



TRITRI

Tatry očami geológov

The Tatras through the eyes of geologists

Peter Reichwalder ◦ Natália Hudáčková ◦ Ján Madarás ◦ Andrej Ruman

„Kmeň náš, ktorý najstaršie prežisko Slovenou čisté doržau, zachovau v dolinách tichých svojich a neprístupných Tatier aj v reči to, čo všetkým Slovanom bolo za starodávna spoločnuo, čo ale potom kmeni časom jedni popremieňali, druhje potratili.“

Ľudevít Štúr: Nárečja Slovenskuo alebo potreba písania v tomto nárečí, 1846

TRITRI

Tatry očami geológov

TRITRI
The Tatras through the eyes of geologists

Autori / Authors		5
doc. RNDr. Peter Reichwalder, CSc.		
doc. Mgr. Natália Hudáčková, PhD.		
RNDr. Ján Madarás, PhD		
Mgr. Andrej Ruman, PhD.		
Recenzenti / Reviewers		15
prof. RNDr. Dušan Plašienka, DrSc.		
doc. RNDr. Jozef Hók, CSc.		
prof. RNDr. Daniela Reháková, CSc.		
Grafická úprava fotografií / Photo-editing		21
Mgr. Matej Kautman		
Preklad / Translation		27
Lance Arendt		
Andrej Ruman		
Náklad / Edition		35
200 ks		
Tlač / Print		43
KO & KA spol.s.r.o.		
Vydavateľstvo / Publisher		51
Slovenské národné múzeum / Slovak National Museum		
ISBN 978-80-8060-479-0		59
Fotografia na obálke / Font cover photo		65
Ján Madarás		
Tatry		
/ The Tatras		
Z hlbín Zeme (kryštalické jadro Tatier)		7
/ From the depths of the Earth (crystalline core of the Tatras)		
Horotvorné procesy		
/ Orogenic processes		
Štvrtohory – obdobie veľkých zmien		
/ Quaternary – a period of immense changes		
Stopy života		
/ Traces of life		
Tatranský dinosaurus		
/ The Tatra dinosaur		
Voda do dvoch morí		
/ Water into two seas		
Človek v Tatrách		
/ Man in the Tatras		
Nešťastie chodí po horách		
/ Misfortune walks the mountains		
Zlato nezlatô		
/ Not only gold has a value		
Prečo sú Tatry najvyššie?		
/ Why are the Tatras the highest?		
Otváracie slovo výstavy Tritri v Slovenskom Národnom Múzeu (záverečné slovo knihy)		73
/ Opening word of the exhibition Tritri in the Slovak National Museum (closing word of the book)		
Poděkovanie		91
/ Acknowledgement		
Literatúra		97
/ References		



Tatry (Tritri = slovo slovanského pôvodu označujúce skalné bralá) aj napriek svojej malej rozlohe a nevelkej nadmorskej výške sa v ničom nemusia hanbiť pred mnohými svetovými veľhorami. Oprávne sú označované ako najmenšie veľhory na svete – naše slovenské veľhory. Dnešný majestátny a malebný vzhľad Tatier, ktoré ako vzácny prírodný klenot trónia vysoko nad okolitými horstvami a kotlinami Liptova a Spiša, je výsledkom stoviek miliónov rokov vzájomného súperenia vnútorných a vonkajších geologických činiteľov. Energia potrebná na vytvorenie tejto nádhernej prírodnej architektúry pochádza z procesov, ktoré sa odohrávali vo vnútri planéty, alebo z geologických procesov poháňaných slnečnou energiou, pôsobiacich predovšetkým na jej povrchu. Pokým dospeli do súčasnej podoby, striedavo boli vysokým horstvom, zarovnanou súšou, ale aj dnom plytkých či hlbších morí, v ktorých sa ukladali morské usadeniny a zakrývali zvyšky odumretých organizmov a stopy po ich živote. Tieto dnes často nachádzame v horninách ako skameneliny. Počas miliónov rokov boli usadeniny postupne zmenené na pestrý súbor viac, alebo menej premenených hornín, ktoré spolu s hlbinnými horninami granitového zloženia tvoria základný stavebný materiál dnešnej veľkolepej geologickej stavby. Je však potrebné pripomenúť, že miesto ich vzniku sa mohlo nachádzať aj vo veľmi vzdialených oblastiach. Podobne ako materiál historických stavieb bol ich tvorcami často dovezený z rôznych nálezisk, tak aj tektonické sily vyvolávané pohybom litosférických dosiek postupne presúvali stavebné bloky tatranskej skladačky počas geologickej história a zakomponovali ich do súčasnej prírodnej architektúry Tatier (Nemčok et al., 1993, 1994). Architektonické a umelecké diela postupne vznikajúce v rôznych obdobiach histórie sa odlišujú svojim slohom, rovnako aj jednotlivé geologické obdobia zanechali v prírodnej architektúre Tatier svoj rukopis. Geológovia sa snažia rôznymi výskumnými metódami dešifrovať a pochopiť zložitú geologickej história, ktorá vytvorila tento unikátny prírodný klenot. Jednou z metód geologickej práce je dokumentovanie a hľadanie prejavov geologických procesov prostredníctvom kresieb a fotografií geologických objektov. Geofotografia je motivovaná vedeckým skúmaním, často sa však prekryva s dokumentaristickým, alebo až umeleckým štýlom.

Panoráma južných svahov Tatier. Foto: Ján Madarás.



The Tatras (Tritri = a word of Slavic origin referring to rocky cliffs), despite their small size and modest altitude, need not feel overshadowed by world-famous mountains. They are often referred to as the smallest „big“ mountains in the world. Today's majestic and picturesque appearance of the Tatras, which like a precious natural gem sit high above the surrounding mountains and basins of the Liptov and Spiš regions, resulted from hundreds of million years of competition between the endogenous and exogenous geological forces. The energy needed to create this beautiful natural architecture comes from processes that took place inside our planet, or from geological processes driven by the solar energy, acting primarily on the Earth's surface. These sediments covered and buried the remains of organisms and the tracks they left. Before they developed into their present form, they alternated between the shape of high mountains, plains, as well as the bottom of shallow or deeper seas where sediments deposited and covered the remains of dead organisms and traces they left. Today, these remains are often found in rocks in the form of fossils. Over millions of years, the sediments have been gradually transformed into a diverse set of more or less metamorphosed rocks, which, together with the deep magmatic rocks of the granite composition, constitute the basic building material of the today's magnificent geological structure. However, it should be noted that their place of origin could have been located in very remote areas. Similar to how the material of historical buildings is often transported from various sites by the builders, the same way the tectonic forces induced by movements of lithospheric plates gradually transported the building blocks of the “mountain jigsaw-puzzle” over the geological history and incorporated them into the current natural structure of the Tatras (Nemčok et al., 1993, 1994). Architecture and artworks created in different periods differ in their style and, similarly, the individual geological periods left their own imprint upon the Tatras. Using various scientific methods geologists try to decipher and understand the complex geological history that created the natural beauty of the Tatras. One such approach is documenting and unveiling pieces of evidence of geological processes through drawings and photographs of geological objects. Geophotography primarily motivated by scientific intention often overlaps with documentary or even artistic view.

Panorama of the southern slopes of the Tatras. Photo: Ján Madarás.

Z hlbín Zeme (kryštalické jadro Tatier)

Kryštalické jadro (kryštalínikum) Tatier tvorí pestrá škála v hĺbke utuhnutých a premenených hornín. Ich chemické a minerálne zloženie, vzájomné usporiadanie minerálov v horninách, teda ich petrologický charakter, umožňuje poohaliť prostredie a procesy, ktoré v dlhodobej geologickej histórii prispeli k ich súčasnej podobe. Jeho zložitá vnútorná stavba je výsledkom dlhodobého vývoja premeny hornín a ich deformácií, ktoré sa odohrávali väčšinou vo veľkej hĺbke pred viac ako 300 miliónmi rokov počas paleozoika (prvohôr). Najvýznamnejšie geologicke procesy v kryštalíniku Tatier boli teda súčasťou varískeho horotvorného cyklu, ktorý bol ukončený koncom mladšieho paleozoika (vrchného karbónu a permu), kedy došlo k spojeniu väčšiny kontinentálnych častí navzájom sa pohybujúcich litosférických dosiek do superkontinentu Pangea.

Kryštalické jadro Tatier tvorí podklad, na ktorom sa usadzovali druhohorné, väčšinou morské usadeniny. Vďaka dlhotrvajúcim tektonickým procesom boli prekryté celými horninovými komplexmi usadenými vo vzdialených častiach dávnych morí presunutými vo forme príkrovov (krížanský, chočský príkrov). Tatry tvoria zlomami ohraničenú a tektonicky (v období mladých treťohôr) relatívne vysoko vyzdvihnutú kryhu (Králiková et al., 2014), obklopenú súvrstviami usadenín paleogénneho (starotreťohorného) veku, ktoré tvoria sedimentárnu výplň podtatranských kotlín a podhorských brázd.

Vysokým teplom a tlakom premenená hornina – migmatit. Žiarska dolina. Foto: Ján Madarás.

From the depths of the Earth (crystalline core of the Tatras)

The crystalline core (crystalline basement) of the Tatras is composed of a diverse spectrum of magmatic and metamorphic rocks. Their chemical and mineral composition, the mutual arrangement of minerals in rocks, thus their petrological character allows revealing the environment and long-lasting geological processes that have contributed to their current form. Its complicated internal structure is the result of a long-term formation, alteration, and deformation of rocks, which took place largely at a great depth more than 300 million years ago, during the Paleozoic era. The most important geological processes in the crystalline basement of the Tatras were part of the Variscan orogeny, which terminated at the end of the late Paleozoic (Late Carboniferous and Permian), when majority of the continental parts of lithospheric plates were joined to form of the Pangea supercontinent.

The Tatra crystalline rocks form the base on which the Mesozoic, mostly marine sediments deposited. Due to long-lasting tectonic processes, they were covered by rock complexes originated in distant parts of the prehistoric seas that moved here in the form of tectonic nappes (Krížna nappe, Choč nappe). The Tatras, bounded by faults, formed a relatively high tectonically elevated block (Králiková et al., 2014), during the Neogene (Late Tertiary), surrounded by Paleogene (Early Tertiary) sequences filling the surrounding basins and depressions.

Migmatite – rock originated in both high-temperature and high-pressure metamorphism. Žiarska dolina Valley. Photo: Ján Madarás.

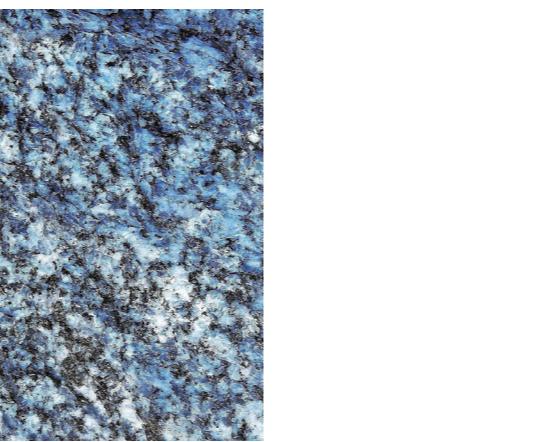




1. Geológovia pri odbere vzoriek zo steny Gerlachovského štítu. / Geologists taking samples from the wall of the Gerlach peak. Foto / Photo: Ján Madarás.

2. Žula (granit) - vyvretá hornina stará 350 miliónov rokov. / Granite – an igneous rock 350 million years old. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

3. Mikrofotografia žuly (sluda, kremeň, živec) z vrcholu Gerlachu (modré zrno je široké 1 mm). / Microphoto of granite (mica, quartz, feldspar) from Gerlach peak (blue grain is 1 mm wide). Foto / Photo: Milan Sýkora.



1. Povrch granitového masívu zbrúseného a ohladeného ľadovcom počas štvrtohôr. / Surface of granite massif grinded and polished during Quaternary by glacier. Pod Batizovským plesom. / Under the Batizovské pleso Tarn. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. Žula - stavebný materiál hôr aj architektov. / Granite - building material of both mountains and architects. Tatranské Zruby. / Tatranské Zruby Settlement. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

3. Odhalená ľadovcová moréna v objatí koreňov stromu. / Exposed glacial moraine in a tree roots embrace. Tatranská Polianka. / Tatranská Polianka Settlement. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

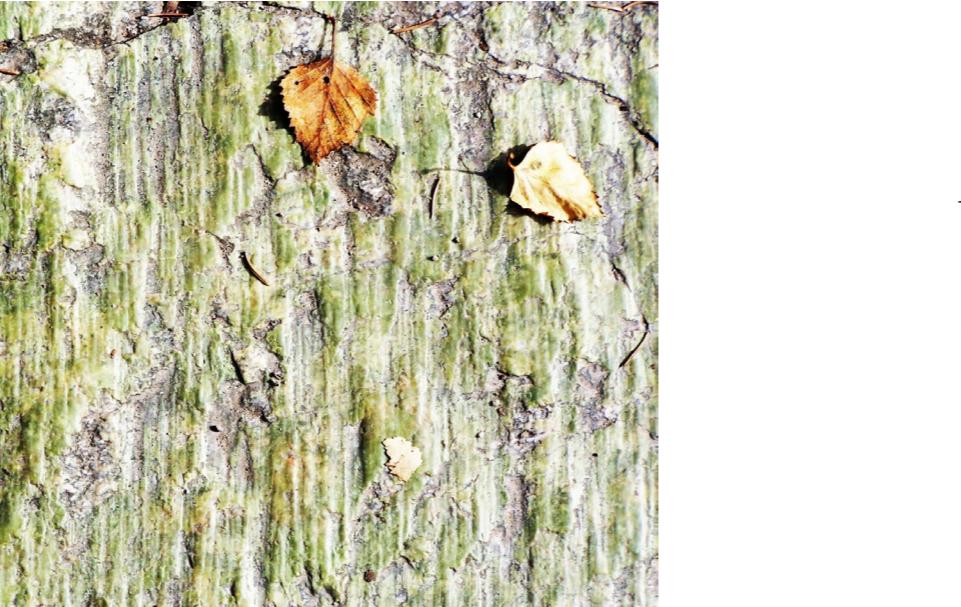


1. Erlán - hornina dokazujúca premenu vápenca žulovou magmou. / Erlan - a lime-silicate rock evidencing the conversion of limestone by granite magma. Gerlachovský štít. / Gerlach peak. Foto / Photo: Ján Madarás.
2. Sedimentárna hornina (vápenec) z dna druhohorného mora. / Sedimentary rock (limestone) from the bottom of Mesozoic sea. Belianske Tatry. / Belianske Tatry Mts. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. „Tektonické zrkadlo“ pokryté epidotom a chloritom. / "Slickenside" covered with epidote and chlorite. Velická dolina. / Velická dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

1

2

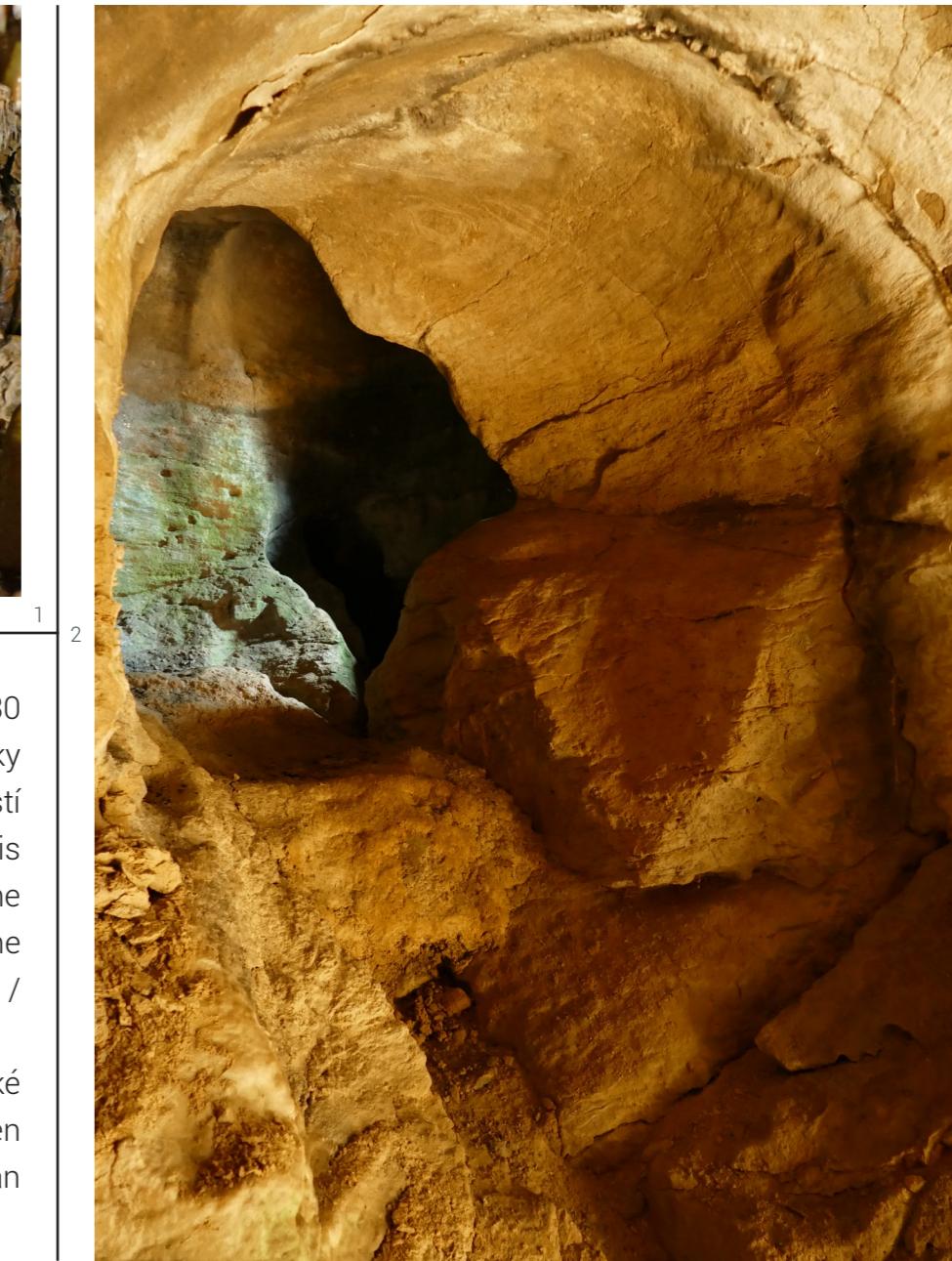
3

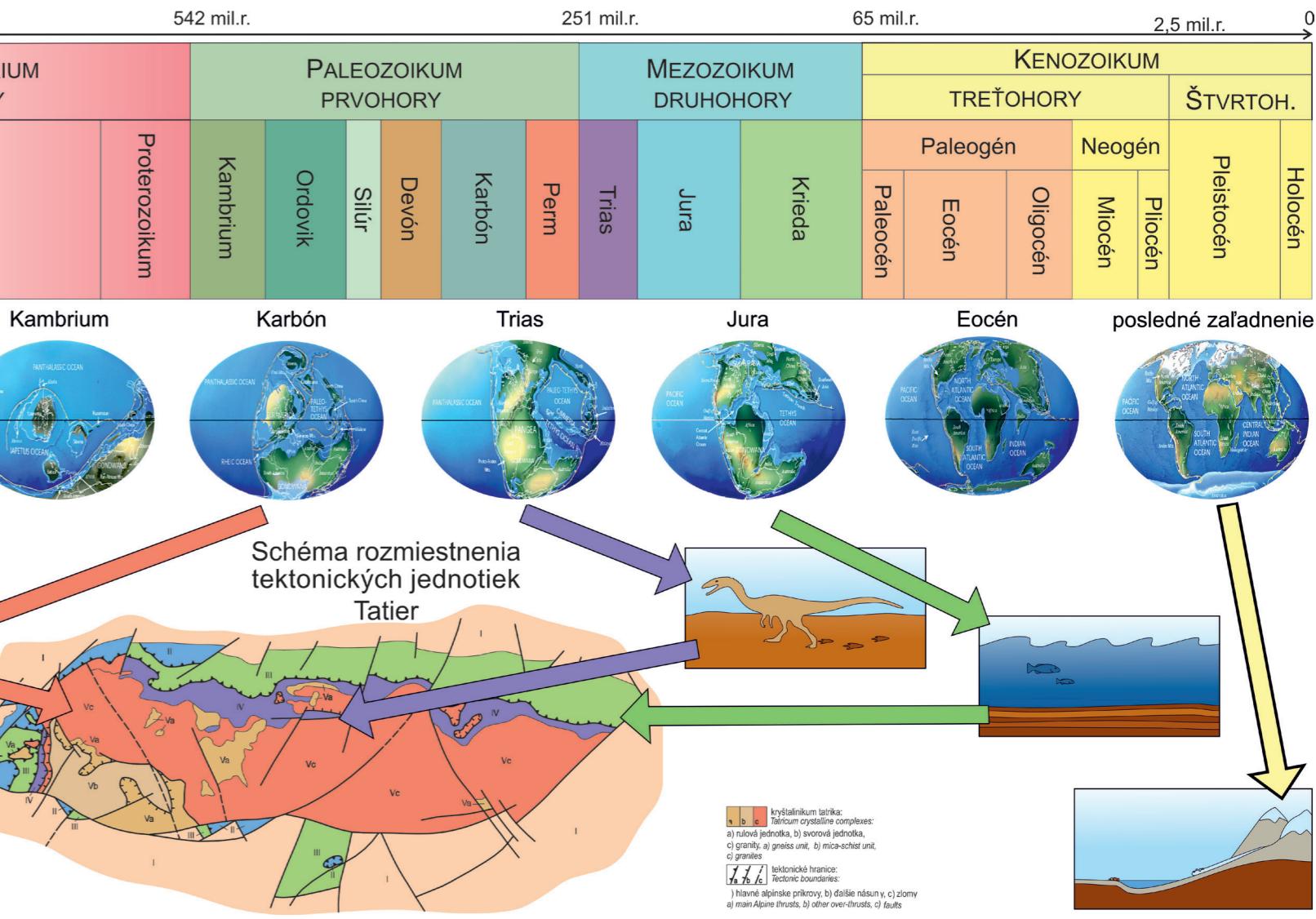


1

2

1. Važecká jaskyňa - Čarovná záhradka. Jaskyňa s dĺžkou 530 m je vytvorená v druhohorných vápencoch tektonickej jednotky hronikum. Má bohatú kvapľovú výzdobu a početné nálezy kostí jaskynných medveďov. / Važecká Cave - Miraculous Garden. This 530 m long cave is formed in the Mesozoic limestones of the Hronicum tectonic unit. It is known by occurrence of rich dripstone decoration and remarkable findings of cave bear bones. Foto / Photo: Ján Madarás.
2. Kolko neobjavených krasových fenoménov skrýva tatranské podzemie? / How many undiscovered karst phenomena are hidden in the Tatra underground? Štrba. / Štrba Village. Foto / Photo: Ján Madarás.





