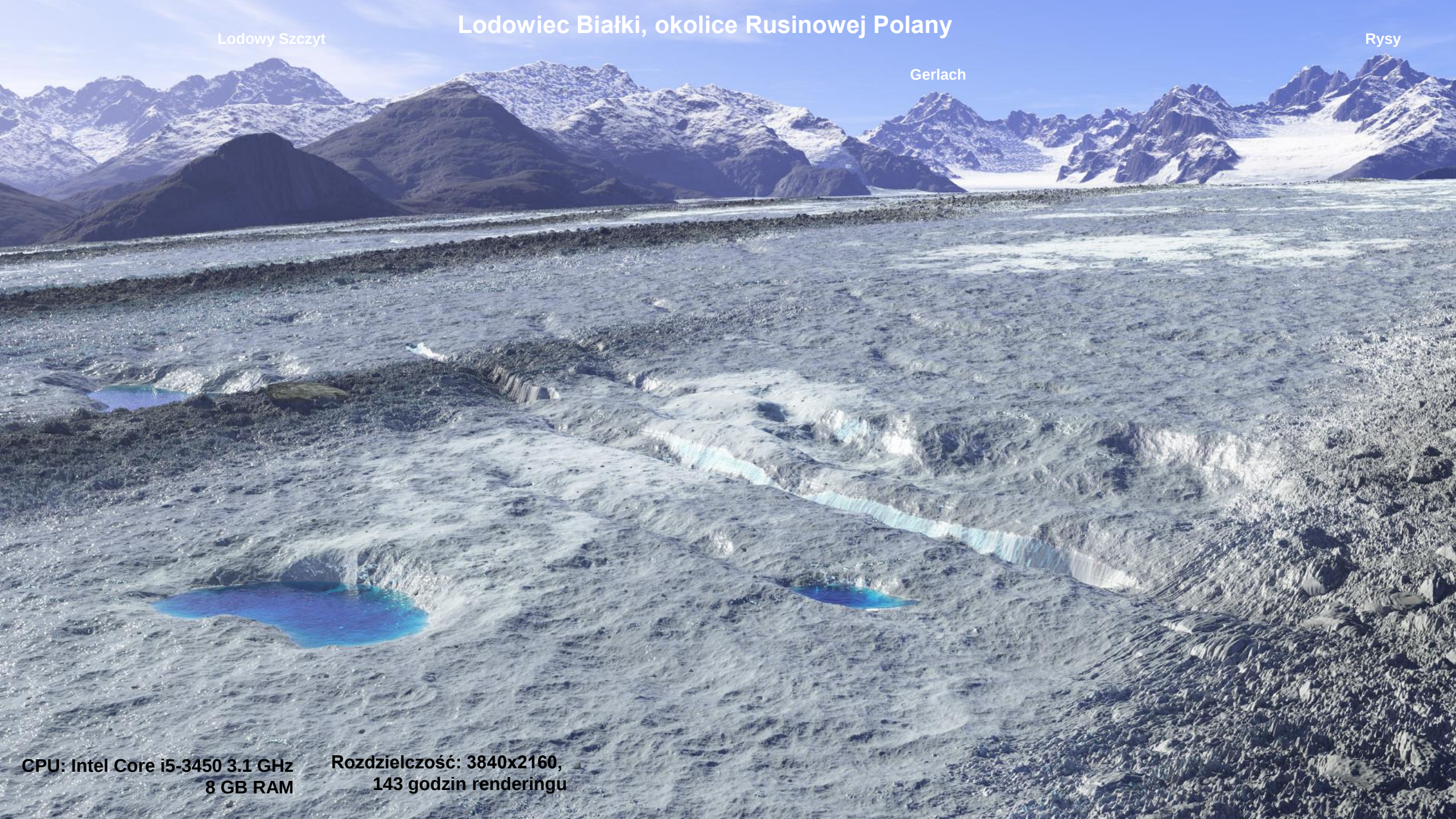
Okolice Morskiego Oka

Lodowy Szczyt

Lodowiec Białki, okolice Rusinowej Polany

Rysy

Gerlach

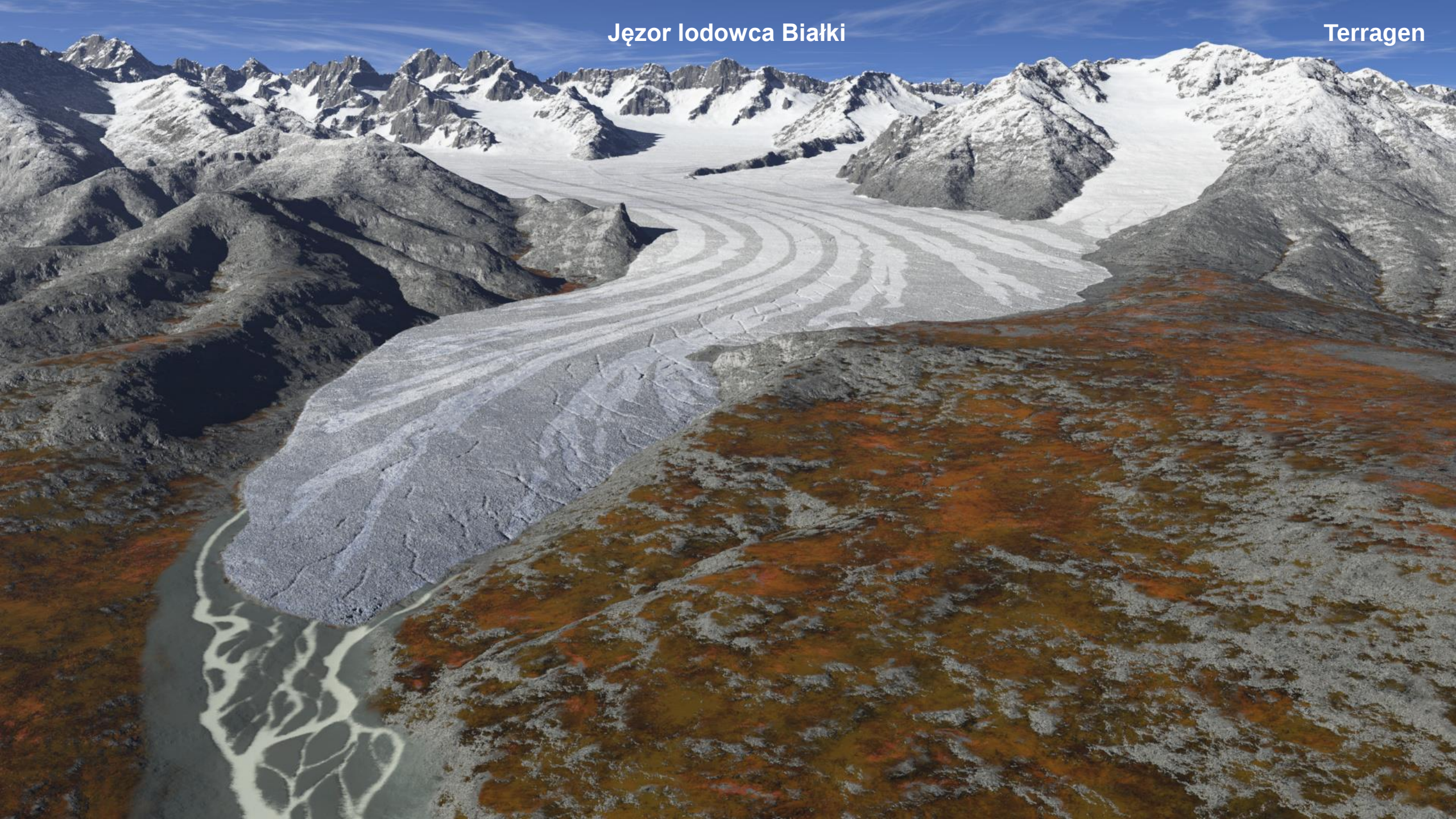


CPU: Intel Core i5-3450 3.1 GHz
8 GB RAM

Rozdzielczość: 3840x2160,
143 godzin renderingu

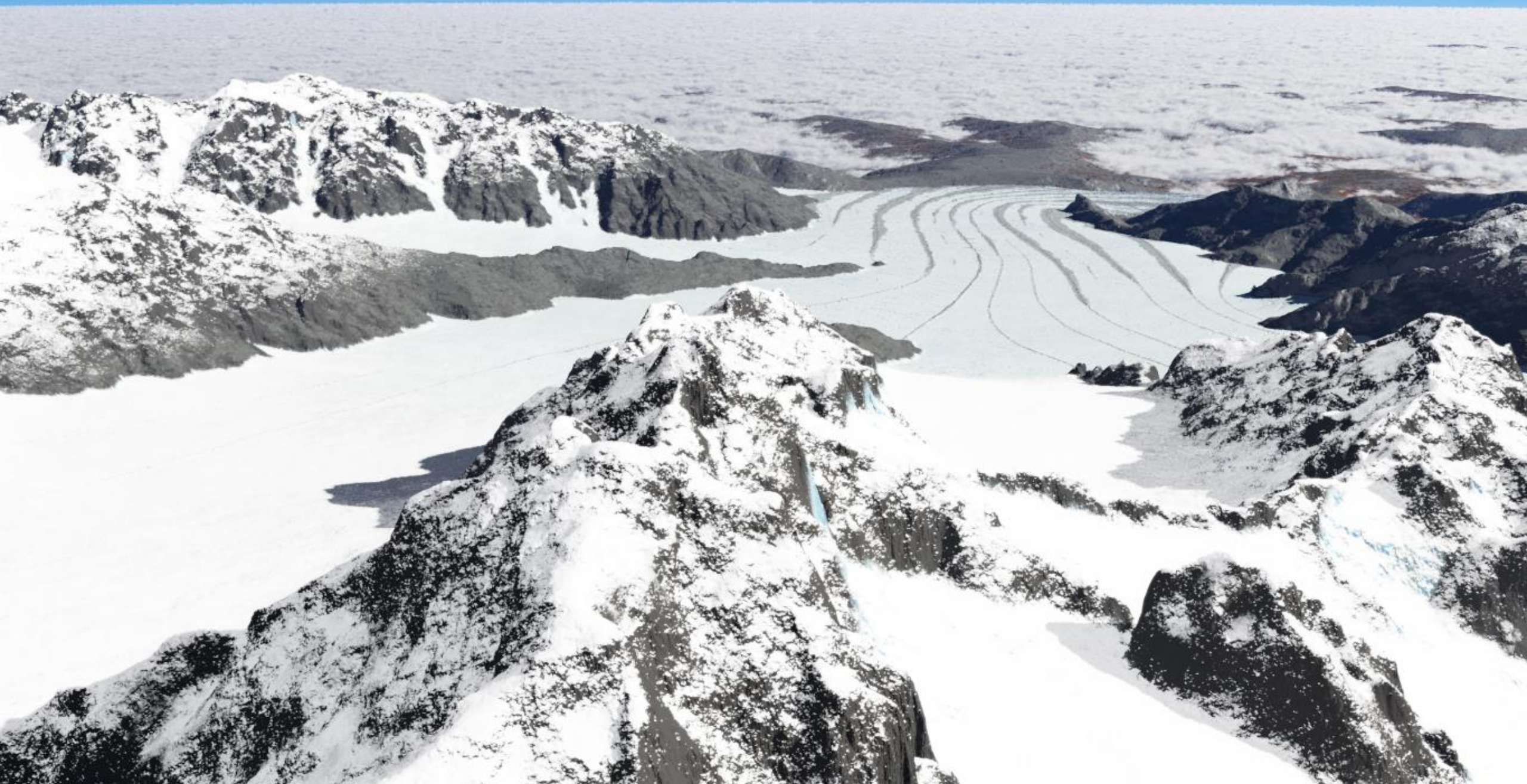
Jęzor lodowca Białki

Terragen



Widok z Rysów

Terragen



Terragen

Ganek

Rysy

Mięguszowieckie Szczyty

Morskie Oko

Dol. Rybiego Potoku



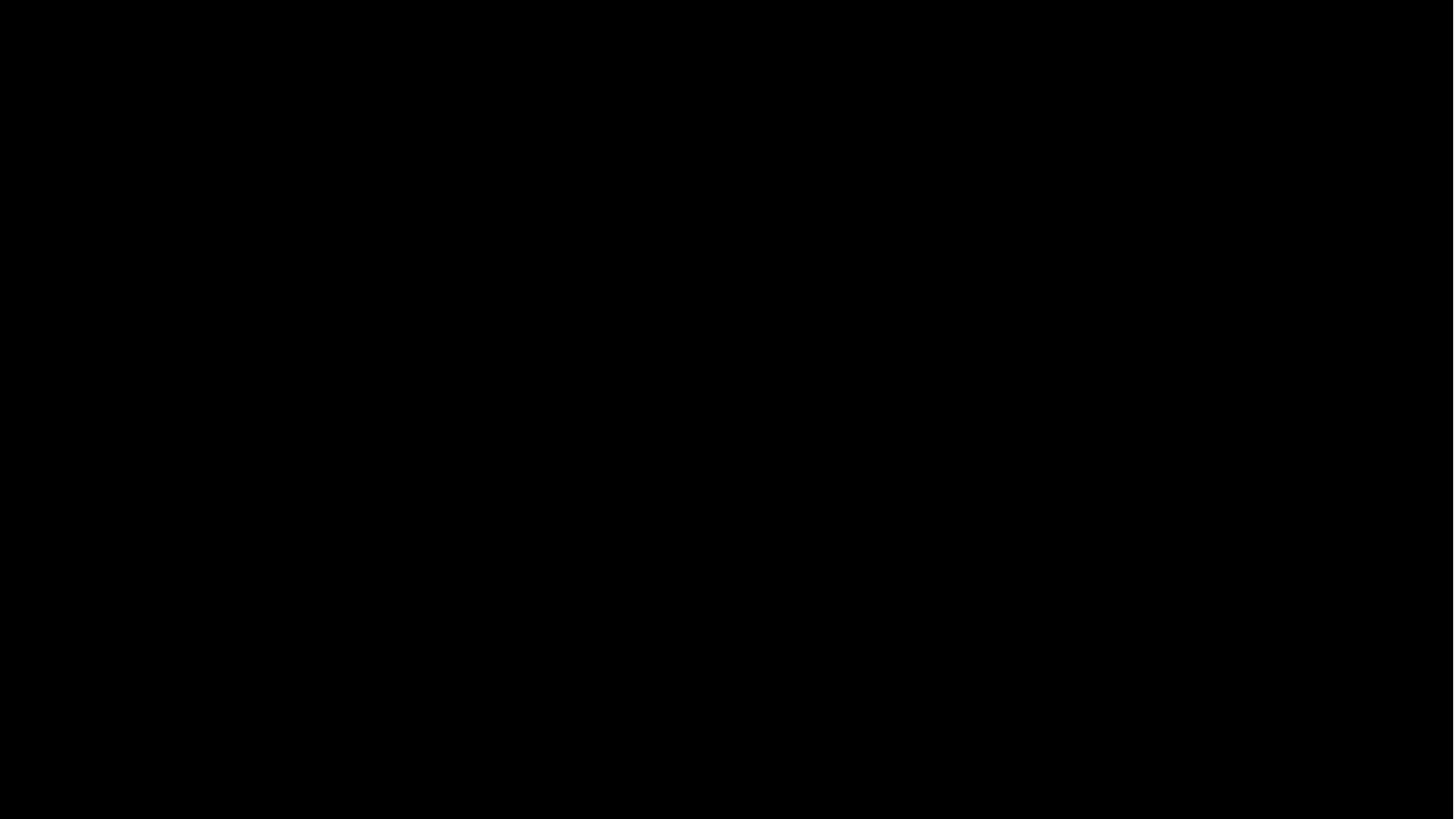
Dolina Rybiego Potoku



Łysa Polana - szata roślinna jak we współczesnym piętrze subalpejskim Tatr.



Łysa Polana – prawdopodobny wygląd zbiorowisk roślinnych w Tatrach podczas zlodowacenia.



Podsumowanie:

Zewnętrzne moreny w Tatrach powstały podczas LGM (26-18 tys. lat temu).

Rzeźba i stopień zwietrzenia odróżnia je od starszych pokryw morenowych (pre-LGM).

Wykonano rekonstrukcję 3D powierzchni lodowców tatrzańskich opartą o rozmieszczenie form glacialnych (moreny i podciosy) w środowisku GIS.

Podczas LGM obecnych było 55 lodowców – powierzchnia zlodowacenia 280 km², objętość 24,6 km³, średnia grubość ok. 90 m.

Na południowym skłonie Tatr Wysokich i w dolinie Suchej Wody obecne były lodowce pokryte gruzem.

Wykonano próbę odtworzenia krajobrazu lodowca Białki w środowisku programu Terragen (grafika fraktalna).