Stratigrafická tabuľka a schéma vývoja tatranského paleoprostredia. / Stratigraphic chart and scheme of development of the Tatras paleoenvironment.

Horotvorné procesy

Tatry, ako súčasť Karpát, sú malým ohnivkom v dlhej horskej reťazi (Alpsko-himalájskeho horského pásma) rozprestierajúcej sa v Eurázii a zahrňajúcej Alpy, Karpaty, Balkán, Kaukaz, Pamír, Čan-šan a Himaláje. Zložitý horský oblúk vznikal 200 miliónov rokov počas mezozoika (druhohôr) a terciéru (treťohôr) v priestore dávneho oceánu Tethys. Litosférické dosky (africká, arabská, indická) pôvodného južného superkontinentu (Gondwana), poháňané mechanizmom platňovej tektoniky, sa pohybovali k severu a postupne uzatvárali priestor oceánu. Ich finálny náraz na južný okraj eurázijského kontinentu viedol ku vzniku horského pásma – veľmi zložitej vrásovo-násunovej (príkrovovej) stavby a k výraznému zhrubnutiu zemskej kôry v tejto zóne. Tatry sa rozprestierajú v oblasti najväčšieho vyklenutia karpatského oblúka k severu, kde toto pohorie v dôsledku tektonickej pozície a geologickej stavby dosahuje najväčšie nadmorské výšky, čím Vysoké Tatry získavajú najvýraznejší vysokohorský charakter zo všetkých pohorí Karpát.

Tatry započali svoj výzdvih pred 10 miliónmi rokov. Foto: Ján Madarás.

Orogenic processes

The Tatras, as a part of the Carpathians, create a small link in the long Alpine-Himalayan mountain chain, located in Eurasia, including the Alps, Carpathians, Balkans, Caucasus, Pamir, Tian Shan, and the Himalayas. This complex mountain chain was formed over 200 million years during the Mesozoic and Tertiary, born from the ancient Tethys Ocean realm. The lithospheric plates (African, Arabian, Indian) of the southern Gondwana supercontinent, driven by the plate tectonics processes, moved northwards and gradually closed up the ocean. Their final collision with the southern edge of Eurasia led to the formation of a mountain range – a very complex fold-and-thrust structure and created significant thickening of the Earth's crust in this area. The Tatras are situated in the point of the northernmost salient of the Carpathian arch, where this mountain range reaches the highest altitude due to its tectonic position and geological structure, which gives the High Tatras the most outstanding alpine characteristics of all Carpathian mountains.

The Tatras began their uplift 10 million years ago. Photo: Ján Madarás.





1

2

1. Zvrásnená ortorula v Západných Tatrách je staršia ako tatranská žula. Má vek okolo 500 miliónov rokov. / Folded orthogneiss in the Západné Tatry Mts. is older than the Tatra granite. It is about 500 million years old. Foto / Photo: Ján Madarás.
2. Tatranské štíty vyzdvihnuté nad Popradskú kotlinu pozdĺž podtatranského zlomu. / The Tatra peaks uplifted above the Poprad Basin along the Sub-Tatra Fault. Foto / Photo: Ján Madarás.



1

2

3

1. Visuté ľadovcové údolia (trógy) nad Dolinou Zeleného plesa. / Hanging glacial valleys (troughs) above the Dolina Zeleného plesa Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Tektonikou a ľadovcom modelovaný svah Mengusovskej doliny. / The slope of Mengusovská dolina Valley modeled by tectonics and glacier. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Bridličnatosť hornín predisponuje gravitačné rozdvojovanie hrebeňov. / Foliation predisposes gravitational bifurcation of the ridges. Račkovo sedlo v Západných Tatrách. / Račkovo saddle in the Západné Tatry Mts. Foto / Photo: Radoslav Biskupič.



1

2



1

2

3



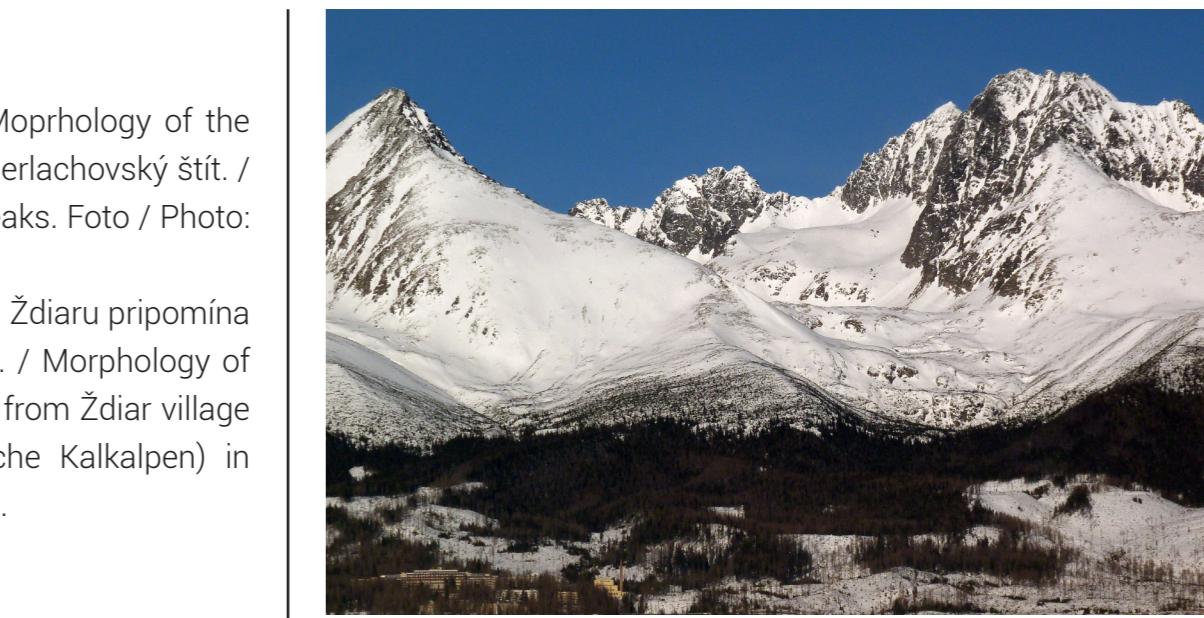


1. „Tektonické zrakadlo“ - trením vyhladená zlomová plocha. / "Slickenside" - fault surface smoothed by friction. Velická dolina. / Velická dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Bešeňovský travertín vytvorený výverom mineralizovanej vody pozdĺž podtatranského zlomového systému. / Bešeňová travertine formed by the mineralized water seepage along the Tatra fault system. Foto / Photo: Ján Madarás.
3. Pseudotachylit - sklo dokazujúce zemetrasenia v minulosti. / Pseudotachylite - glass proving ancient earthquakes. Okolie Batizovského plesa. / Batizovské pleso Tarn vicinity. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

1

2

3



1. Morfológia ľadovcového údolia tvaru „U“. / Morphology of the U-shaped glacial valley. Končistá, Batizovský a Gerlachovský štít. / Končistá, Batizovský štít and Gerlachovský štít peaks. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Morfológia vápencových Belianskych Tatier od Ždiaru pripomína Severné vápencové Alpy v Rakúsku a Nemecku. / Morphology of the carbonate rocks of the Belianske Tatry Mts. from Ždiar village remind the Northern Calcareous Alps (Nördliche Kalkalpen) in Austria and Germany. Foto / Photo: Ján Madarás.

1

2



Štvrtohory – obdobie veľkých zmien

Obdobie štvrtohôr zaberá v geologickej história len nepatrny časový úsek, no napriek tomu sa veľmi výrazne podpísalo na súčasnej geologickej a najmä geomorfologickej podobe Tatier. Zatiaľ čo pred štvrtohorným obdobím sa postupne formovala a niekoľkokrát prestavovala ich hrubá stavba, za dnešnú majestátnosť a prekrásne vysokohorské scenérie vďačia Tatry predovšetkým procesom spojeným s činnosťou ľadovcov počas štvrtohôr. Tektonické procesy poháňané energiou zo zemskeho vnútra neustále dvíhali vrcholy Tatier do čoraz väčších výšok už počas treťohôr. Súčasne prebiehajúce exogénne geologické procesy (ľadovcová, vodná a veterná erózia) sa ako dláto rezábala zarývali stále hlbšie do tela horského masívu a vytvárali na ňom prekrásne skulptúry neopakovateľných geomorfologických tvarov. Úlomkový materiál, ktorý vznikal pri tomto modelovaní, gravitačná sila za pomoci ľadu a vody rozmiestňovala v podobe kamenných sutín, riečnych vejárov, ľadovcových morén či kamenných morí, na svahoch a na dne vysokohorských dolín. Prebytočný materiál bol vynášaný v podobe terminálnych (koncových) morén a ľadovcovo-riečnych sedimentov ďaleko do predpolia Tatier. Okolo vznikajúcej kvartérnej stavby Tatier sa vytvárala pôsobivá terénnna úprava s prekrásnou vegetačnou pokrývkou, prispôsobenou zloženiu geologickeho (pôdneho) substrátu.

V Tatrach sa nachádza takmer 150 plies. Nižné Wahlenbergovo pleso. Foto: Peter Reichwalder.

Quaternary – a period of immense changes

The Quaternary period occupies only a tiny interval in geological history; nevertheless, it has strongly imprinted the current geological and geomorphological appearance of the Tatras. Whereas their base structure was gradually formed before the Quaternary and rebuilt several times, the beautiful sceneries that we see in today's Tatra are owed to the process associated with the activity of the Quaternary glaciers. Tectonic processes driven by energy from the Earth's interior constantly uplifted the Tatra's peaks already during the Tertiary. Simultaneously, the ongoing exogenous geological processes (glacial, water, and wind erosion), acted as a carver's chisel, and cut deeper into the body of the mountain massif, creating beautiful sculptures of exclusive geomorphological shapes on the Tatras. Gravitational force, in cooperation with ice and water, distributed the fragmentary material created by this erosion all over the slopes and mountain valleys in the form of stone debris, river fans, glacial moraine, and stone seas. Excess material in the form of terminal moraines and glacio-fluvial sediments were carried away into the Tatra foreland. These processes created very impressive landscape surrounding the emerging Quaternary Tatras formation, which was also adorned by beautiful vegetation cover of plant communities that had adapted to the composition of the geological (soil) substrate.

Over the 150 tarns are situated in the Tatras. Nižné Wahlebergovo pleso Tarn. Photo: Peter Reichwalder.



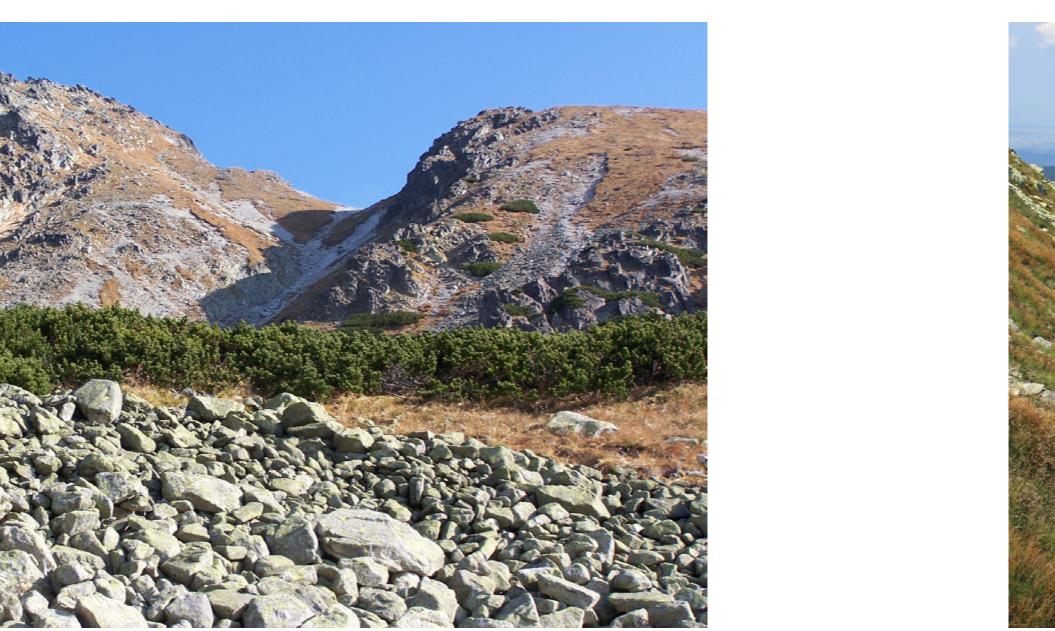
1. Zosuv z roku 1813, kedy prietŕž mračien odhalila usadeniny z ľadových dôb. / A landslide of 1813 caused by a cloudburst revealed deposits of ice age. Tatranská Polianka - Žltá stena. / Tatranská Polianka - Yellow Wall. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Skalná suť nesená ľadovcom sa nazýva moréna. / Debris carried by the glacier is called moraine. Štrbské Pleso. / Štrbské Pleso Tarn. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Kamenné more - nahromadenie balvanov bez vegetácie. / A blockfield - an accumulation of boulders without vegetation. Furkotská dolina. / Furkotská dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.



1

2

3

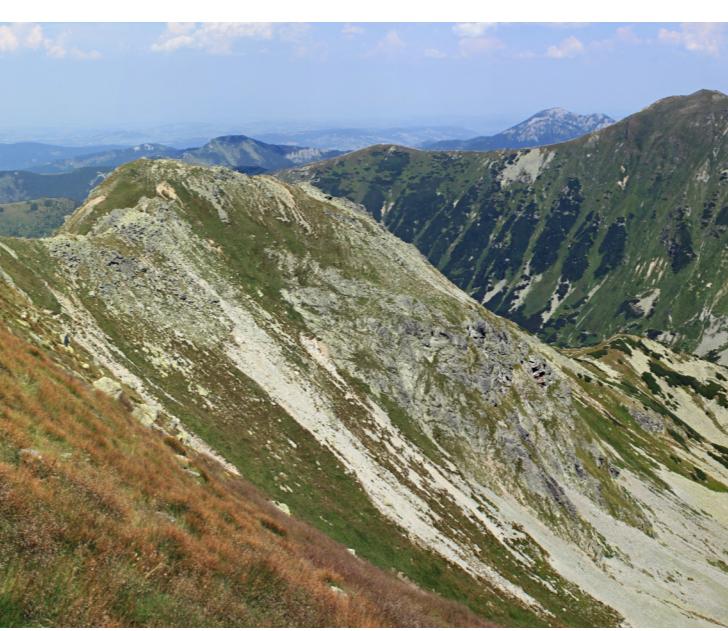


2

3



1



2

3

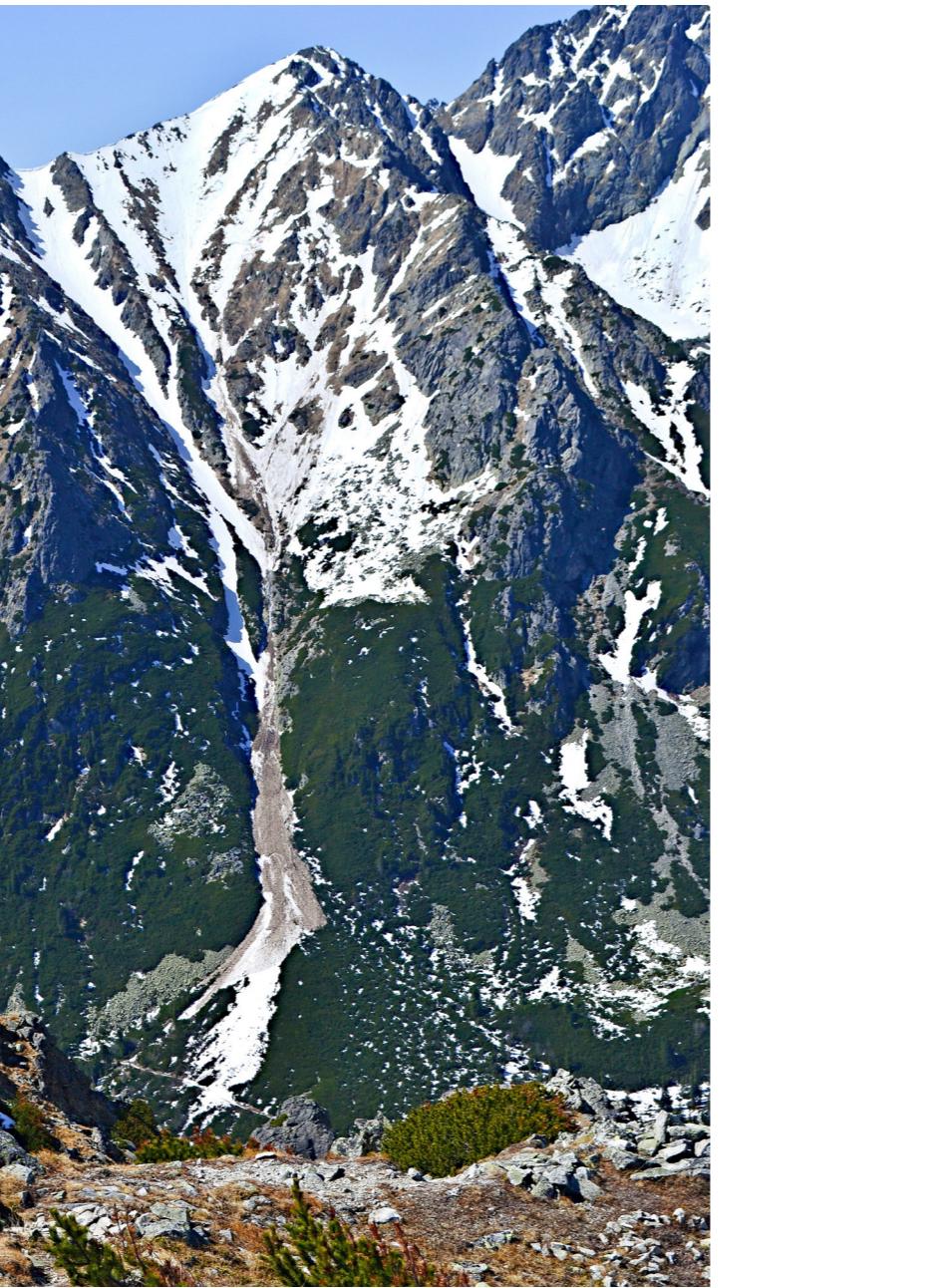
1. Nunatak Hrubá veža, ktorý z oboch strán obklopoval ľadovec. / Hrubá veža nunatak was surrounded the glacier on both sides. Bielovodská dolina. / Bielovodská dolina Valley. Foto / Photo: Radoslav Biskupič.
2. Hoci ľadovce zmizli pred necelými 10 000 rokmi, typicky tvarované údolia ostali. / Although the glaciers disappeared circa 10,000 years ago, typically shaped valleys remained. Smutná dolina v Západných Tatrách. / Smutná dolina Valley in the Západné Tatry Mts. Foto / Photo: Ján Madarás.



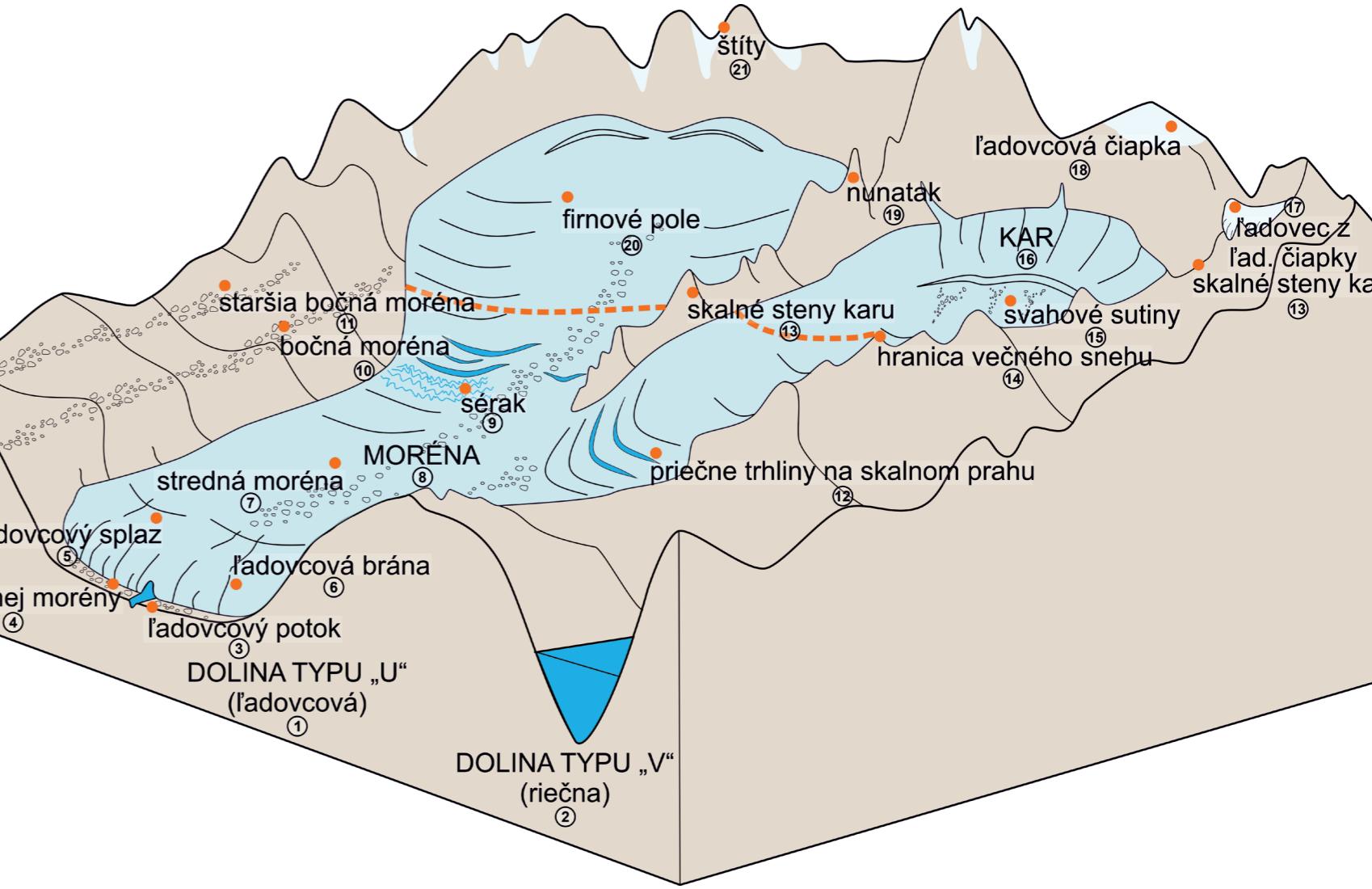
1

1. Terénne stupne vytvorené ustupujúcim ľadovcom. / Valley steps formed by receding glacier. Vodopád Skok v Mlynickej doline. / Skok waterfall in Mlynická dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. Osypový kužel' v tvare presýpacích hodín dokumentuje neustále zvetrávanie hôr. / Constant weathering of the mountains is documented by the debris cone in hourglass shape. Hrebeň Bášt. / Hrebeň Bášt Ridge. Foto / Photo: Radoslav Biskupič.