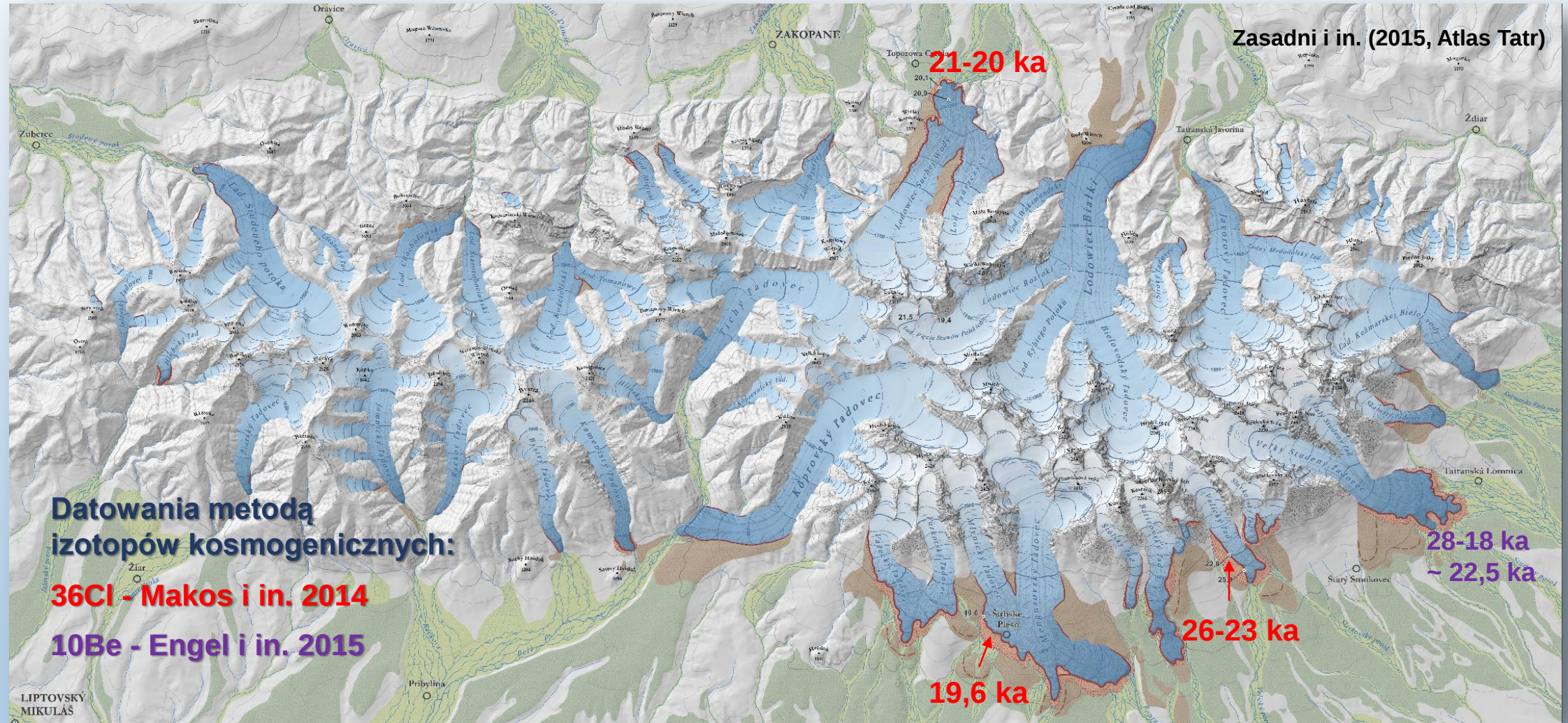




Dziękuję za uwagę

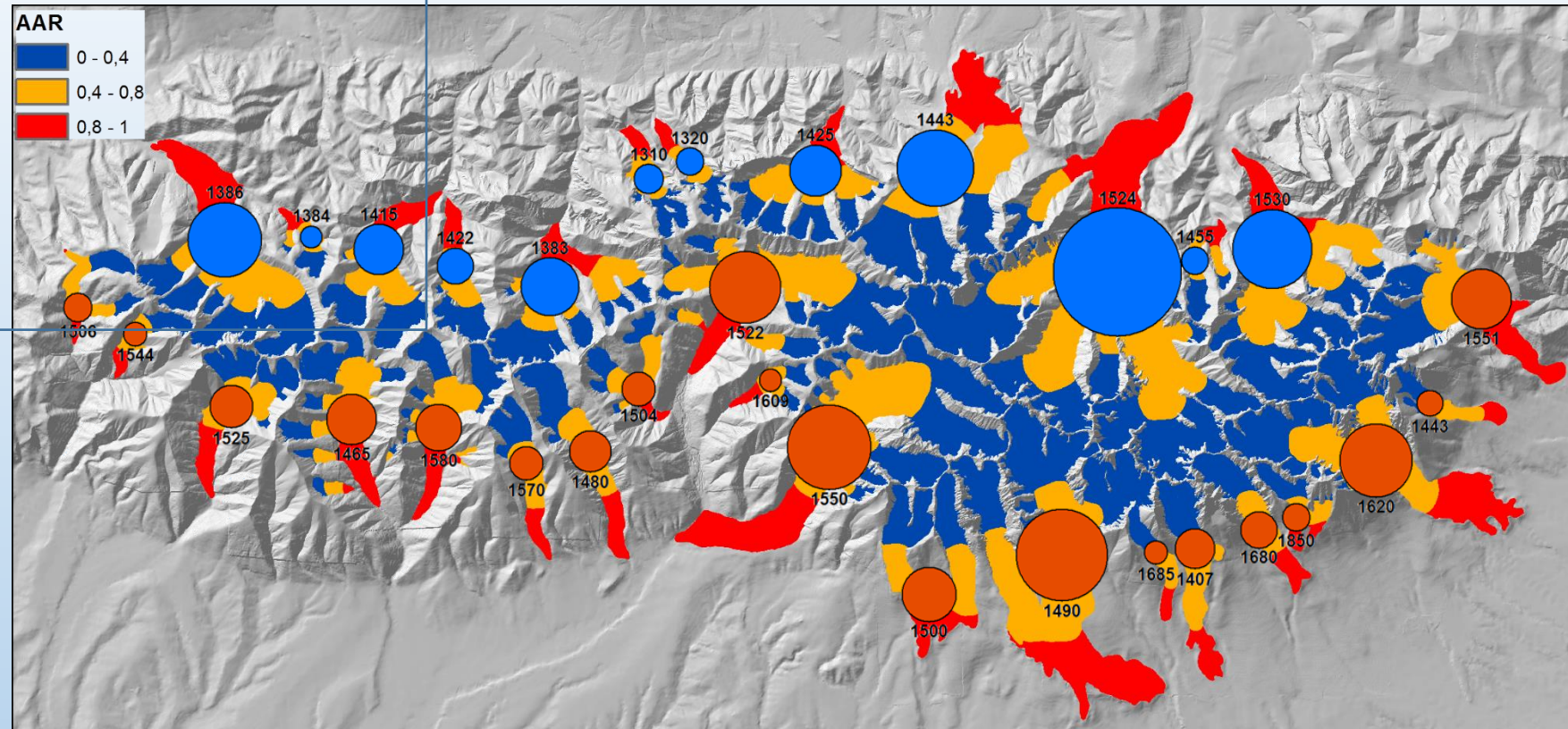
Zasadni & Świąder (2015, Atlas Tatr)

Wyniki datowania moren



Zewnętrzne „świeże” moreny powstały podczas LGM, 26-18 tys. lat temu.

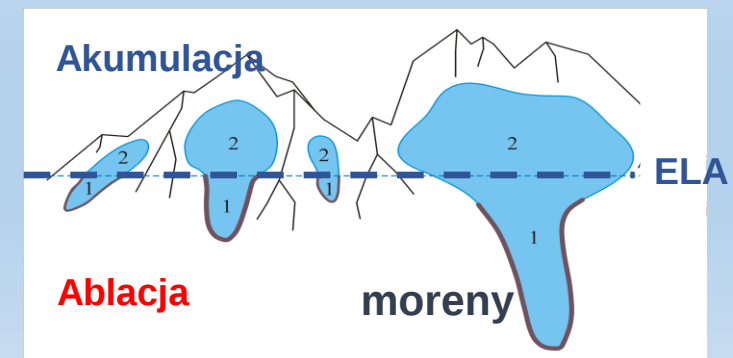
Rekonstrukcja granicy śniegu (ELA) implikacje paleoklimatyczne