2



Idealizovaný blokový diagram horského ľadovca. / Idealized block-diagram of the mountain glacier.

1) U-shaped valley (glacial); 2) V-shaped valley (fluvial); 3) glacial stream; 4) terminal moraine; 5) ablation area; 6) terminus; 7) medial moraine; 8) moraine; 9) serac; 10) lateral moraine; 11) older lateral moraine; 12) crevasses; 13) arête; 14) equilibrium line; 15) slope debris; 16) cirque glacier; 17) ice mélange; 18) ice cap; 19) nunatak; 20) snow accumulation field; 21) glacial horns.

Stopy života

Neoddeliteľnou súčasťou geologickej stavby Tatier sú mezozoické (druhohorné) horniny usadené na staršom kryštalickom podklade a tiež sedimenty prinesené tektonickými silami počas alpínskeho horotvorného procesu zo vzdialenejších južnejších častí oceánu Tethys. Tieto sedimenty majú zachované pôvodné zloženie, sedimentárne textúry a často v nich nachádzame aj skameneliny. Skameneliny a štruktúry usadení umožňujú podrobne a presne rekonštruovať geologickú história, podmienky v ktorom došlo k ich vzniku (prostredie kontinentálne, lagúnové, plytkomorské, či hlbokomorské) a prostredníctvom zachovaných skamenelín určiť geologický (stratigrafický) vek hornín. Vzácne stopy dinosaurov, ktoré boli nájdené v Tatrách nám takto pomohli určiť nielen vek hornín, ale aj prostredie v akom žili (Michalík et al., 1976; Niedźwiedzki, 2011). Mezozoické sedimenty sú v dnešnej geomorfológii Tatier rozšírené predovšetkým na ich severných svahoch (Belianske Tatry, Červené vrchy), čo je výsledkom mladého, asymetrického výzdvihu Tatier pozdĺž sústavy zlomov na ich južnom okraji. Vyzdvihnutý horský masív Tatier je obklopený usadeninami treťohorného mora (pieskovce a bridlice), ktoré tvoria výplň podtatranských kotlín. Obnažené druhohorné masívy podliehajú neustálemu zvetrávaniu. Hlavne vďaka činnosti vody prenikajúcej do vnútra masívu po puklinách a zlomoch vznikajú jaskyne, v ktorých sa nachádzajú fosílné zvyšky po ich dočasných, alebo trvalých obyvateľoch.

Skamenené zuby morskej ryby *Sargodon tomicus* staré 200 miliónov rokov. Kardolína v Belianskych Tatrách. Foto: Jozef Michalík.

Traces of life

Mesozoic rocks deposited over the older crystalline basement, as well as sediments carried here by tectonic forces from distant southern parts of the Tethys Ocean during the Alpine orogenic phase, represent an inherent part of the geological structure of the Tatra Mountains. These sediments have retained their original composition and sedimentary textures, and they often can contain fossils. These fossils and sedimentary structures allow us to accurately reconstruct the geological history, the environment in which they originated (continent, lagoon, shallow sea, deep sea) in detail, and to determine the stratigraphic age of the rocks based on the preserved fossils. Rare dinosaur footprints found in the Tatras helped us to determine both the age of the rocks and the environment in which they lived. (Michalík et al., 1976; Niedźwiedzki, 2011). In today's Tatra geomorphology, the Mesozoic sediments are located especially on their northern slopes (Belianske Tatry Mts., Červené vrchy hills). This is the result of the young asymmetrical uplift along the fault system on their southern margin. The uplifted massif of the Tatras is surrounded by sediments of the Tertiary sea (sandstones and mudstones), which fill the sub-Tatra basins. The exposed Mesozoic rock complexes are subject to continuous weathering. Caves, in which fossil remains are found, are formed mainly due to the activity of water entering the massif through fissures and faults.

The fossilized teeth of the marine fish *Sargodon tomicus*, 200 million years old. Kardolína in the Belianske Tatry Mts. Photo: Jozef Michalík.





1

2

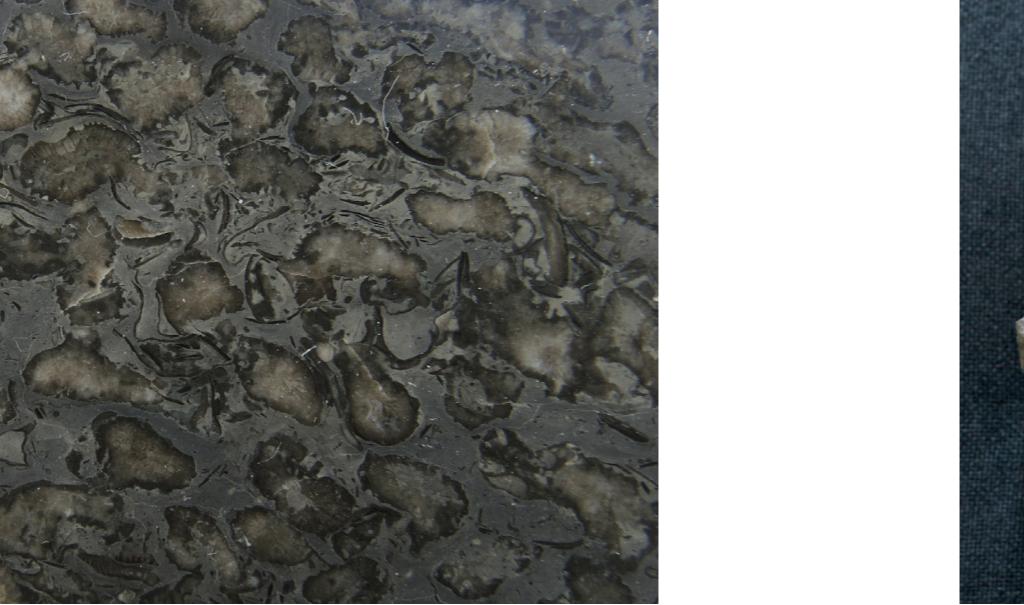
1. Paleontologické vykopávky na znácej druhohornej lokalite Kardolína. / Excavations at the Kardolína - well-known Mesozoic paleontological site. Belianske Tatry. / The Belianske Tatry Mts. Foto / Photo: Jozef Michalík.
2. Pieskovce a ílovce - dôkaz prítomnosti mory v oblasti Tatier. / Sandstones and mudstones - evidence of the prehistoric sea in the Tatras. Ždiar. / Ždiar Village. Foto / Photo: Radoslav Biskupič.
3. Tropický koralový ríf z druhohôr starý 200 miliónov rokov. / Mesozoic tropical coral reef, 200 million years old. Juráňova dolina. / Juráňova dolina Valley. Foto / Photo: Jozef Michalík.



1

2

3



1

2

3



1

2

3

1. Lastúrnik *Conchodon infraliassicus* Schafhärtl 1863. / The bivalve *Conchodon infraliassicus* Schafhärtl 1863. Velká Furkaska, Západné Tatry / Velká Furkaska, Západné Tatry Mts. Foto / Photo: Katarína Kremnická.
2. Amonit *Douvilleioceras cf. mammillatus* (Schlotheim, 1813). / The ammonite *Douvilleioceras cf. mammillatus* (Schlotheim, 1813). Javorová dolina. / Javorová dolina Valley. Foto / Photo: Katarína Kremnická.
3. Lastúrniky *Gervillaria inflata* (Schafhärtl, 1851). /The bivalves *Gervillaria inflata* (Schafhärtl, 1851). Kardolína, Belianske Tatry. / Kardolína, Belianske Tatry Mts. Foto / Photo: Katarína Kremnická.



31

Stopy života



1

1. Starotreťohorné pieskovce tatranského podhoria tvoria

až 1 km hrubý súbor hornín. / In the Tatras foothills, the

Paleogene sandstones form up to 1 km thick set of rocks.

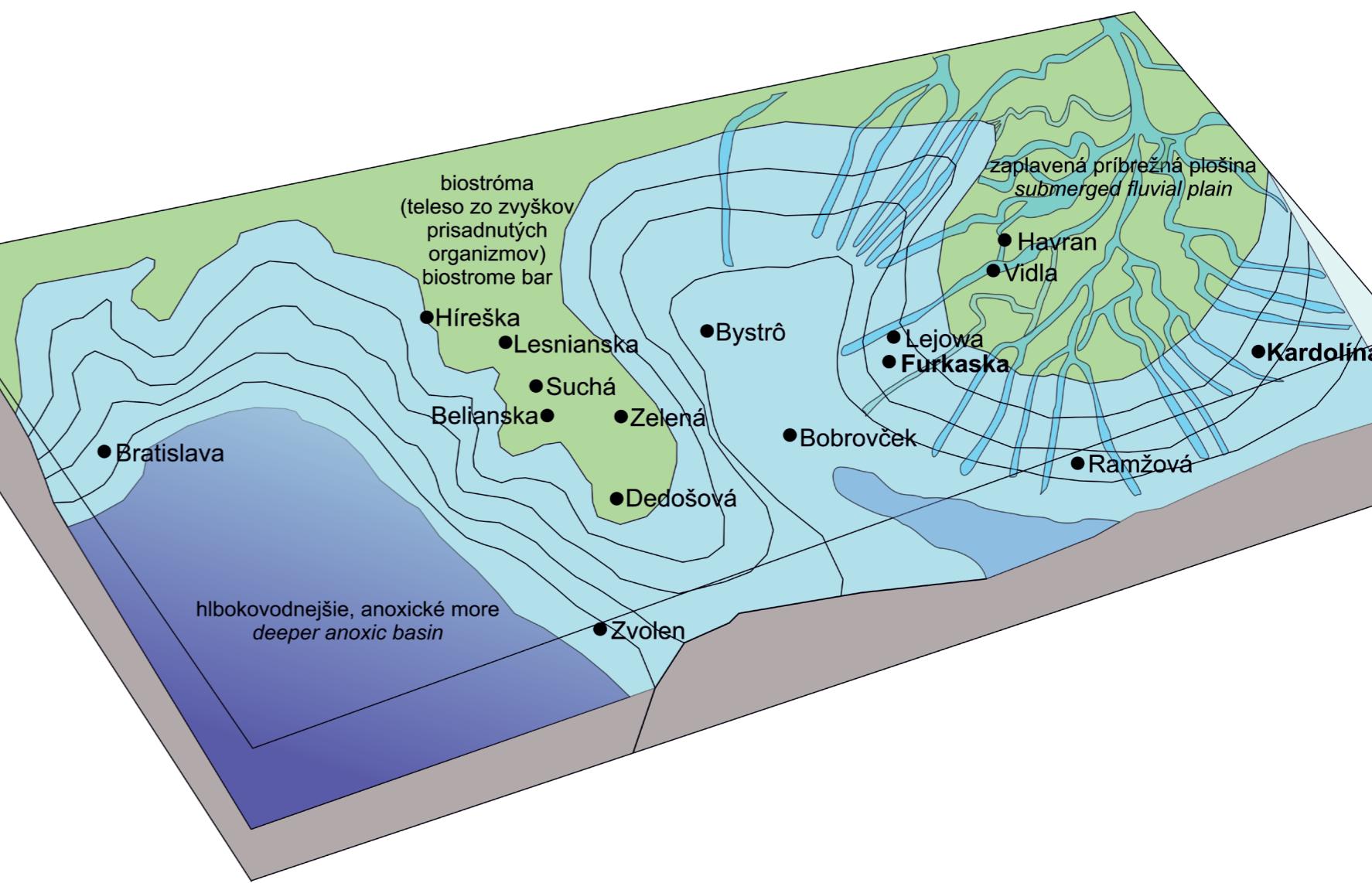
Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. Riečka Javorinka odhalila mohutný set starotreťohorných

morských usadeníň. / Epic set of Paleogene marine deposits revealed

by the Javorinka Stream. Podspády / Podspády Settlement. Foto /

Photo: Ľubomír Sliva.

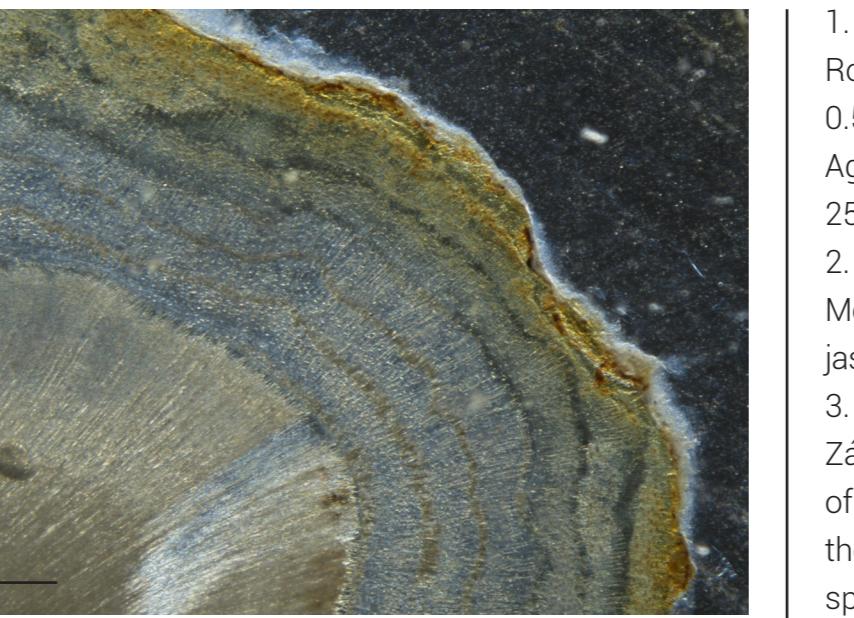


Blokový diagram zobrazujúci časť územia dnešných Tatier počas druhohôr (triasu). Čiernymi bodmi sú vyznačené paleontologické lokality. Upravené podľa Michalík et al. (2007). / Block-diagram depicting part of today's Tatras during the Mesozoic era (Triassic period). Black dots show paleontological sites. Modified from Michalík et al. (2007).

1. Ichnofosílie - záznam životnej aktivity organizmov obývajúcich morské dno. / Ichnofossils - a fossil record of life activity of marine benthic organisms. Bialka / Bialka river. Foto / Photo: Ľubomír Sliva.
2. Skamenený list v pieskovci, starý 40 miliónov rokov. / 40 million years old fossilized leaf in sandstone. Paleogén Hornádskej kotliny, Spišské Tomášovce. / Paleogene Hornádska kotlina Basin, Spišské Tomášovce Settlement. Foto / Photo: Ján Madarás.



This image shows a fossilized leaf impression. The leaf is elongated and ovate, with a prominent midrib and several parallel veins. It is oriented diagonally across the frame, with its base pointing towards the bottom left. The leaf is a reddish-brown color, suggesting it is well-preserved. It is set against a light-colored, textured rock matrix that appears to be sandstone. The overall composition is a close-up photograph of a paleontological specimen.



Výbrus zuba medveda jaskynného (*Ursus ex gr. spelaeus* Osenmüller, 1794) - svedka doby ľadovej (čierna mierka predstavuje 5 mm). / Thin-section of the cave bear tooth - witness to the Ice Age (black bar represents 0.5 mm). 25 000 rokov pred Kristom 5,000 years BC. Foto / Photo: Martina Moravcová.

Nález leva jaskynného (*Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810)) v Medvedej jaskyni v Západných Tatrách. / Cave lion remains in Medvedia Cave in the Západné Tatry Mts. Foto / Photo: Martin Sabol.

Lebka mladého samca leva jaskynného z Medvedej jaskyne v Západných Tatrách, jedného z najväčších zástupcov druhu. / Skull of prime adult male of cave lion from Medvedia jaskyňa Cave in the Západné Tatry Mts., one of the largest representatives of the species. Foto / Photo: Katarína Kremnická.



Tatranský dinosaurus

Všetko sa mení. Príroda podlieha neustálym zmenám. A to, na čo sa dnes pozerať nebolo vždy tým čím je dnes a nebolo vždy tam, kde práve je.

Ako môžeme späť vysledovať príbehy hornín a fosílií v nich ukrytých, ktoré prekonali priepasti času, kým sa pred nami ukázali vo svojej dnešnej podobe? Pomocou rôznych vedeckých metód, ktoré nám umožňujú zistiť relatívny, alebo aj absolútny vek horniny.

Pomocou fyzikálnych a geochemických metód založených na skúmaní chemického zloženia horniny, ktoré môže odhaliť veľmi presnú informáciu o hĺbke, teplote a tlaku, pri ktorých vznikali hlbinné horniny v zemskej kôre, alebo o chemickom zložení atmosféry a hydrosféry, ktorá panovala na Zemi počas usádzania týchto hornín (Huraj, 2016). Tiež pomocou skúmania skamených zvyškov organizmov alebo stôp po ich živote a porovnávaním fosílnych spoločenstiev s tými dnešnými môžeme identifikovať rôzne ekosystémy, ktoré sa na celej Zemi a teda aj na tom kúsku, kde teraz žijeme my Slováci, vystriedali od vzniku prvých jednobunkových organizmov až po súčasnosť (Zrzavý et al., 2004; Konhauser, 2007; Ďurišová et al. in Broska ed., 2015).

Na dnešný ráz tatranskej oblasti má veľký vplyv udalosť spred 300 miliónov rokov, z obdobia vrchného permu. Pomalá zrážka dvoch skupín blokov zemskej kôry (Pangea a kontinenty ležiace v tej dobe okolo rovníka) spôsobila vytvorenie obrovského pohoria, ktoré je doposiaľ viditeľné na celom svete ako Ural, či Apalače. V Tatrách je jeho pozostatom žulový masív, ktorý doposiaľ vonkajšie sily našej planéty nestačili zahladiti, hoci rýchlosť rozrušovania a znosu je obrovská. V geologickej minulosti dokonca veľhory nemali "odnosovú brzdu" v podobe dnešnej trávy. Tráva sa na našej planéte objavila až pred nedávnom, na konci obdobia kriedy (okolo 70 mil. rokov; Haston et al., 2009). Pred 260 miliónmi rokov, v období mladšieho permu aj našim územím pretekali občasné rieky tečúce z pahorkatín a v panvách sa hromadili hrubé zvetraliny. Z nich sa však v Tatrách zachovalo len málo; prakticky len červené koperšadské zlepence, známe z Jahňačieho Hrba nad Zadnými Medôdolmi (Michalík, 2017). Zhoda rôznych okolností, ku ktorým prispela masívna vulkanická činnosť, zrážka kontinentov a následné vytvorenie reťaze pohorí spôsobujúce zmenu prúdenia vzdušných a oceánskych más, vyhubila na konci obdobia permu počas jedného z "Veľkej päťky" masových vymieraní viac ako 90% živých organizmov na Zemi. Trvalo milióny rokov pokým sa ekosystémy Zeme s ich druhovou rozmanitostou dostali do porovnatelnej bohatosti spred katastrofy. Na začiatku druhohôr, počas triasu (pred 250 miliónmi rokov) more Tethys postupne zalialo príbrežné plošiny, čo dokladá aj vzácny nález časti kostry drobného morského plaza *Pachypleurosaurus* (Čerňanský et al., 2019) v strednotriásowych vápencoch Demänovskej doliny. Tento nález predstavuje najstaršieho známeho stavovca z oblasti Slovenska. Občasné riečne prívaly znášali do mora masy zvetralín (lúžňanské súvrstvie), ktoré širokými suchými dolinami postupovali až na morský šelf. V tomto období sa „Tatranský kúsok sveta“ nachádzal oveľa južnejšie a horniny, ktoré dnes vidíme ako dolomity vznikali na veľkej ploche veľmi plytkého mora. Začiatkom vrchného triasu, pred 228 miliónmi rokov, sa v horninách zaznamenalo striedanie vlhkejších

a horúcich púštnych období. Dnes tieto horniny nájdeme v Červenej skalke v Belianskych Tatrách, alebo v hornej časti Juráňovej doliny v Západných Tatrách (Michalík, 2017). Koncom triasu sa naše územie opäť postupne dostávalo pod nadvládu mora. Výskum fosílnej rybnej fauny z vrchnotriásowych uložení na lokalite Kardolína v Belianskych Tatrách obsahuje záznam o kolonizácii morskej fauny tvorenej žralokmi a rybami (Chalupová, 2009), u nás zastúpenými napríklad druhmi *Lissodus minimus* Agassiz a *Sargodon tomicus* Plieninger. Nájdené druhy žralokov a jednoduchých lúčoplutvých rýb boli morskými predátormi príbrežných oblastí. Podľa tvaru zubov sa živili hlavne mäkkýšmi, alebo menšími rybami a dorastali až do metrovej dĺžky. V kotlinách na severe vznikali jazerá, časom meniac sa na močiare s porastami stromovitých prasličiek a papradí, zriedkavejšie s nahosemennými stromami. Toto boli najstaršie „tatranské lesy“. Dnes ich zvyšky nachádzame napríklad v Červených vrchoch, kde sa spolu s nimi v tomanovskom súvrství našli stopy dvojnohých dravých dinosaurov *Eubrontes tetricus* (Michalík and Sýkora) pôvodne zaradených do rodu *Coelurosaurichnus* (Michalík et al., 1976; Michalík a Kundrát, 1998). Paleontologický prieskum za posledné dve desaťročia odhalil mnohé ďalšie objavy. Súbor zvyškov a stôp stredoeurópskych dinosaurov naznačuje prítomnosť veľkých teropodných dinosaurov už v neskorom období triasu a výskyt obrovských teropódov (údajne najstarších allosaurov) v najstarších jurských horninách, spolu s pomerne pokročilými sauropodnými dinosaurami. Zo slovenskej i poľskej strany Tatier boli nájdené stopy dinosaurov rodov *Eubrontes*, *Tetrasauros* a *Pseudotetrasauros*. Na rozdiel od tradičnej stratigrafickej interpretácie, stopy naznačujú jurský vek súvrstvia (Niedzwiedzky, 2011). Tento chodník dinosaurov pokračoval z poľskej na slovenskú stranu Tatier a teda pravdepodobne reprezentuje jednu z veľkých tratí putujúcich dinosaurov rodu *Eubrontes*, predtým uvádzaných ako „*Coelurosaurichnus tetricus*“ (Gierlinski a Sabath, 2005).

Južnejšie časti dnešnej oblasti Tatier boli zaliate morom (fatranské súvrstvie), v ktorom sa darilo pestrému spoločenstvu organizmov: riasam, dierkavcom, hubkám, koralom, ramenonožcom, mäkkýšom, ostnatokožcom a rybám, ale aj morským plazom. Veľké lastúrniky – megalodonty žili zaborené v bahne dna zarívoj zóny. Lokality skamenelín z rétu (posledného obdobia triasu pred 203 až 199 miliónmi rokov), sú známe z oblasti Hýb, Suchej (Trnoveckej) doliny, Juráňovej doliny, Lejowej, Kościeliskej doliny, Wielkiego Kopienca a Tatranskej Kotlinky (Michalík, 2017).

Na konci jury (pred 160–145 miliónmi rokov) bolo more pokrývajúce tatranskú oblasť plné planktonických mikroorganizmov. Boli to najmä spóry rias – globochety, larvy mäkkýšov, planktonické ľaliovky (sakokómy), kadosíny, stomiosféry, kalpionely a drobnučké planktonické riasy - nanokóny. Na plynčinách žili dierkavce, machovky, ľaliovky a zvláštne mäkkýše - rudisty. Ich zvyšky sa zachovali v stenách Giewontu nad Zakopaným, v stenách Muráňa alebo na Ždiarskej vidle v Belianskych Tatrách (Michalík, 2017).

Počas strednej kriedy (zhruba pred 100 miliónmi rokov) sa podnebie mimoriadne otepnilo. Zároveň hladina svetových morí postupne stúpala na najvyššie hodnoty zaznamenané za poslednú pol miliardu rokov. Zo sopečných kráterov sa do atmosféry dostávalo množstvo skleníkových plynov. Z tohto obdobia sa zachovali horniny tvorené mikroskopickými schránkami nálevníkov a dierkavcov (Bezák ed., 2011).

Oblast dnešných Tatier postupne viac a viac postihovalo alpínske vrásnenie.

V starších treťohorách, v paleogéne, bola tatranská oblasť zaliata morom (približne pred 40 miliónmi rokov). Sedimenty borovského súvrstvia, ktoré môžeme vidieť v okolí Zuberca, alebo Ždiaru vznikali v plynkej, príbrežnej oblasti, kde sa na staršie zlepence usadzovali vápence tvorené hlavne zo schránek jednobunkových organizmov - dierkavcov čeľade *Nummulitidae*, ktoré dali vápencom aj meno (numulitové vápence). V týchto sedimentoch nájdeme aj zvyšky flóry vo forme listov a iných zvyškov rastlín. Starotreťohorné more sa pomaly zapĺňalo sedimentami a koncom paleogénu bol prínos piesčitých sedimentov (bielopotocké súvrstvie) natolko veľký, že sa nimi panva zaplnila. V priebehu oligocénu bola panva rozdrobená výzdvihom jadrových pohorí, hlavne Tatier, ktoré vystúpili prakticky v jej strede. Prevažne dochádzalo k zlomovej tektonike, takže na väčšine územia sú horniny uložené stále v pôvodnej pozícii (Hók et al., 2019).

Najmladšími usadeninami v Tatrách sú štvrtohorné úlomkovité sedimenty uložené v suchozemských podmienkach. Uchovanie fosílií v takýchto horninách je prakticky nemožné, avšak v jaskynných systémoch, kde bola vhodná klíma na ich zachovanie sa nachádzajú kostrové zvyšky mnohých veľkých stavovcov doby ľadovej. Medvedia jaskyňa v Západných Tatrach je súčasťou jaskynného systému Suchý potok v ktorej sa našli zvyšky štyroch kostier jaskynného leva (najkompletnejšie zo slovenskej časti Západných Karpát), zvyšky jaskynných medveďov a vlkov. Zvyšky dospelého levieho samca, najväčšieho z doteraz nájdených, boli objavené v priestore „Levia sieň“. Kostrové zvyšky jedincov z tejto jaskyne potvrdzujú rozdiel v stavbe tela samice a samca (Sabol et al., 2018). Väčšina fosílnych pozostatkov jaskynného leva *Panthera spelaea* (Goldfuss), ktoré sa nachádzajú v celej Európe je datovaná do obdobia poslednej doby ľadovej (v časovom rozpätí 25–50 tisíc rokov p. n. l.). Datovanie vzorky jaskynného leva z Medvedej jaskyne pomocou uhlíkovej metódy zodpovedá tomuto rozsahu a tiež súhlasí s vekom kostí tu nájdených jaskynných medveďov. Teplejšie podnebie počas tejto medziľadovej doby umožnilo prenikanie mačkovitých šeliem do vyšších horských oblastí, pravdepodobne za koristou, ktorou možno boli zimujúce jaskynné medvede (Sabol et al., 2018; Sabol a Döppes, 2019). Aj keď sa všeobecne súdi, že model správania jaskynných levov bol podobný ako u dnešných levov, predpokladáme, že v horských prostrediah žili tieto veľké vyhynuté mačkovité šelmy osamelo, prípadne v pároch.

Najmladším, holocénym, typom usadenín vzniknutých z organických zvyškov, ktoré môžeme v Tatrach nájsť sú humolity – rašelinys, ktoré sa nachádzajú v priúpätnom pásme na lokalitách Štrbské pleso, Stará Lesná, Kežmarské Žľaby a na JV od Tatranskej Kotlinky (Bezák ed., 2011).



1. Stopa dravého dinosaуra. / Footprint of the carnivore dinosaur. Tichá dolina. / Tichá dolina Valley. Foto / Photo: Milan Sýkora.
2. Pieskovcové vrstvy plné sideritových nodúl Tomanovských vrstiev z lokality nálezu tatranských dinosaurov. Tichá dolina. / Sandstone layers filled by siderite nodules of Tomanová beds from the locality of the Tatra dinosaurs. Tichá dolina Valley. Foto / Photo: Milan Sýkora.
3. Unikátny nález troch stôp dinosaurov z roku 1976 v Tichej doline. / Unique finding of tree dinosaur footprints from 1976 from Tichá dolina Valley. Foto / Photo: Jozef Michalík.

The Tatra dinosaur

Everything changes. Nature is a subject to constant change. What we look at today has not always been what it is today and has not always been where it is.

How can we trace back the stories of the rocks and fossils hidden in them that have crossed the gaps of time, until they appear before us in their present form? By using various scientific methods that allow us to determine the relative or even absolute age of the rocks.

Using physical and geochemical methods based on the study of the chemical composition of the rock, which can reveal very accurate information about the depth, temperature and pressure at which deep rocks formed in the Earth's crust, or the chemical composition of the atmosphere and hydrosphere as they were on Earth during its sedimentation (Huraj, 2016). By examining the fossilized remains of organisms or their traces and comparing fossil communities with recent ones, we can identify various ecosystems that have alternated throughout the entire Earth and thus on the piece of land where we Slovaks now live, from the origin of the first unicellular organisms to the present (Zrzavý et al., 2004; Konhauser, 2007; Ďurišová et al., 2015 in Broska ed., 2015).

Today's appearance of the Tatra region is greatly influenced by an event that happened 300 million years ago, in the Upper Permian epoch. The slow collision of two groups of Earth's crust blocks (Pangea and the continents lying around the equator at the time) caused the creation of a huge mountain range, which is still visible around the world (Ural, or the Appalachians). In the Tatras, its remnant is a granite massif, which so far have not been erased by the external forces of our planet, although the speed of erosion and sediment transport is enormous. In the geological past, the mountains did not even have a "erosional brake" in the form of today's grasses. Grass appeared on our planet relatively recently, at the end of the Cretaceous period (about 70 million years; Haston et al., 2009). During the Upper Permian, 260 million years ago, even in our territory an occasional rivers flowing from the hills accumulated coarse material in the basins. Only a few of such deposits have been preserved in the Tatras; only the red koperšadské zlepence conglomerates, known from the Jahňačí Hrb Hill above Zadné Medôdoly Valley (Michalík, 2017). Coincidentally, boosted by massive volcanic activity, continental collision, and the subsequent formation of a mountain range, which changed the flow of air and ocean masses, more than 90% of living organisms on Earth died out at the end of the Permian period during one of the "Big Five" mass extinctions. It took millions of years for ecosystems with their species diversity to reach pre-extinction richness. At the beginning of the Mesozoic, during the Triassic period (250 million years ago), the Tethys Sea gradually flooded the coastal plains, as evidenced by the rare find of the incomplete skeleton of the small sea reptile *Pachypleurosaurus* (Čerňanský et al., 2019) in the Middle Triassic limestones. This find represents the oldest known vertebrate fossil from Slovakia. Occasional river floods carried masses of weathered material through wide dry valleys to the sea (Lúžna Formation). During this period, this "Tatra piece of the world" was located much further to the south and the rocks (dolomites) found here were formed on a vast area of a very shallow sea. From the beginning of the

Upper Triassic period, 228 million years ago, an alternation of humid and hot desert climates is recorded in the sediments. Today, these rocks can be found in the Červená Skalka in the Belianske Tatry Mts., or in the upper part of the Juráňova dolina Valley in the Západné Tatry Mts. (Michalík, 2017). At the end of the Triassic period, our territory gradually came back under the domination of the sea. Research on fossil fish fauna from Upper Triassic deposits in the Kardolína locality in the Belianske tatry Mts. contains a record of the colonization of marine fauna formed by sharks and fish (Chalupová, 2009), represented in this area, e.g. by *Lissodus minimus* Agassiz and *Sargodon tomicus* Plieninger. Found of sharks and simple ray-finned fish species represented marine predators of coastal areas. Based on the shape of their teeth, they fed mainly on mollusks or smaller fish, and reached one meter in length. In the basins in the north, lakes were formed, and were eventually changed into swamps with overgrown by arborescent horsetails and tree-ferns, less rarely with gymnosperm trees. These were the oldest "Tatra forests". Today, their remains can be found, for example, in the Tomanová Formation in the Červené vrchy Mts., where footprints of bipedal predatory dinosaurs *Eubrontes tetricus* (Michalík and Sýkora) formerly ranked to the genus *Coelurosaurichnus* were also presented (Michalík et al., 1976; Michalík and Kundrát, 1998). Paleontological research over the last two decades has revealed many other discoveries. Remains and traces of Central European dinosaurs suggests the presence of large theropods in the late Triassic period and along with relatively advanced sauropod dinosaurs the occurrence of big theropods (supposedly the oldest allosaurs) in the oldest Jurassic rocks. Traces of dinosaurs of the genera *Eubrontes*, *Tetrasauropus* and *Pseudotetrasauropus* were also found on both Slovak and Polish side of the Tatras. In contrast to the traditional stratigraphic interpretation, traces indicate the Jurassic age of the formation (Niedzwiedzky, 2011). This trail of dinosaurs continued from the Polish to the Slovak side in the Tatras and thus probably represents one of the great tracks of the wandering dinosaurs of the genus *Eubrontes* previously referred to as "*Coelurosaurichnus tetricus*" (Gierlinski and Sabath, 2005).

The southern parts of today's Tatras were flooded by the sea (Fatra Formation), in which a diverse community of organisms thrived: algae, foraminifers, sponges, corals, brachiopods, mollusks, echinoderms and fish, as well as sea reptiles. Large bivalves - megalodonts lived buried in the mud of the seafloor of the back-reef zone. The fossil localities of Rhetian stage (the last Triassic period lasted from 203 to 199 million years ago) are known from the area of Hybe Village, Suchá (Trnovecká) dolina Valley, Juráňova dolina Valley, Lejowa, Kościeliska dolina Valley, Wielki Kopienec and Tatranská Kotlina Settlement (Michalík, 2017).

At the end of the Jurassic period (160–145 million years ago), the planktic microorganisms flourished in the sea covering the Tatra region. These were mainly spores of algae called globochaets, mollusk larvae, planktonic crinoids (*Saccocoma*), cadosins, stomiosphers, calpionellids and tiny planktonic algae - coccolithophors. Shallow zones were inhabited by foraminifers, bryozoans, sea lilies and strange mollusks - rudists. Their remains have been preserved in the Giewont walls above Zakopané town, in the Muráň walls or on Ždiarska vidla peak in the Belianske Tatry Mts. (Michalík, 2017).

During the Middle Cretaceous epoch (about 100 million years ago), the climate became extremely warm. At the same time, the level of the world ocean have gradually risen to its highest values of the last half a billion years. Greenhouse gases were released into the atmosphere from volcanic craters. Rocks formed by microscopic ciliate shells and foraminifers have been preserved from this period (Bezák ed., 2011). The area of today's Tatras was gradually more and more affected by Alpine orogeny.

In the Early Tertiary, the Paleogene, the Tatra region was flooded by the sea (about 40 million years ago). The sediments of the Borové Formation, which can be seen in the vicinity of Zuberec or Ždiar villages, originated in a shallow coastal area where limestones formed mainly by the shells of single-celled organisms - foraminifers of the family *Nummulitidae*, which gave the limestone their name (nummulite limestones), deposited over the older conglomerate layers. In these sediments the remnants of flora in the form of leaves and other plant remnants can be found. The Paleogene sea was slowly filling with sediments, and the contribution of sandy sediment (the Białystok Formation) at the end of this period was so great that the basin was filled up with it. During the Oligocene epoch, the basin was fragmented by the uplift of the core mountains, especially the Tatras, which emerged practically in its middle. Fault tectonics predominated, so the rocks are still deposited in their original position in most areas (Hók et al., 2019).

The youngest sediments in the Tatras are terrestrial Quaternary clastics. Preservation of fossils in such material is almost impossible. Cave systems where the climate was suitable for the preservation of skeletal remains of many large vertebrate vertebrates are the exceptions. In the Medvedia jaskyňa Cave in the Západné Tatry Mts. (the part of the Suchý potok cave system) the remains of four skeletons of a cave lion (the most complete from the Slovak part of the Western Carpathians), the remains of cave bears and wolves were found. The remnants of an adult male lion, the largest specimen of what has been found so far, have been discovered in the "Levia sieň" hall. Skeletal remains of individuals from this cave confirm the difference in female and male body structure (Sabol et al., 2018). Most of the fossil remains of the cave lion *Panthera spelaea* (Goldfuss), which are found throughout Europe, are dated to the last ice age (25-50 thousand years BP). The cave lion sample from Medvedia jaskyňa Cave dated by the radiocarbon method corresponds to this range and also agrees with the age of the bones of the cave bears found here. The warmer climate during this interglacial period allowed felines to penetrate higher to the mountain areas, probably due to the tracking prey that may have been wintering cave bears (Sabol et al., 2018; Sabol and Döppes, 2019). Despite the general belief that the behavior pattern of cave lions was similar to that of today's lions, we assume in mountain environments these large extinct felines lived alone, or in pairs.

The youngest, Holocene, type of sediment formed from organic residues that can be found in the Tatras are humolites - peat, which are located in the foot of the hills around the Štrbské pleso Tarn, Stará Lesná Village, Kežmarské Žľaby Settlement and SE of Tatranská Kotlina Settlement (Bezák ed., 2011).



1. Druhohorné fosílie morských hlavonožcov (amonitov) z jaskyne Mokrá diera. Javorová dolina. / Mesozoic fossils of sea cephalopods (ammonits) fom the Mokrá diera Cave. Javorová dolina Valley. Foto / Photo: Ján Madarás.



2. *Rhaetavicula contorta* (Portlock). Lastúrnik obývajúci príbrežné oblasti a lagúny v dobe, kedy Zem obývali dinosaury. Lokalita Kardolína. / *Rhaetavicula contorta* (Portlock). Bivalve inhabiting nearshore and lagoonal zones of the seas when dinosaurs ruled the World. Kardolína site. Foto / Photo: Jozef Michalík.

Voda do dvoch morí

Územie Tatier je odvodňované bystrinami do dvoch morí – Čierneho (povodie Váhu) a Baltského (povodie Popradu). Zaujímavým geologicko-geomorfologickým fenoménom Tatier je charakter a priebeh európskeho rozvodia medzi týmito moriami. Väčšina ľudí by očakávala, že bude prebiehať hlavným hrebeňom Tatier. Tomu je tak len v najzápadnejšej časti (medzi Svinicou a Čubrinou). Odtiaľ sa stáča smerom na juh cez Soliskový hrebeň k Štrbskému plesu. Je to jediné tatranské pleso, ktoré sa nachádza bezprostredne na rozvodí. S takouto polohou veľmi pravdepodobne súvisí to, že Štrbské pleso nemá žiadny povrchový prítok ani odtok, čo asi prispelo k jeho zachovaniu v dobe, keď väčšina plies v podobných geologických podmienkach (na morénových uloženinách) už zanikla (zanesenie sedimentmi, zarastenie rašelinou, odvodnenie prietočnými povrchovými potokmi alebo vzájomnou kombináciou týchto príčin). Odtiaľ rozvodie prebieha svahom sledujúc približne trasu ozubnicovej železnice na široký a relatívne mierne členitý štrbský prah oddelujúci Liptovskú kotlinu od Popradskej kotliny.

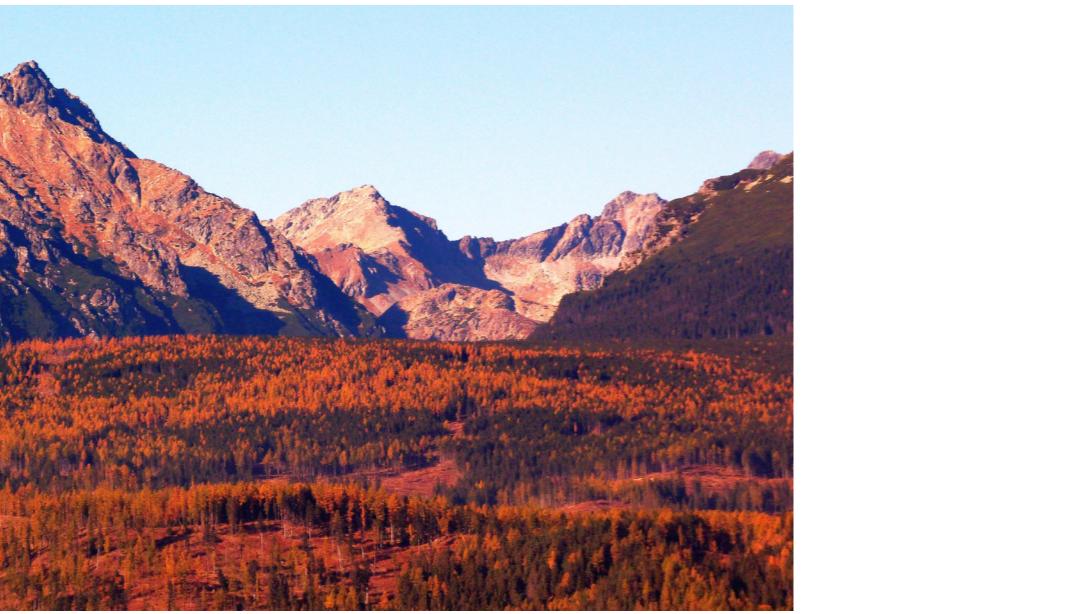
Tu leží rozvodie - 96% zrážok Slovenska odteká do Čierneho mora a 4% do Baltického mora. Okolie Štrby. Foto: Peter Reichwalder.

Water into two seas

The territory of the Tatras is drained by streams into two seas – the Black Sea (Váh river basin) and the Baltic Sea (Poprad river basin). Characteristics and the course of the European watershed between these seas is an interesting geological-geomorphological phenomenon of the Tatras. Most people would expect it to run via the main Tatras ridge. However, this only applies to the western part (between Svinica and Čubrina). From there, it turns southwards through the Solisko ridge to the Štrbské pleso (tarn) – the only Tatra tarn, which is located at the watershed. Such position is most likely linked with the fact that Štrbské pleso has no surface inflow or outflow, which probably contributed to its persistence through time when most of the tarns in similar geological conditions (located on moraine deposits) have already disappeared (filled by sediments, overgrown by peat, drained by streams, or a combination of these causes). From there, the watershed runs through slopes roughly following the cog railway towards the wide and gently rugged Štrba bar, separating the Liptov Basin from the Poprad Basin.

Here is a watershed - 96% of Slovakia's rainfall flows to the Black Sea and 4% to the Baltic Sea. Vicinity of Štrba Village. Photo: Peter Reichwalder.