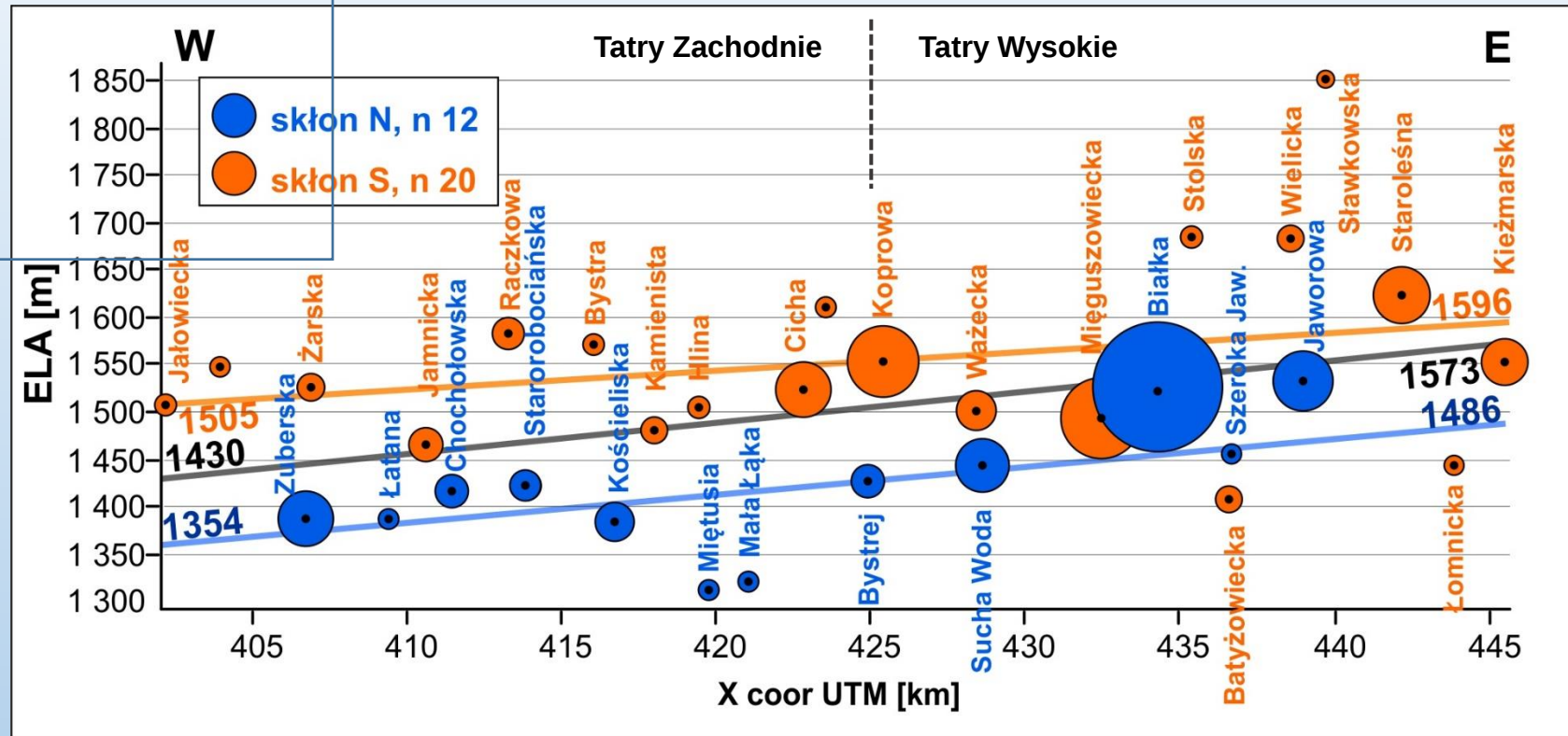
Rekonstrukcja linii równowagi bilansowej
(equilibrium line altitude - ELA) metodą AAR 0,67

*AAR 0,67 – powierzchnia akumulacji jest 2x większa
od powierzchni ablacji*

Wyniki dla 32 lodowców o powierzchni > 1 km²



Rekonstrukcja granicy śniegu (ELA) implikacje paleoklimatyczne



Średnia ELA dla obydwu skłonów Tatr to 1502 ± 110 m n.p.m. Asymetria N-S 138 m.

Wyraźnie zaznaczony trend podnoszenia ELA w kierunku wschodnim (35m/10km)

Wnioskowany wpływ zachodniej cyrkulacji atmosfery i orograficznie wymuszanych opadów.