1. Ľadovcom vytvorenú priehlbiniu (kar) dnes vypĺňa Spišské pleso. / Nowadays Spišské pleso Tarn fills the depression formed by the glacial (cirque). Malá Studená dolina. / Malá Studená dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Ustupujúci ľadovec zanechal množstvo jazier. / The retreating glacier has left many lakes. Batizovská dolina. / Batizovská dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Rozvodie dvoch morí - Baltu a Čierneho mora. / The watershed of the two seas - the Baltic and the Black Sea. Štít Satan, Mengusovská dolina. / Satan peak, Mengusovská dolina Valley. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

1. V Tatrách sa „večný sneh“ vyskytuje od výšky 2 300 m.n.m. / In the Tatras, "permanent snow" occurs from altitude of 2,300 m a.s.l. Foto / Photo: Ján Madarás.
2. Vietor, voda, mráz, foto Madarás / Wind, water and frost. Photo: Ján Madarás.



1

1. V dávnych dobách označovali ľudia všetky plesá názvom "morské oko". / In the past, people called all the tarns by name (literally) "Sea Eye". Rakytovské plesá / Rakytovské plesá Tarns. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

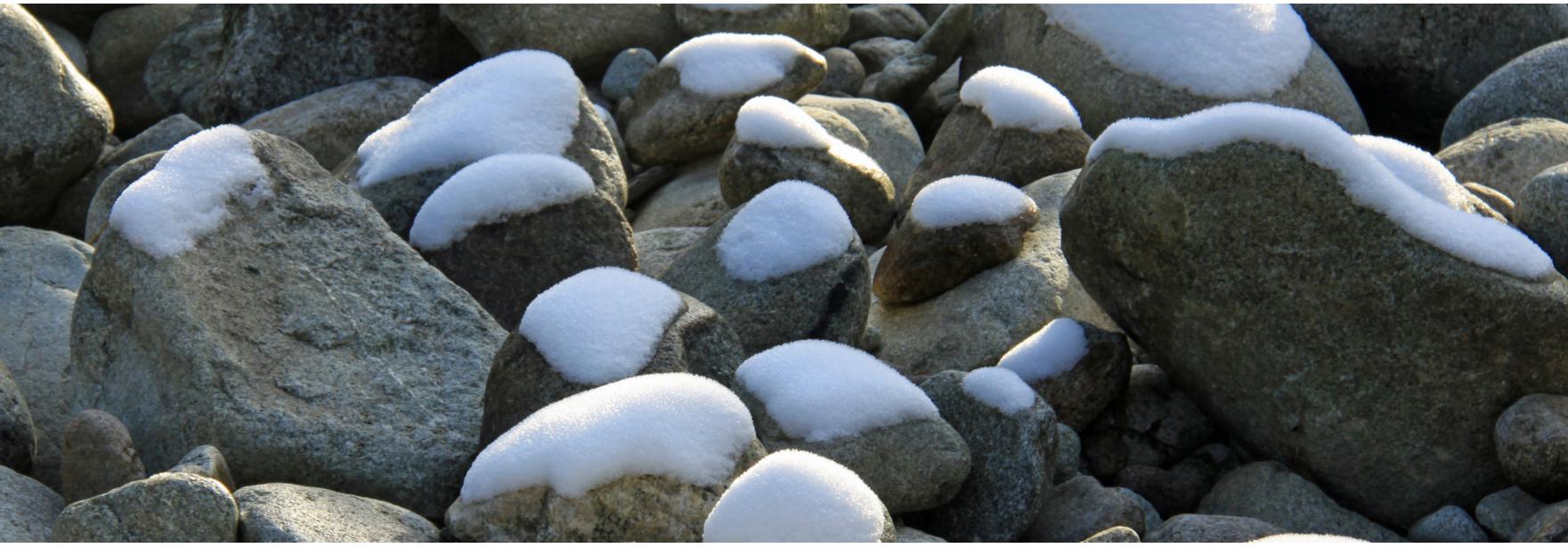
2. Vďaka nízkemu obsahu živín je voda plies krištáľovo číra. / Tarn waters are crystal clear due to the low nutrient content. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

3. S rozlohou takmer 7 ha patrí Popradské pleso k piatim najväčším plesám slovenskej časti Vysokých Tatier. / With an area of 7 hectares Popradské pleso Tarn belongs to five largest tarns in the Slovak part of Vysoké Tatry Mts. Foto / Photo: Radoslav Biskupič.



2

3



1

1. Korytom Belej preteká v zime minimum vody. / During the winter a limited amount of water runs through the Belá river channel. Foto / Photo: Ján Madarás.

2. Perina na hibernáciu. / Hibenation duvet. Foto / Photo: Peter Reichwalder.



2

1. Voda v rôznych podobách (kvapalina). / Various forms of water (liquid water). Foto / Photo: Zora Abaffyová.
2. Voda v rôznych podobách (para). / Various forms of water (water vapor). Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Voda v rôznych podobách (ľad). / Various forms of water (water ice). Foto / Photo: Peter Reichwalder.

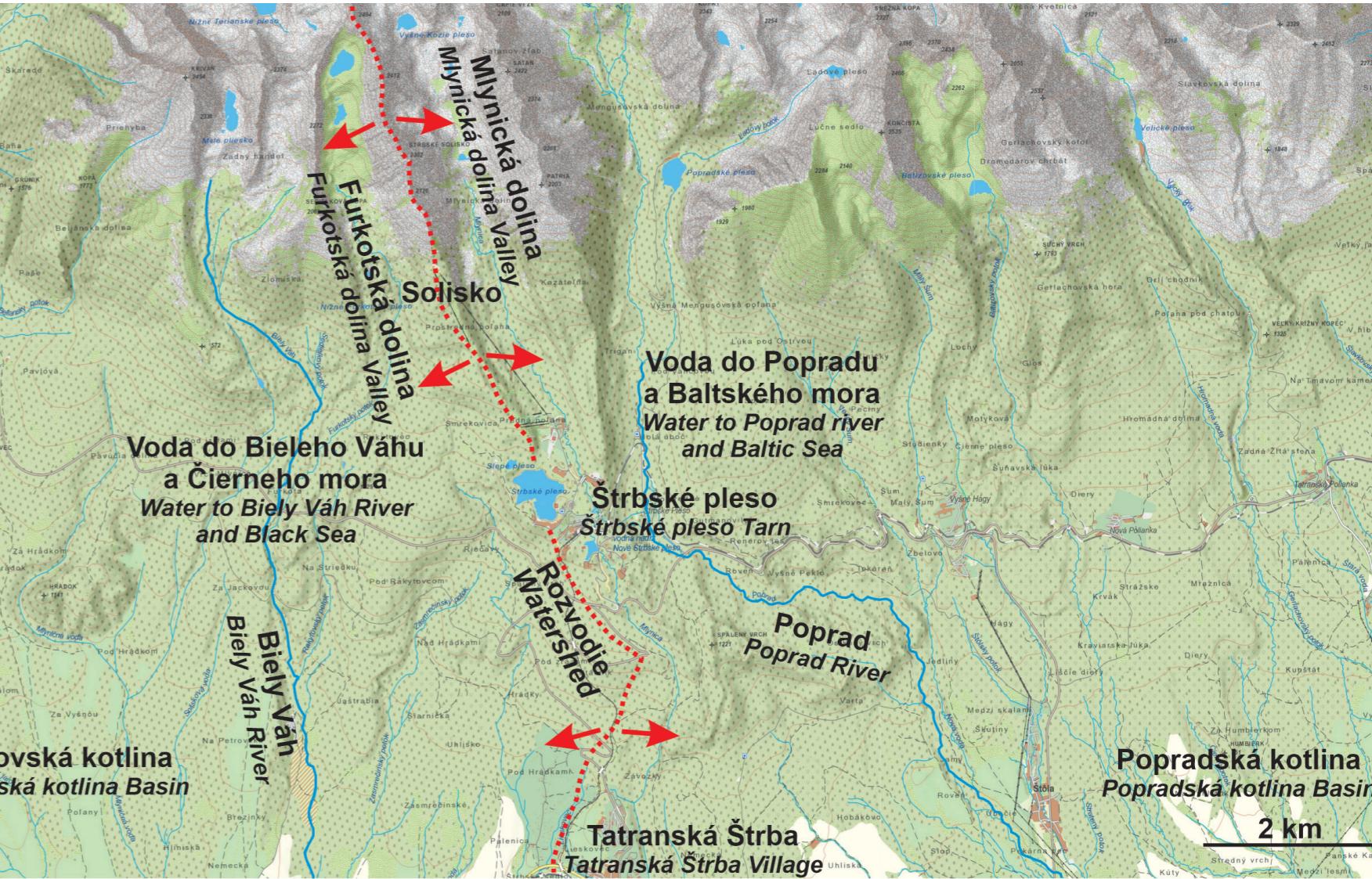
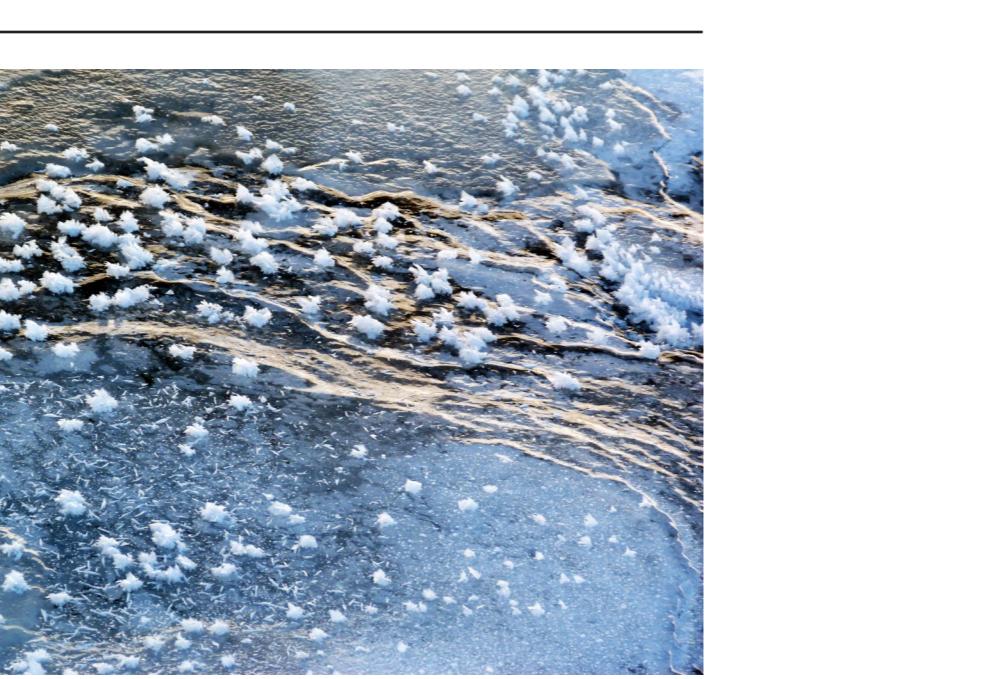
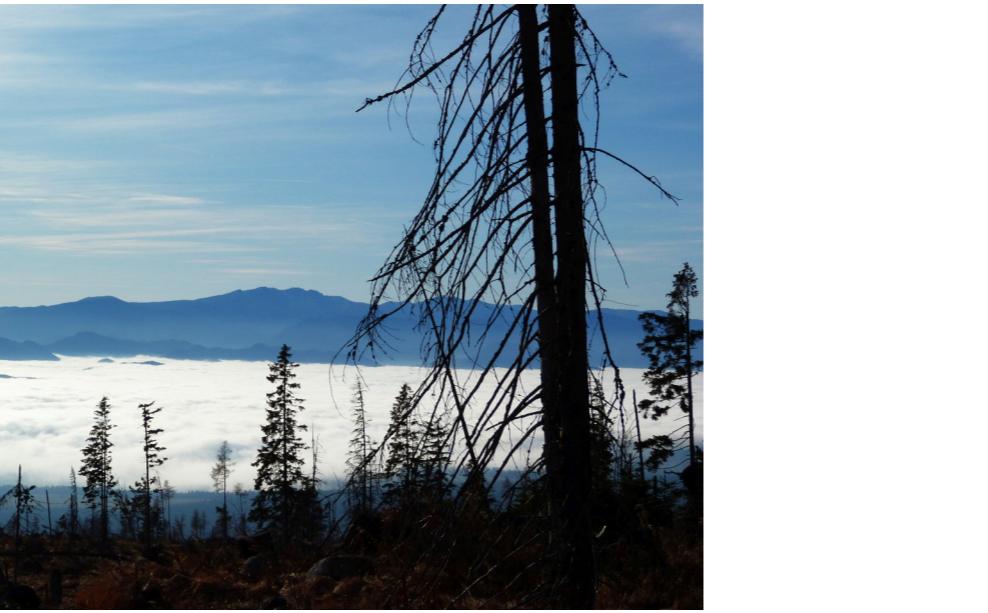


Schéma priebehu hlavného európskeho rozvodia medzi Čiernym a Baltským morom, ktoré prechádza aj cez Štrbské pleso. Mapový podklad: Geodetický a kartografický ústav Bratislava, ZBGIS. / Scheme of the course of the main European watershed between the Black and Baltic Seas, which also passes through Štrbské pleso Tarn. Map base: Geodetic and Cartographic Institute Bratislava, ZBGIS.

Človek v Tatrách

Geologické procesy vytvárali v priebehu miliónov rokov základ toho, čo chodíme do Tatier obdivovať dnes – ich čarokrásne tvary. My ľudia pri využívaní krajiny však v prírode dokážeme mnohé veci nezvratne zmeniť. Zmeny k lepšiemu sú však možné len vtedy, keď budeme dokonale poznáť všetky zákonitosti vývoja prírody (nielen) Tatier a tatranskej histórie. História žiaľ ukazuje, že človek už mnohokrát dokázal oveľa rýchlejšie ničiť výsledky prírodnej evolúcie ako ich samotná príroda stíhala vytvárať. Do Tatier každoročne prichádzajú rôzni návštevníci – zjari školáci na výletoch, turisti a horolezci chodia do Tatier po celý rok. No Tatry lákajú aj masy ľudí na kultúrne či športové podujatia. Vo vysokohorskom prostredí Tatier sa v lete počas slnečného dňa pohybuje až 20 000 ľudí, z toho napríklad na Popradskom plese 5 000 a pri výstupe na Rysy stoja turisti dokonca v rade. Celkovo sa ubytuje v Tatrách vyše 500 000 turistov ročne.

Aj tá jedna pätna územia Vysokých Tatier na poľskej strane stojí za to. Kozi wierzch. / Foto: Radoslav Biskupič.

Man in the Tatras

Over the course of millions of years, geological processes have formed the essence of what we refer to and admire as the Tatras today – their beautiful landscape. We, humankind, can irreversibly change many things in nature. However, changes for the better are only possible when we fully recognize all development rules of the nature and the geological history of the Tatras. Unfortunately, history shows that man has often been able to destroy the results of natural evolution much faster than nature itself has managed to create them. Different visitors come to the Tatras every year – schoolchildren on trips in the spring, tourists and climbers, all visit the Tatras year round. However, the Tatras also attract masses of people to cultural and sports events. In the high altitude of the Tatras, up to 20,000 people come to visit on a sunny day during the summer, of which 5,000 at the Popradské pleso tarn and the tourists stand in the queue when climbing the Rysy Peak. In total, more than 500,000 tourists a year are accommodated in the Tatras.

A fifth of the territory of the High Tatras located in the Poland is also worth to visit. Kozi wierzch Peak. Photo: Radoslav Biskupič.



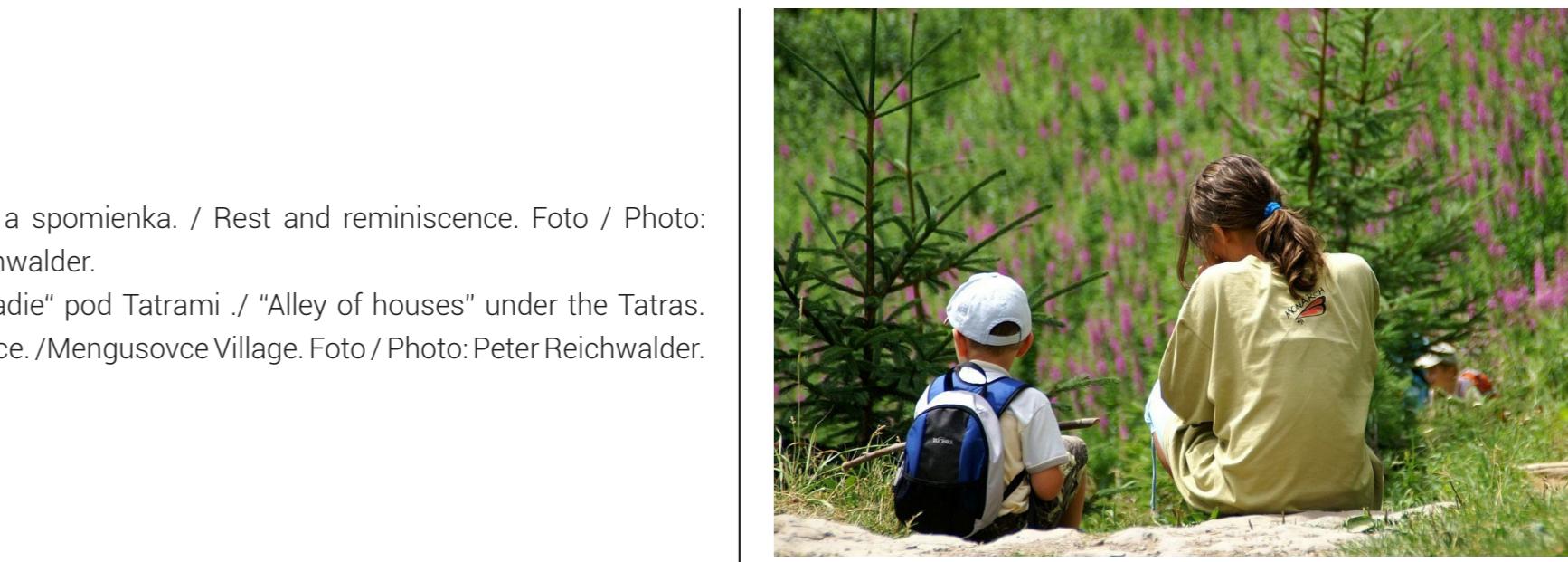


1. Z Tatranskej Lomnice do Tatranskej Polianky sa po koľajniciach jazdí od 16. decembra 1911. / Since 16 December 1911, the rails run from Tatranská Lomnica to Tatranská Polianka. Tatranská Polianka. / Tatranská Polianka Village. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Národná kultúrna pamiatka z roku 1912 stále v prevádzke. / National Cultural Monument from 1912 still in use. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Aké bude počasie? / What will the weather be? Podbanské. / Podbanské Village. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

1

2

3



1

2

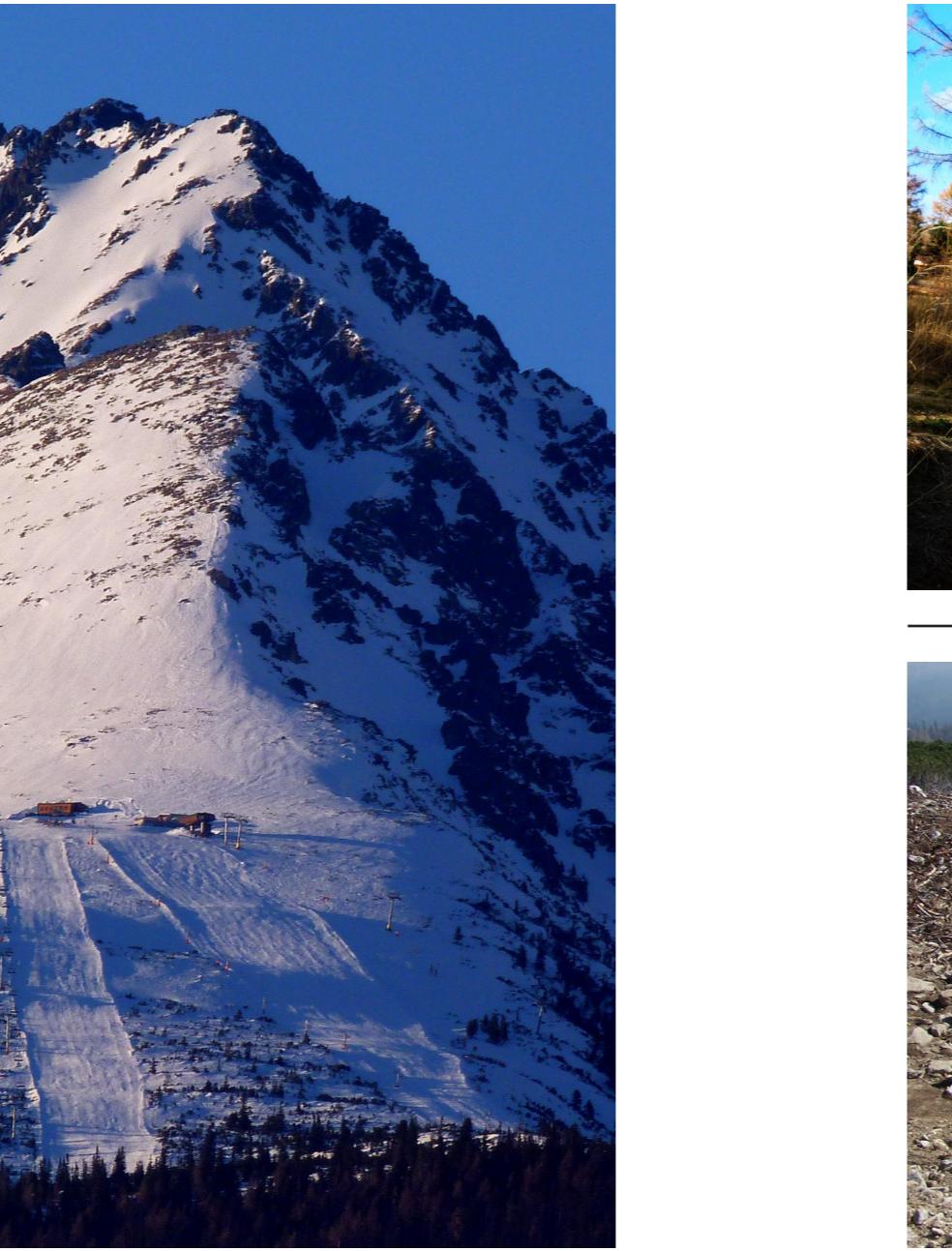




1

1. Komu Patria Tatry? / Who owns the Tatras? Hotel Patria v Štrbskom Plese. / Patria Hotel in the Štrbské Pleso Village. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. Lyžiarsky svah pod Soliskom leží na hlavnom európskom rozvodí. Voda zo snehu vľavo sa dostane do Furkotskej doliny, Bieleho Váhu, Dunaja a Čierneho mora. Voda zo snehu vpravo stečie do Mlynickej doliny, Popradu a Baltského mora. / The ski slope below the Solisko lies on the main European watershed. Water from the snow to the left runs to Furkotská dolina Valley, Biely Váh and Danube rivers, and finally to the Black Sea. Water from the snow on the right flows into the Mlynická dolina Valley, Poprad River and the Baltic Sea. Foto / Photo: Peter Reichwalder.



2



1



2

3



Man in the Tatras 56

1. Významnejšie človekom spôsobené zmeny pôvodných lesných porastov začali už pred 3 000 rokmi. / Significant man-made changes of the untouched forests began 3,000 years ago. Holá úboč. / Holá úboč Hillside. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. K výstavbe zjazdoviek niet čo dodať... / There is nothing more to add to the ski slopes construction... Skalnaté pleso. / Skalnaté pleso Tarn. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

3. S dĺžkou 5,5 km je najdlhšia zjazdovka v strednej Európe v Lomnickom sedle. / With a length of 5.5 km, the longest ski slope in Central Europe is in Lomnické sedlo Saddle. Foto / Photo: Ján Madarás.



57

Človek v Tatrách



1

1. Tatry s ľudskou tvárou. / The Tatras with a human face. Kriváň / Kriváň Peak. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. Detvianske kríže od Jozefa Fekiača-Šumného. / Carved wooden "Detva crosses" by Jozef Fekiač-Šumný. Symbolický cintorín pri Popradskom plese. / Symbolic cemetery near Popradské pleso Tarn. Foto / Photo: Ján Madarás.

Foto na nasledujúcej strane / Next page photo. Žiarska dolina, svah Baranca. Blíži sa letná búrka od severu, od Hrubej kopy. / Žiarska dolina Valley, Baranec slope. A summer storm is approaching from the north, from Hrubá kopa Hill. Foto / Photo: Ján Madarás.



Nešťastie chodí po horách

Geologickú história Tatier z dnešného pohľadu predstavuje stovky miliónov rokov dlhá reťaz pretkaná prírodnými katastrofami, často obrovských rozmerov, ktoré sa postupne podieľali na sformovaní tých Tatier, ktoré dnes chodia obdivovať tisícky návštěvníkov. K prírodným katastrofám dochádzalo stále, aj pred historickými dobami odkedy Tatry osídlił človek. Zmienky o prírodných nešťastiach často nachádzame v archívnych záznamoch. Ide však len zriedkavo o katastrofy vyvolané geologickými silami (zemetrasenia, skalné zrútenia, zosuny). Oveľa častejšie sú tieto udalosti spôsobené klimatickými a poveternostnými anomáliami (polomy lesných porastov, ničivé víchrice). Avšak aj napriek tomu, geologickej poznatky môžu významne pomôcť v predvídanií dopadov veterálnych smršťí na tatranské lesné porasty. Stupeň ich deštrukcie do značnej miery závisí od charakteru horninového podložia a výšky hladiny podzemnej vody. Presvedčivo to ukazujú aj dopady posledných veľkých veterálnych kalamít z 19. novembra 2004 a 15. mája 2014. Lesné porasty s plynko uloženým koreňovým systémom, rastúce na substráte tvorenom zvetranými piesčitými a štrkovitými sedimentmi, boli pri týchto udalostiach na veľkých plochách vyvrátené aj s koreňmi. Naproti tomu lesné porasty rastúce na kamenitých svahových sutinách alebo na nezvetraných častiach najmladších morén boli oveľa menej postihnuté a víchrica tu často ulamovala len vrcholce stromov. Premnoženie lykožrúta – biologická kalamita, nasledujúca tú poveternostnú, zvyčajne úplne zničí zvyšky nezdolaného lesa. Príroda si však vyberá aj svoju krutú daň v podobe vyhasnutých životov ľudí túžiacich po kráse našich hôr.

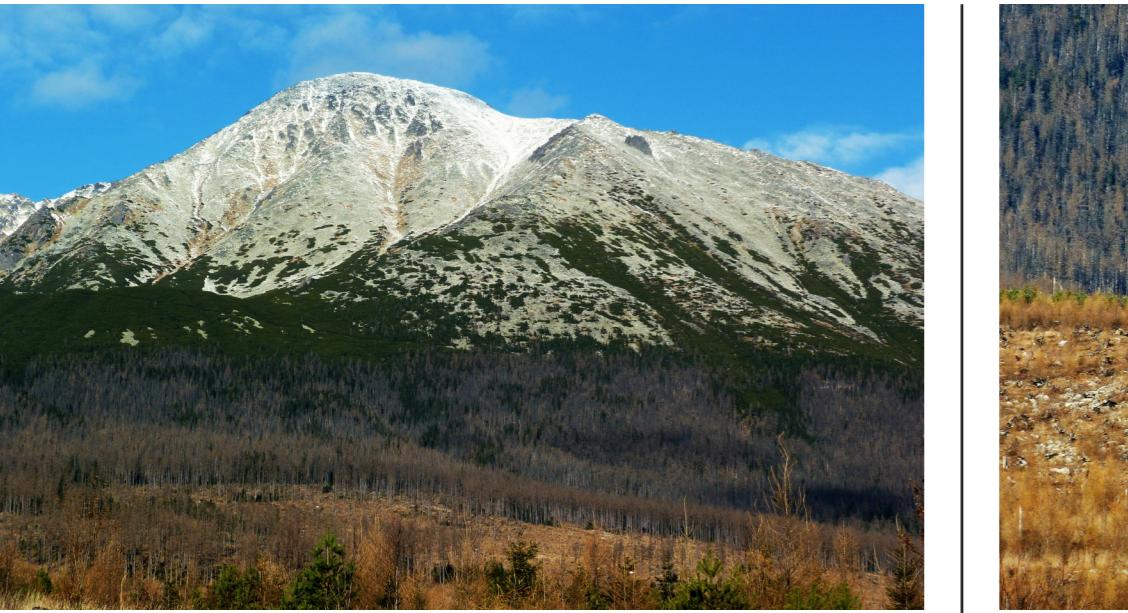
Popoludní 19. novembra 2004 sa Tatry zmenili na nepoznanie. Foto: Peter Reichwalder.

Misfortune walks the mountains

From today's perspective, the geological history of the Tatras is represented by a hundreds of millions of years long chain interwoven with natural disasters, often of enormous proportions, which have gradually contributed to the formation of the Tatras. Natural disasters were still occurring, even before historical periods, ever since the people first settled the Tatras. References to natural disasters can often be found in archive records. However, these disasters are rarely caused by geological forces (earthquakes, rockfalls, landslides). More often, these events are caused by climatic and weather anomalies (devastating storms damaging timber). Nevertheless, geological knowledge can significantly help in predicting the impact of windstorms on the Tatra forests. The degree of their destruction largely depends on the nature of the substrate and the groundwater level. It was clearly demonstrated by the impact of the last major wind disasters on 19 November 2004 and 15 May 2014. A forest composed of trees possessing a shallow root system, growing on a substrate formed by weathered sand and gravel, were completely uprooted in wide areas. On the other hand, forests growing on talus slopes or unweathered parts of the youngest moraines were much less affected, and storms often severed only treetops. The outbreaks of the spruce bark beetle – a directly following biological calamity, completely wipe out the remains of an unaffected forest. Nature has also taken its cruel toll in form of the human lives longing for the beauty of our mountains.

In the afternoon of November 19, 2004, the Tatras became unrecognizable. Photo: Peter Reichwalder.





1. Tatranská bóra dosahuje rýchlosť až 230 km/h. / The Tatra bora reaches speeds of 230 kph. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Drevokazné huby predstavujú dôležitý článok obnovy lesa. / The wood-decay fungi are an important link in forest regeneration. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Takmer každý rok sa Tatrami preženie víchrica. / Almost every year the Tatra Mountains survive a storm. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

1. Horská záchranná služba. / Mountain rescue service. Mengusovská dolina. / Mengusovská dolina Valley. Foto / Photo: Radoslav Biskupič.
2. Impozantný drevený kríž všetkým obetiam hôr pred Symbolickým cintorínom pri Popradskom plese. / An impressive wooden cross dedicated to the all victims of the mountains. Symbolic cemetery near Popradské pleso Tarn. Foto / Photo: Zora Abaffyová.



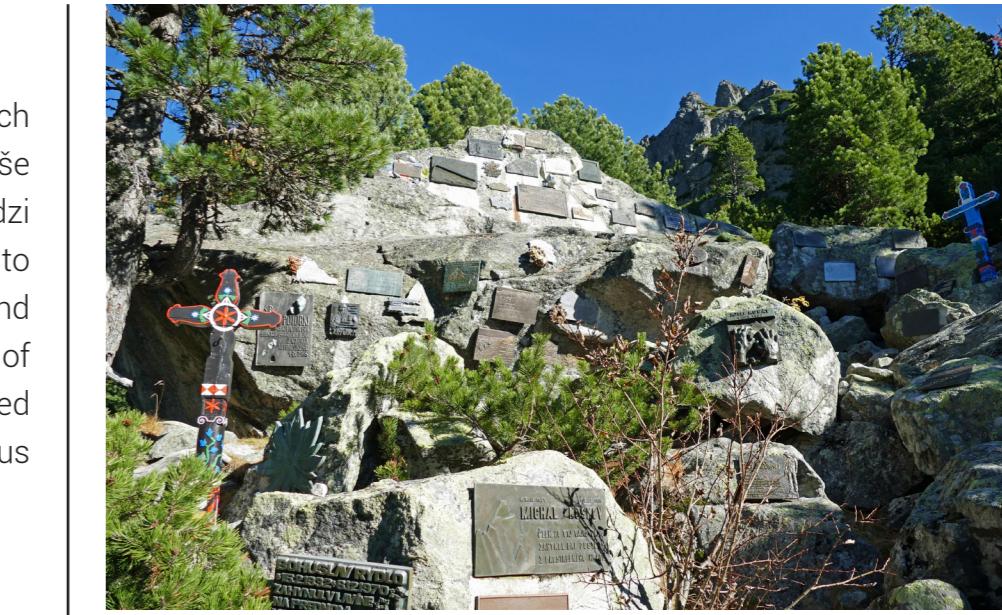
1

1. V zime drevenice v obci Ždiar pod Belianskymi Tatrami zasype aj viac ako meter snehu. / In the winter, wooden houses in the Ždiar village, under the Belianske Tatry Mts. are covered with more than a one meter of snow. Foto / Photo: Peter Reichwalder.

2. Žiarska dolina v Západných Tatrách spustošená lavínou 25. marca 2009. Snehom bola pokrytá aj dva roky po jej páde. / Žiarska dolina Valley in the Západné Tatry Mts. devastated by an avalanche on 25th of March 2009. The valley was covered by snow even two years after. Foto / Photo: Ján Madarás.



2



1

1. "Mŕtvym na pamiatku, živým pre výstrahu" 56 drevených maľovaných krížov a stovky kovových tabuľiek pripomínajú vyše 500 obetí všetkých hôr sveta. Symbolický cintorín založený medzi rokmi 1932-1940 upozorňuje na zradnú krásu hôr. / "Dead to the memory, alive for warning". 56 wooden painted crosses and hundreds of metal plates commemorate more than 500 victims of all the mountains of the world. The symbolic cemetery, established between years 1932-1940, draws attention to the treacherous beauty of the mountains. Foto / Photo: Ján Madarás.

Zlato nezlatô

Tatry svojou majestátnosťou a veľkolepou geologickou stavbou v minulosti príťahovali záujem hľadačov rúd a pokladov, či dobrodruhov bažiacich po rýchлом zbohatnutí, ale aj serióznych geológov (prospektorov) ťažiarenských spoločností. Svedčí o tom veľké množstvo historických záznamov aj mnoho roztrúsených stôp po ich aktivitách na celom území Tatier. Starí prospektori, ovplyvnení správami o bohatstve rudných ložísk Slovenského rудohoria, Štiavnických a Kremnických vrchov sa domnievali, že také mohutné pohorie ako sú Vysoké Tatry musí ukrývať aj veľké nerastné bohatstvo – predovšetkým zlato. S výnimkou zrudnenia so zlatom v oblasti Kriváňa, ktoré sa v minulosti takmer celé vytažilo, o ostatné malé ložiská už nie je záujem. Potenciálne nerudné suroviny, ako napríklad granity, nie sú pre ich intenzívne tektonické porušenie vhodné pre ušľachtiliejsiu kamenársku výrobu. Pre dnešné i budúce Tatry je však oveľa dôležitejšie, že geologické sily a procesy boli o to štedrejšie pri vytváraní geologickej stavby, ktorá sa v rozhodujúcej miere podieľa na súčasnom malebnom tatranskom vzhľade. Ostáva nám veriť, že Tatry sa už vyhnú ďalším exploatačným horúčkam (vrátane ťažby dreva) a s nimi spojenej devastácie krajiny a tatranská príroda ostane neporušená pre jej objavovanie, spoznávanie i turisticko-rekreačné a liečebné využívanie.

Vďaka osobitej horskej klíme sa v 19. storočí mnohé tatranské osady stali vyhľadávanými liečebnými kúpeľmi. Istota zasnežených svahov tieto hory predurčuje k tomu byť magnetom pre milovníkov zimných športov.

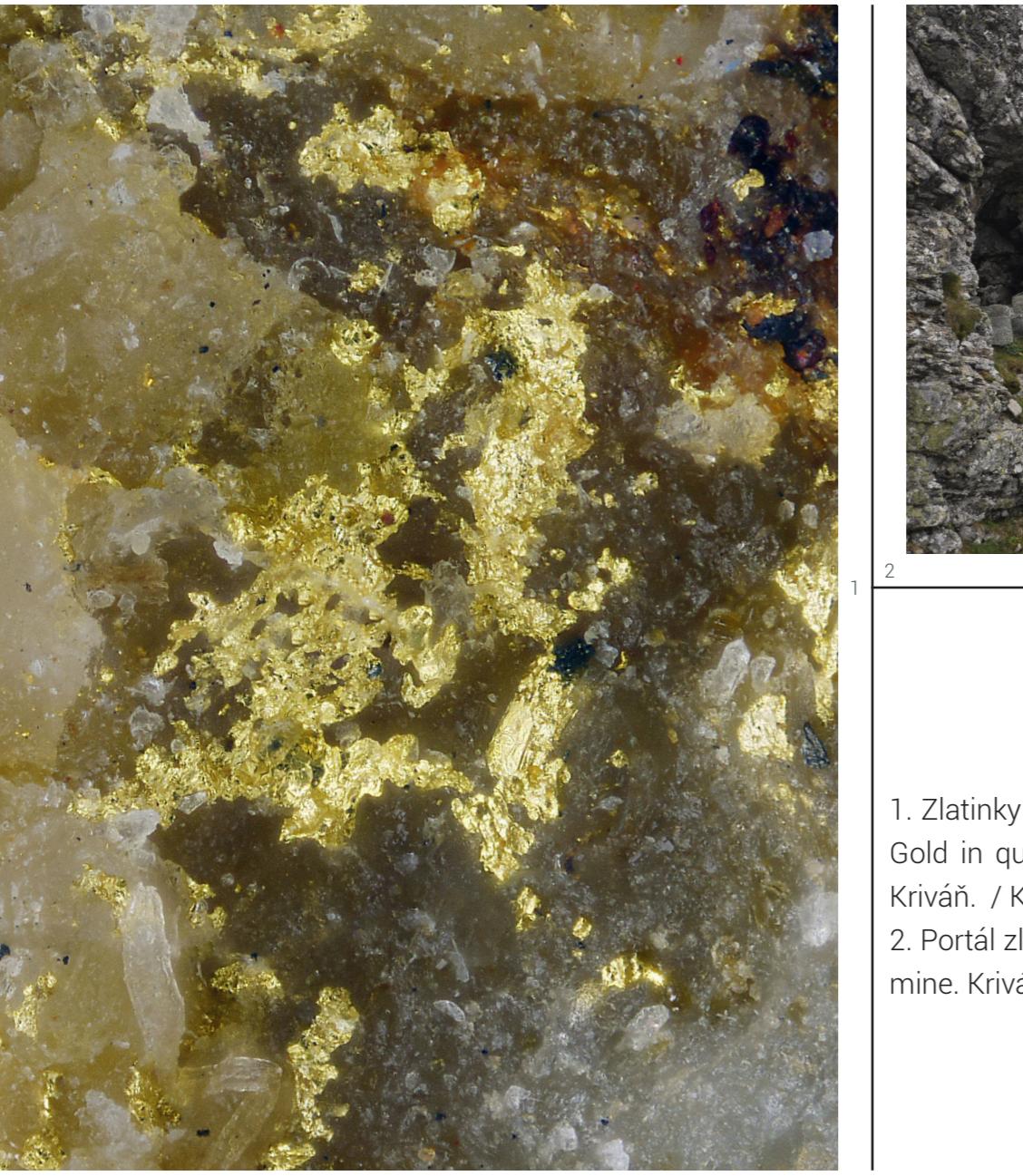
Vitamín A, E, C, B1, B2, B6, kyselina listová, vápnik, železo, zinok, fosfor, med, horčík a betakarotén. Foto: Peter Reichwalder.

Not only gold has a value

The Tatras, with their splendour and imposing geological structure, have in the past attracted the interest of ore and treasure hunters, or adventurers seeking a quick wealth, as well as serious geologists (prospectors) of mining companies. This is evidenced by a large number of historical records and scattered traces of their activities throughout the Tatras. Old prospectors, influenced by reports on the richness of ore deposits of the Slovenské rúdohorie Mountains, Štiavnica and Kremnica Hills, believed that such massive mountains as the High Tatras must house large mineral resources – especially gold. Outside of the gold mineralization in the Kriván Peak region, which was almost entirely mined out in the past, there is no more interest in other local minor deposits. Potential non-ore deposits, such as granites, are not suitable for a stonecutting purposes due to their intense tectonic failure. However, for the current and future Tatras, it is much more important that the geological forces and processes are more generous in creating a geological structure that plays a decisive role in the present-day picturesque Tatra appearance. We hope that the Tatras will avoid further exploitation fevers (including logging) and the associated landscape devastation, and the Tatra nature will remain intact for discovering, exploration, tourism, recreational, and therapeutic use. Thanks to its distinctive mountain climate, many Tatra localities became sought-after health spas in the 19th century. The certainty of snow-covered slopes makes these mountains a magnet for winter sports lovers, as well.

Vitamin A, E, C, B1, B2, folate, calcium, iron, zinc, phosphorus, copper, magnesium and beta-carotene. Photo: Peter Reichwalder.





67 Zlato nezlato

1

1. Zlatinky v kremennej žilke. Veľkosť najväčšej zlatinky je 3,5 mm. / Gold in quartz vein. The size of the largest gold flake is 3.5 mm. Kriváň. / Kriváň Peak. Foto / Photo: Radovan Bednár.
2. Portál zlatej štôlne František. / Portal (adit) of the "František" gold mine. Kriváň. / Kriváň Peak. Foto / Photo: Peter Ondrus.

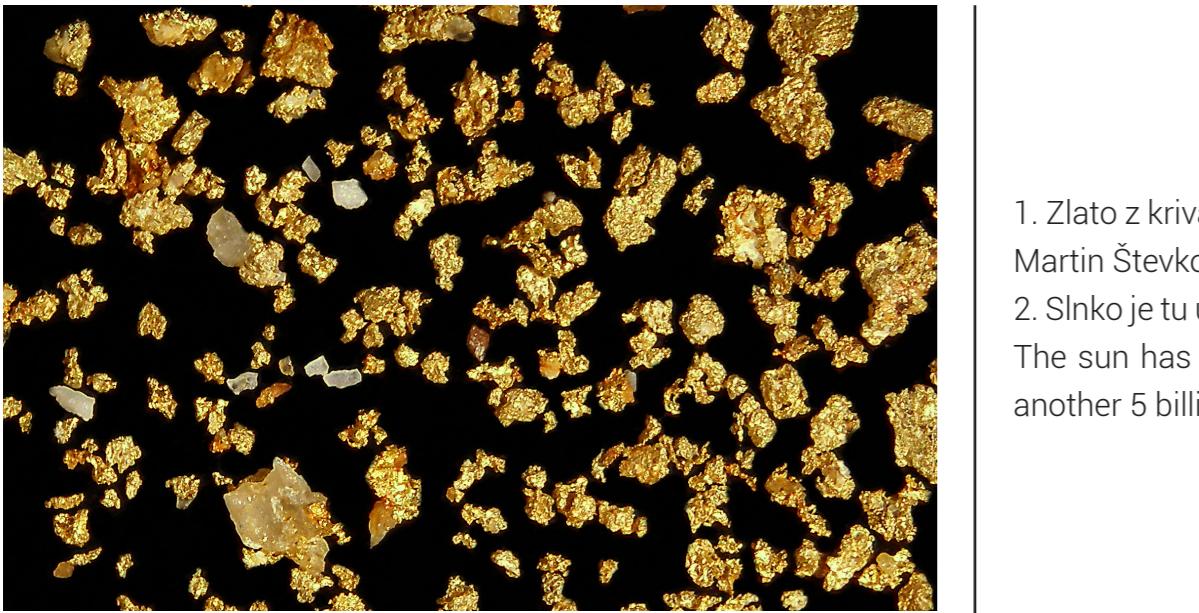


1

1. Chodba zlatej štôlne. / Gallery in the gold mine. Kriváň. / Kriváň Peak. Foto / Photo: Peter Ondrus.
2. Brochantit - sekundárny minerál medi. / Brochantit - a secondary copper mineral. Foto / Photo: Martin Števko.



Not only gold has a value 68



1. Zlato z krivánskych žíl. / Gold from the Kriváň veins. Foto / Photo: Martin Števko.
2. Slnko je tu už 4,5 miliardy rokov. A ďalších 5 miliárd tu ešte bude. / The sun has been here over 4.5 billion years. And will be here for another 5 billion. Foto / Photo: Ján Madarás.

1

2



1

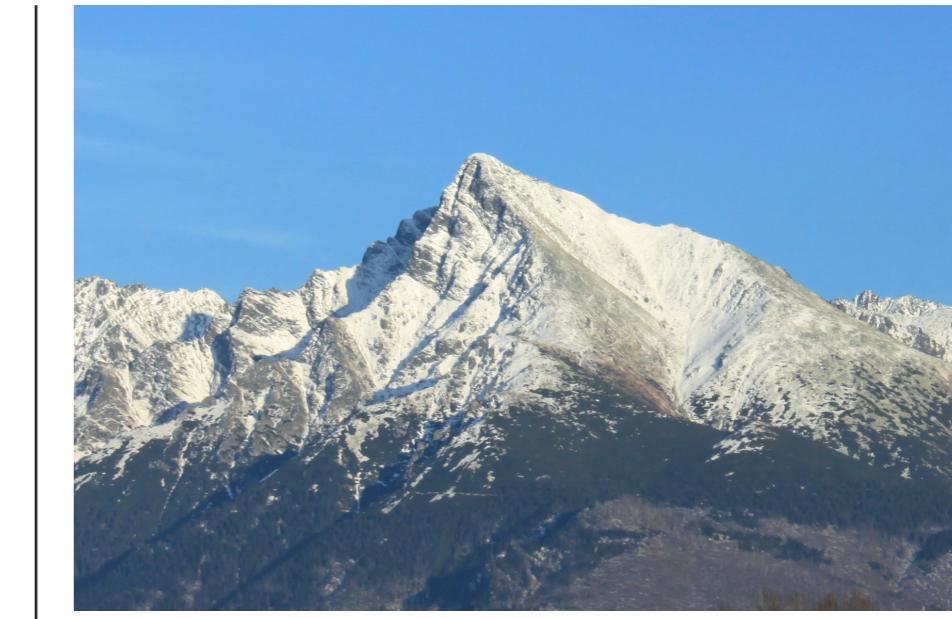
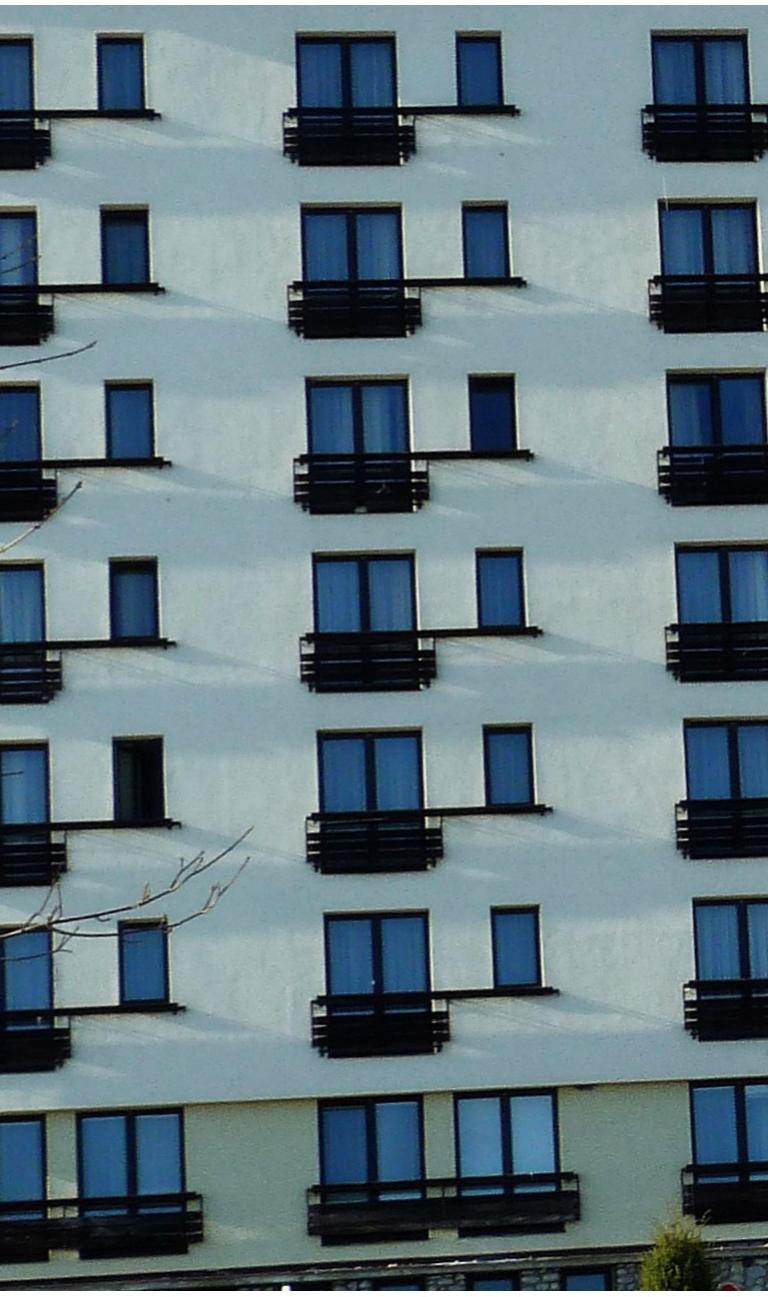
2

1. Žltohlav najvyšší (*Trollius altissimus* Crantz, 1886). / Globeflower (*Trollius altissimus* Crantz, 1886). Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Klenot našej prírody a endemit Tatier - Kamzík vrchovský tatranský (*Rupicapra rupicapra tatraica* Blahout, 1971/1972). / Jewel of our nature and endemic to the Tatras - Tatra chamois (*Rupicapra rupicapra tatraica* Blahout, 1971/1972). Foto / Photo: Ján Madarás.





1. Umelé zasnežovanie zjazdoviek môže spôsobiť straty vodných zdrojov. / Artificial snowing can induce water source exhaustion. Oravice v Západných Tatrách. / Oravice Settlement in the Západné Tatry Mts. Foto / Photo: Ján Madarás.
2. V slatinách a plesach aj dnes vzniká nerastná surovina – rašelina. / Mineral raw material – peat is still produced in moors and tarns. Nové Štrbské pleso. / New Štrbské pleso Tarn. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
3. Ročne sa na Slovensku vyťaží približne 10 miliónov kubíkov dreva. / Approximately 10 million cubic meters of timber are logged in Slovakia every year. Foto / Photo: Peter Reichwalder.



1. Zlatá horúčka na iný spôsob. / Gold fever in a different way. Foto / Photo: Peter Reichwalder.
2. Náš „zlaták“. / Our “gulden” coin. Kriváň. / Kriváň Peak. Foto / Photo: Ján Madarás.

Prečo sú Tatry najvyššie?

Prečo sú Tatry najvyšším pohorím Karpát? Prečo je Gerlach najvyšší? Zväčšuje sa výška Tatier? Otázky sú jednoznačné a jednoduché, no odpovede nebudú také priamočiare. V nasledujúcich riadkoch sa na ne pokúsime odpovedať na základe súčasných vedeckých poznatkov.

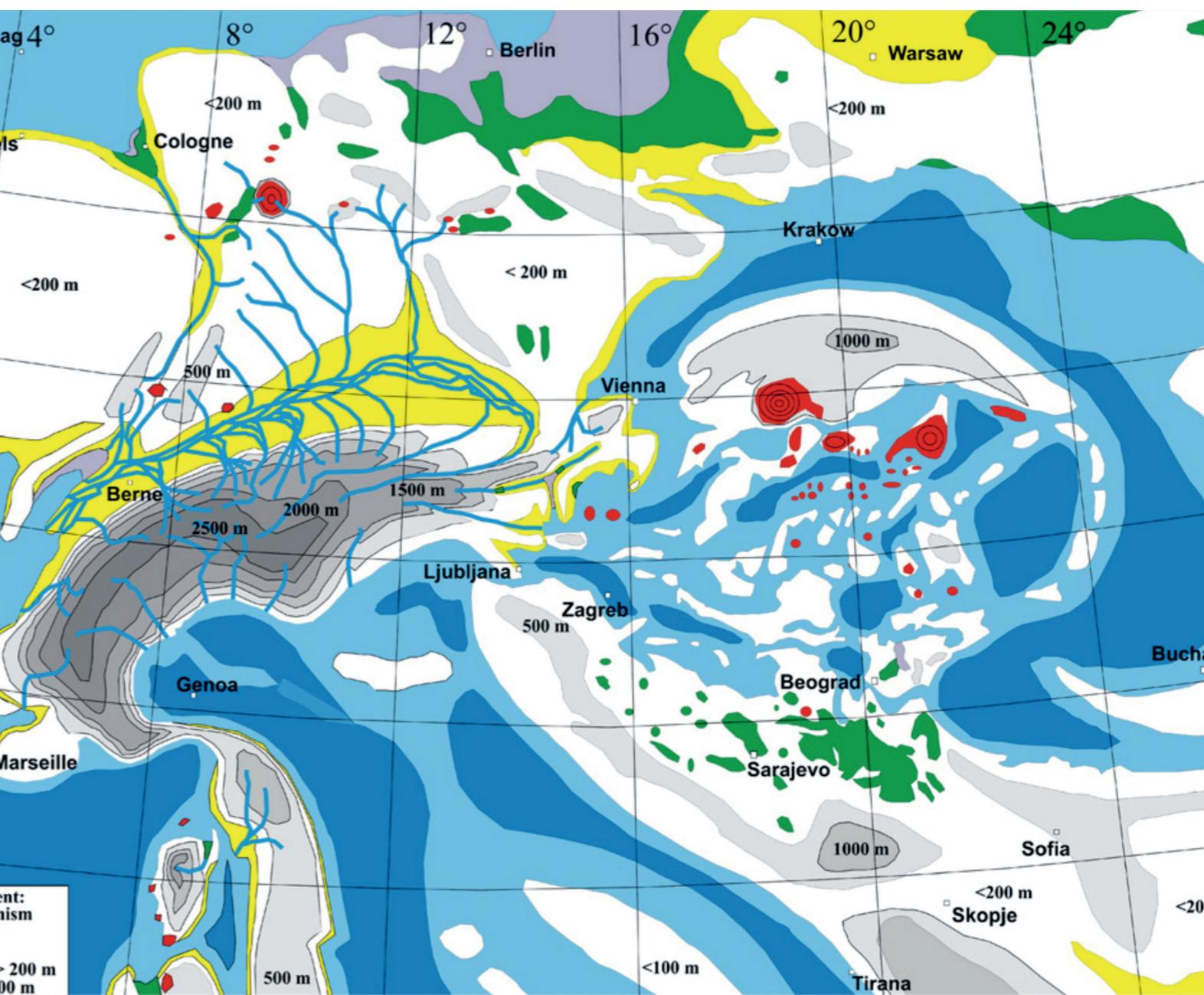
Názov geomorfologických celkov, ktoré vo svojom základe obsahujú slovo Tatry je viacero. My budeme hovoriť hlavne o Vysokých Tatrách, ale spomenieme aj Západné Tatry, Podtatranskú kotlinu a okrajovo aj Nízke Tatry.

Pri pohľade na mapu karpatského oblúka nás zaujme jeho symetrický tvar s vyklenutím na sever. Západné Karpaty, ktorých geologicou a geografickou súčasťou sú aj Tatry, vytvárajú túto rozmernú klenbu. Poloha vo vrchole tektonického dvíhania klenby sa prejavuje v tom, že Tatry sú najvyšším pohorím Západných Karpát (aj celého karpatského oblúka). Zároveň majú aj najčlenitejší reliéf. V centre klenby nachádzame aj najvyššie položenú kotlinu Západných Karpát – Podtatranskú. Výnimcočný je aj najväčší výškový rozdiel medzi kotlinou a pohorím, aký nenachádzame nikde inde v Západných Karpatoch. Rozdiel medzi najvyššími končiarmi Tatier a dnami kotliny dosahuje aj dvatisíce metrov, čo znásobuje monumentálny pohľad na Tatry, hlavne od juhu.

Aby sme si priblížili vznik Tatier, musíme sa v geologickej histórii pozrieť viac dozadu a na väčšie územie. Súčasné Tatry sú relatívne mladou morfológickej štruktúrou, ktorá sa začala v oblúkovom tvaru Karpát vytvárať v mladších treťohorách (miocéne), pred 18–11,5



Monumentálne Vysoké Tatry z Podtatranskej kotliny. Pohľad od Važca. Foto: Ján Madarás. / Monumental High Tatras Mts. from the Podtatranská kotlina (Sub-Tatra Basin). View from the Važec area. Foto / Photo: Ján Madarás.

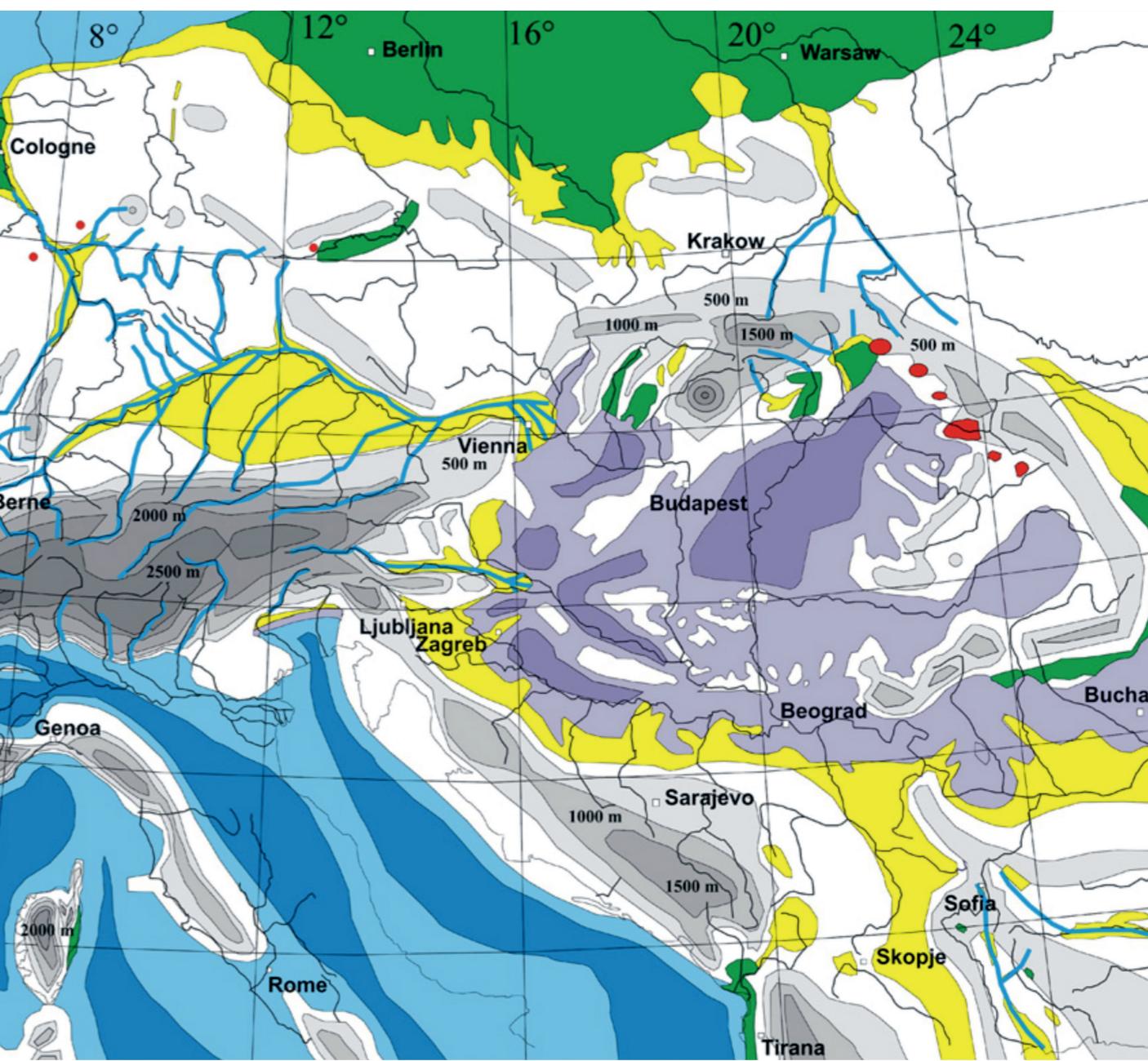


miliónmi rokov (Berger et al., 2005; Kuhlemann, 2007; Kováč et al., 2017). Vtedy sa výrazne začal formovať oblúk centrálnych Západných Karpát od Malých Karpát na západe po Zemplínske vrchy na východe. Tatry však vtedy neboli najvyšším pohorím Karpát, v rámci centrálnych pohorí to bolo pravdepodobne Slovenské rudohorie, kde sa predpokladajú nadmorské výšky cez 1000 metrov (Kuhlemann, 2007). Na juhu a východe Slovenska, v Maďarsku a rumunských Apusenách prebiehala silná vulkanická činnosť. Najmohutnejším bol štiavnický stratovulkán, ktorý dosahoval výšku 3500–4000 m (Konečný & Lexa, 2001; Konečný, 2008). Aj stratovulkán Poľana a Veporský stratovulkán dosahovali výšku okolo 3000 m (Konečný et al., 2015). Južné časti Slovenska – Viedenská, Dunajská a Panónska panva, predkarpatské zníženiny, ale aj na severe ležiace Vonkajšie Karpaty v časti územia Moravy a južného Poľska, boli zaliate morom. V rozľahlej Panónskej panve vystupovali početné ostrovy. Pobrežie bolo rovinaté, pokryté močiarmi, bažinami s bohatou flórou sa vyskytovali aj vo vnútrozemí Nemecka, Poľska, Česka, Slovenska a ďalších krajín juhovýchodnej Európy. V tom čase vznikli obrovské ložiská hnedého uhlia a lignitu. Klíma bola vlhká, subtropická, s priemernou ročnou teplotou medzi 15–19°C (Erdei et al., 2007).

Podstatná paleogeografická a paleoenvironmentálna zmena v centrálnej Európe sa udala v sarmate, resp. začiatkom panónu (11–9 miliónov rokov). V oblasti severného Chorvátska a Slovinska sa severodinárské pohoria vyzdvihli a prepojili s južnou časťou Centrálnych Východných Álp. Bázensko-sarmatské more (ca. 15-12 miliónov rokov), zvané Centrálna Paratetyda, vo vnútornej časti Karpát prestalo komunikovať so Stredozemným morom a zmenilo sa na rozsiahle Panónske jazero. Počas svojho najväčšieho rozsahu (okolo 290 tisíc km²)

Obrázok na predchádzajúcej strane: Paleogeografická mapa strednej Európy pred 15 miliónmi rokov vrátane paleotopografických odhadov výšok pohorí a prírodného prostredia. Červenou sú vyznačené aktívne vulkány. Žltá označuje suchozemské usadeniny na morskom pobreží a v povodí veľkých riek. Zelené sú sladkovodné jazerné sedimenty. Biela a odtiene sivej reprezentujú pevniny s predpokladanou výškou nad morom. Modrosivá na severe (pri meste Berlin) predstavuje bracké prostredie so zníženou salinitou vody. Odtiene modrej znázorňujú morské prostredie. (Kuhlemann, 2007). / Previous page figure: Paleogeographic map of the central Europe 15 millions year ago, including paleotopographic estimates expressed as peak envelopes, and the environmental setting: red - active volcanism, yellow - terrestrial sediments, green - lacustrine (lakes) sediments, bluegray - brackish sediments in the northern part (Berlin vicinity), blue - marin (sea) environment (Kuhlemann, 2007).

Obrázok na nasledujúcej strane: Paleogeografická mapa strednej Európy pred 8 miliónmi rokov vrátane paleotopografických odhadov výšok pohorí a prírodného prostredia. Červenou sú vyznačené aktívne vulkány. Žltá označuje suchozemské usadeniny na morskom pobreží a v povodí veľkých riek. Zelené sú sladkovodné jazerné sedimenty. Biela a odtiene sivej reprezentujú pevniny s predpokladanou výškou nad morom. Modrosivá v Panónskej panve predstavuje bracké prostredie Panónskeho jazera so zníženou salinitou vody. Odtiene modrej znázorňujú morské prostredie. (Kuhlemann, 2007). / Next page figure: Paleogeographic map of central Europe 8 millions year ago, including paleotopographic estimates expressed as peak envelopes, and the environmental setting: red - active volcanism, yellow - terrestrial sediments, green - lacustrine (lakes) sediments, bluegray - brackish sediments in the Pannonian Basin with Pannonian lake, blue - marin (sea) environment (Kuhlemann, 2007).

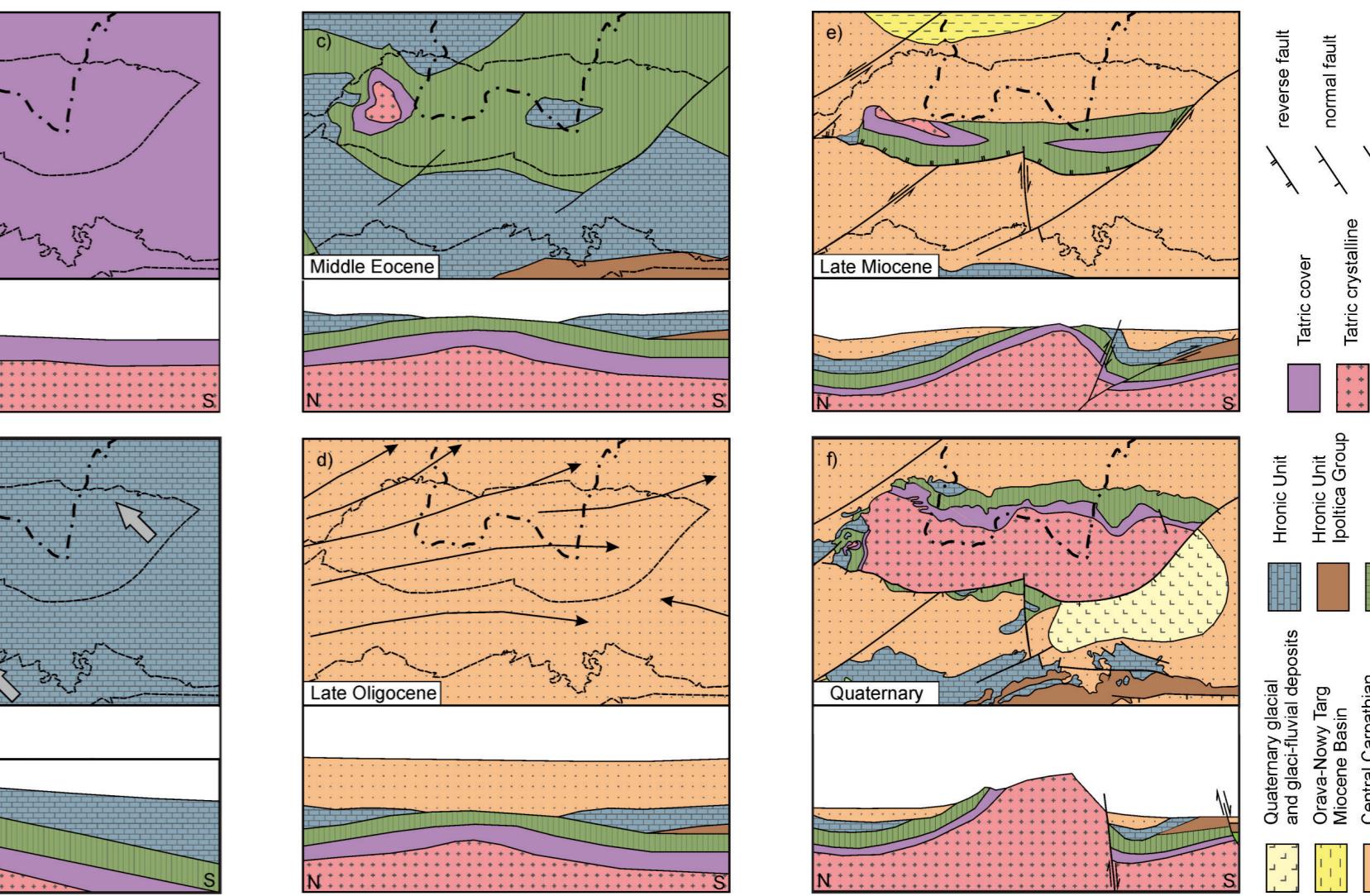


išlo o najväčšie jazero v európskej oblasti, s maximálnou dĺžkou 860 km a šírkou 550 km, väčšinou s hĺbkou do 200 m, pričom najhlbšie časti dosahovali hĺuku do 1000 m v oblasti južného Maďarska (Magyar et al., 1999; Balázs et al., 2018). Pred 9–8 miliónmi rokov už boli základné kontúry Európy podobné dnešnému. Alpy presahovali výšku 3000 m, rudoohorsko-nízkotatranská oblasť bola okolo 1500 m vysoká. Najvyššími bodmi Karpát ostali sopečné pohoria, erodovaný štiavnický stratovulkán ešte presahoval 2000 m (Kuhlemann, 2007). Pred necelými 6 miliónmi rokov sa naplaveninami mohutných tokov z Álp (Dunaj a jeho prítoky) a Karpát (Váh, Hron, Tisa a rumunské rieky) takmer bez zvyšku vyplnila Panónska panva. Panónske jazero sa postupom času zmenšovalo, rozdrobilo sa na prietočné dunajské jazerá, až napokon zaniklo. V oblasti Západných Karpát v tom čase existovali aj iné veľké sladkovodné jazerá (napr. v Turčianskej kotlinе (Kováč et al., 2011), v Rimavskej a Košickej kotlinе).

V rámci alpínskeho tektonického vývoja Západných Karpát sa už viac ako 50 rokov v geologickej vedeckej komunitе uznáva fakt, že Západné Karpaty vznikali pri tektonických udalostiach, ktoré sa zmladzujú od vnútorných (južných) zón smerom na vonkajšie (severné) tektonické zóny a geologické jednotky (Andrusov, 1968; Andrusov et al., 1973; Hók et al., 2019). Znamená to, že južnejšie pohoria sa vyzdvihovali skôr ako tie severnejšie. Je to zrejmé napr. z datovaní výstupu kryštalických jadier slovenských pohorí metódou „Fission track“. Táto metóda je založená na prirodzenom rádioaktívnom rozpade uránu v kryštáloch minerálov zirkónu a apatitu, pri ktorom v týchto mineráloch vznikajú veľmi drobné trhliny – štiepne stopy. Tie sú stabilné, resp. viditeľné po určitú teplotu, pri vyššej teplote zmiznú, preto ak sa vyskytujú v zmienených mineráloch, tak vieme, že hornina nemohla byť v danom čase v hĺbke väčšej ako približne 3 kilometre. Tu je teplota (pri bežnom geotermickom gradiente zvyšovania teploty s hĺbkou) už taká vysoká, že sa tieto stopy zmazávajú. Z údajov vieme, že napr. granitoidné (žulové) horniny vo vnútorných kryštalických pohoriach (Slovenské rudoohorie) sa v hĺbke okolo 3 km nachádzali už pred 80–60 miliónmi rokov, východná časť Nízkych Tatier (Kráľovoohorské Tatry) sa zdvíhali pred 60–55 miliónmi rokov (Vojtko et al., 2016), Malé Karpaty, Tribeč, Žiar a západná časť Nízkych Tatier (Ďumbierske Tatry) pred 45–30 miliónmi rokov. Kryštalické jadrá vonkajších, resp. severnejších jadrových pohorí – Považský Inovec, Veľká Fatra, Malá Fatra a Tatry (Západné a Vysoké) boli v hĺbke okolo 3 km pod povrchom pred 20–10 miliónmi rokov (Králíková et al., 2014).

Tatry sú tektonicky mladým horstvom. Napriek tomu, že ich jadro je zložené zo starých kryštalických hornín prvhôr (paleozoika) s vekom medzi 500 až 350 miliónov rokov. V najmladších obdobiach geologickejho vývoja – koncom mladších treťohôr (neogénu) a v štvrtohorách (kvartéri), boli vyzdvihnuté pozdĺž zlomov v severnom a južnom podhorí vo forme hrasti spod pokrývajúcich hrubých sedimentov druhohôr (mezozoika) a starších treťohôr (paleogénu), ktoré ostali ako zaklesnuté kryhy v podtatranských kotlinách a sčasti na severnej strane Tatier.

Na zodpovedanie zaujímavej otázky, o koľko sa Tatry vyzdvihli si uvedme modelový príklad. Pred 10 miliónmi rokov bolo žulové jadro Tatier v hĺbke okolo 3 km. Odtedy sa žuly dostali do dnešnej nadmorskej výšky 2500–2600 m. Ak berieme do úvahy, že eróziou v kvartéri



Schematický náčrt geodynamického vývoja Tatier od vrchnej jury po kvartér, zobrazený na tektonických mapách a zjednodušené geologické rezy približne pozdĺž strednej časti máp. Poznámka: sivé šípky v bode b) predstavujú všeobecný smer tektonického tlaku koncom kriedového obdobia (Králíková et al., 2014). / Schematic sketch of the geodynamic evolution of the Tatra Mts during the Late Jurassic to Quaternary depicted in tectonic maps and simplified geological cross sections striking approximately along the middle part of the maps. Note: grey arrows in b) represent general direction of thrusting (Králíková et al., 2014).



Dynamika tektonických procesov počas kompresných fáz formovania Tatier sa prejavila vznikom veľkých vrás nielen v mezozoických, vápencovo - dolomitových súvrstviach, ale aj hlboko v podložnom žulovom masíve. Vrásy v Dračej dolinke Mengusovskej doliny v masíve Veľké Kôpky. / The dynamics of tectonic processes during the compression phases of the Tatras formation manifested itself in the formation of large scale folds, not only in the Mesozoic (limestone - dolomite) formations, but also deep in the underlying granite massif. Folds in the Dračia dolinka Valley of the Mengusovská Valley of the Veľké Kôpky massif. Interpretácia a foto / Interpretation and photo: Ján Madáras.

(najmä ľadovcovou) sa obnažila z hrebeňov časť kryštalínika v hrúbke 200–400 m, potom je možné predpokladať, že za 10 miliónov rokov sa celkovo Tatry vyzdvihli o 5–6 kilometrov. Priemerná celková rýchlosť výzdvihu Tatier je preto 0,5–0,6 mm ročne (Bezák et al., 2011).

Tatry svoju impozantnú morfológickú kontrastnosť nadobudli najmä v kvartéri. Lehotský a Lacika (2007) uvádzajú, že v spodnom pliocéne (zhruba pred 5,3 miliónmi rokov) vystupovali Tatry zo slabo členenej krajiny ako vrchy stredohorského charakteru a relatívne výškové rozdiely medzi susednými vrchmi nepresahovali 200–500 m. Až počnúc stredným pliocénom (pred 3,6 miliónov rokov) postihli tatranskú oblasť silnejšie tektonické pohyby a erózia, no ani v tomto období nevystupovali nad hornú hranicu lesa. Aj v období najstaršieho glaciálu donau (pred cca 1 miliónom rokov) neboli ešte také vysoké ako dnes, čo znamená, že horstvo nebolo zaľadené (Lukniš, 1973). V Tatrách sú teda preukázané tri obdobia zaľadenia: mindel (cca pred 350–250 tisíc rokmi), riss (cca pred 300–130 tisíc rokmi) a würm (cca pred 115–10 tisíc rokmi).

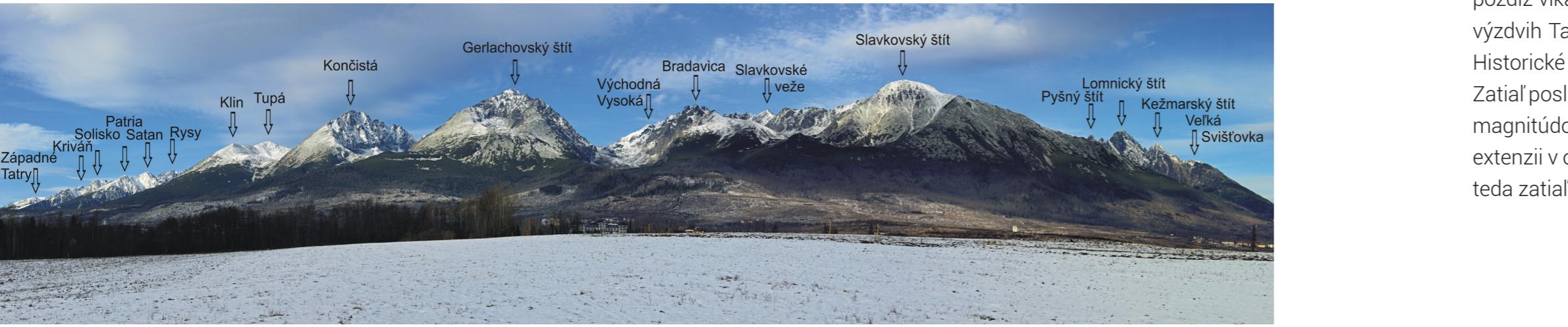
V úvode sme spomínali, že Tatry ležia v severnom vrchole karpatského oblúka. Tu je aj najväčšia hrúbka zemskej kôry dosahujúca až 36 km, zatiaľ čo na juhu v Dunajskej panve je hrúbka kôry okolo 28 km (Horváth et al., 2006). Napríklad v Alpách má kôra až 60 kilometrov a pod Himalájami 100 kilometrov. Tak ako v Tatrách predpokladáme najvyšší súčasný (recentný) výzdvih, tak v oblasti Gabčíkova prevláda najväčší pokles. Tiažový účinok ťažších hmôt má za následok, že na juhu (v Panónskej panve) sú oveľa nižšie pohoria, alebo úplne chýbajú a povrch tam klesá. Geologickým dôkazom je pohorie Považský Inovec. Aj keď jeho severná časť (masív Veľkého Inovca) sa dvíhala relatívne nedávno, podobne ako Tatry pred 14–18 miliónmi rokov, práve účinok ťažších hmôt spôsobuje, že Považský Inovec len tesne presiahol nadmorskú výšku 1000 m.

Prečo sú teda Alpy takmer dvakrát vyššie ako Tatry a takých pohorí ako Tatry je tam niekoľko desiatok? Príčina je v tektonickom tlaku a smere pôsobenia tektonických sôl. Kým Alpy vznikli ako dôsledok priameho, generálne severo-južne kompresne orientovaného tlaku Apeninskéj tektonickej dosky (Talianosko) na Český masív, Karpaty sa formovali do oblúkového tvaru pôsobením laterálnej extrúzie. Až pri náraze na severe ležiaci Baltský štít bol tlak priamy, generálne severo-južný (Králiková et al., 2014). To sa však prejavilo až v mladších treťohorách, v čase pred 20–10 miliónmi rokov. Vtedy sa pomaly končila zonalita vývoja západokarpatského oblúka a tektonicky orientovaný tlak sa začal presúvať do Východných a Južných Karpát. V súčasnosti je kompresný orientovaný tlak východo-západného smeru kolmý na ohyb Karpát v ich rumunskej časti, východne od Brašova. Súčasné kladné vertikálne pohyby tam dosahujú až 8 mm ročne (Bertotti et al., 2003), čo má za následok časte a silné zemetrasenia. Práve tam sa odohráva proces, aký pred miliónmi rokov dvíhal naše Tatry. Vrchy ešte nie sú vysoké, dosahujú do 1600 m a kryštalické jadro sa ukryva pod hrubým pláštom sedimentárnych hornín. Je ale možné, že za milión rokov bude práve tam najvyšší bod karpatského horstva. Zatiaľ je ním Gerlachovský štít. Málokto si uvedomí, že štíty Vysokých Tatier majú špecifickú stavbu. Bežne to vidieť iba pri Kriváni, ktorý je ako keby naklonený na západ. Ale keby ste sa pozreli od Svitu, alebo od Gerlachova

na panorámu Tatier, uvidíte, že staré svahy pôvodného reliéfu sa od Kriváňa až po Končistú nakláňajú smerom na západ. Gerlachovský štít sa neukláňa, je symetrický a masív vytvára kužeľovú horu. Od Gerlachu vpravo, sú úklony starých svahov na východ. Gerlach je symetricky v strede. Symetria Tatier pri pohľade od juhu je veľmi pôsobivá.

Gerlachovský štít má veľkú základňu, v masíve sú vlastne tri štíty – vpred od juhu vidieť Kotlový štít, za ním je schovaný Gerlachovský štít a za ním Zadný Gerlach. Je to aj jeden z dôvodov, prečo z Gerlachovského štítu nie sú pekné výhľady smerom na juh a sever. Vo výhľade prekážajú iné dva štíty, ktoré sú v hrebeni tohto masívu len o niečo nižšie, dobrý výhľad je iba na západ a východ. Výhľad sice nie je taký pôsobivý ako z iných tatranských štítov, ale svedčí o tom, že Gerlach má veľmi mohutnú a výrazne vyzdvihnutú základňu. Do takej miery, že jama v masíve, ktorá sa na prvý pohľad javí ako nejaký sopečný kráter, hoci so sopkou nemá nič spoločné, je najvyššie položeným samostatným ľadovcovým karom (kotlom) v rámci Tatier. Jeho spodná hrana sa končí vo výške okolo 2050 metrov nad morom. Bol to vlastne taký neúspešný pokus ľadovca vytvoriť novú ľadovcovú dolinu. Keby bol úspešný, tak Gerlach nebude najvyšším štítom.

Gerlachovský štít je zaujímavý aj z horninového (petrografického) hľadiska. Masív štítu a jeho okolia je trochu iného zloženia ako väčšina štítov Vysokých Tatier. Je špecifický, lebo veľkú časť Vysokých Tatier tvoria biotitické až dvojsľudové granite a porfyrické granite (Bezák et al., 2011), čo sú hrubozrnné kyslejšie horniny, zatiaľ čo oblasť Gerlachovského štítu tvoria bázickejšie, tmavšie typy granitoidných hornín – biotitické tonality až granodiority. Sú jemnozrnnejšie, kompaktnejšie, menej podliehajú erózii, čo môže byť tiež dôvodom, že masív



Panorama Vysokých Tatier od juhu, z Podtatranskej kotliny medzi Batizovcami a Gerlachovom. / Panorama of the Vysoké Tatry Mts. from the south (from the Podtatranská kotlina Sub-Tatra Basin) between Batizovce and Gerlachov villages. Foto / Photo: Ján Madarás.

Gerlachu je viac odolný voči zvetrávaniu ako zvyšok Tatier. V masíve nad Gerlachovským kotlom vystupujú aj „exotickejšie“ horniny – ruly s vápenato silikátovými rohovcami, zvané erlány. Sú to pôvodne vápnité typy hornín, ktoré obsahovali kremitú a ílovitú prímes. Pri teplotnej premene, ktorá bola počas prieniku žúl do horninového masívu, sa premenili na horniny zelenkastej alebo až červenkastej farby. Majú zhruba 400 miliónov rokov, čo znamená, že sú zhruba o 50 miliónov rokov staršie ako žuly. Pre Tatry sú typické rozoklané hrebene, úzke sedlá a štrbinu založené v silnejšie tektonizovaných, alebo drvených zónach. Niektoré z nich obsahujú aj slabé zrudnenie, so stopami stredovekej banskej činnosti najmä v masíve Kriváňa a Lomnického štítu. Silné tektonické porušenie hornín sa prejavuje ich menšou odolnosťou voči zvetrávaniu, na rozdiel od kompaktných "zdravých" žúl.

Vieme zodpovedať, či Tatry stále "rastú"? Aj keď súčasné technológie satelitných a veľmi presných geodetických meraní umožňujú robiť merania s milimetrovou presnosťou, odpoveď na túto otázku je zložitá. Údajmi sme preukázali výzdvih Tatier v geologickej história s priemernými hodnotami pod jeden milimeter ročne. Sú to priemerné hodnoty, ktoré v státiách až miliónoch rokov skutočne spôsobili vznik najvyššieho pohoria Karpát. Je však isté, že tieto pohyby sa diali etapovite, niekedy rýchlejšie, niekedy pomalšie, určitý čas mohli mať aj zápornú hodnotu. Tieto trendy mohli trvať desiatky, stovky, či tisíce rokov. Pri zemetraseniach mohli byť urýchlené aj skokovito. Záviseli aj od orientácie tektonického napäcia v konkrétnych geologických obdobiah. V Tatrách a ich podhorí sa ukazujú geologickej veľmi mladé štruktúry (napr. súčasný morfologický prejav podtatranského zlomu; Pánek et al., 2020), či pohorie Kozie chrby južne od Tatier, ktorého výzdvih pozdĺž vikartovského zlomu bol datovaný len na 120–180 tisíc rokov (Vojtko et al., 2011). I napriek tomu je v súčasnosti nemožné tvrdiť, že výzdvih Tatier stále pretrváva. Súčasná zemetrasná aktivita (Madarás et al., 2012) nie je výnimočnejšia ako inde v Západných Karpatoch. Historické údaje o zemetraseniach priamo v tatranskej oblasti sú nedôveryhodné a vykazujú veľkú mieru nepresnosti lokalizácie epicentier. Zatiaľ posledné makroseizmicky pocítené zemetrasenie bolo v poľskom podhorí Tatier (Podhalie) pri Zakopanom 30. 11. 2004 s maximálnym magnitudom ML 4,4 a sériou dotrasov až do 9. 12. 2004. Malo poklesový charakter (Wiejacz a Dębski, 2009) a svedčí skôr o prevládajúcej extenzii v oblasti ako kompresii a raste pohoria. Série presných geodetických meraní a seismický monitoring za ostatných 10–20 rokov nám teda zatiaľ nedovoľujú odpovedať na túto otázku, ale v súčasnosti výskum pokračuje.

Why are the Tatras the highest?

Why are the Tatras the highest mountains of the Carpathians? Why is Gerlach peak the highest? Is the height of the Tatras still increasing? The questions are clear and simple, but the answers will not be so straightforward. In this chapter, based on current scientific knowledge, we will try to answer them.

There are several names of geomorphological units, which in their basis contain the word "Tatras" ("Tatry" in Slovak). We will talk mainly about the Vysoké Tatry Mts., but we will also mention the Západné Tatry Mts., the Podtatranská kotlina Sub-Tatra Basin and, scarcely, the Nízke Tatry Mts.

Looking at the map of the Carpathian Range, an interesting symmetrical shape arching to the north appears. The Western Carpathians, of which the Tatras are both a geological and geographical part, create this large arch. The location at the top of the tectonic uplift of the arch is reflected in the fact that the Tatras are the highest mountains of the Western Carpathians (and the entire Carpathian Range). At the same time, they have the most intricate relief. In the center of this structure we also find basin, located in the highest altitude amongst all the Western Carpathian basins - the Podtatranská kotlina Sub-Tatra Basin. The difference in height between the basins and the mountains, which we do not find anywhere else in the Western Carpathians, is also exceptional. The difference between the highest peaks of the Tatras and the bottoms of the basins reaches two thousand meters, which enhance the monumental view of the Tatras, especially from the south.

To explain the origin of the Tatras, we need to look back to geological history and into a larger area. The present Tatras are a relatively young morphological structure that began to form in the arched shape of the Carpathians in the Late Tertiary (Miocene), 18–11.5 million years ago (Berger et al., 2005; Kuhlemann, 2007; Kováč et al., 2017). At that time, the arc of the Central Western Carpathians began to significantly shape, stretching from the Malé Karpaty Mts. in the west to the Zemplínske vrchy Hills in the east. However, the Tatras were not the highest mountains in the Carpathians at that time. It was probably the Slovenské rudohorie Mts. with assumed altitudes of over 1000 meters (Kuhlemann, 2007). Strong volcanic activity took place in the south and east of Slovakia, Hungary and Apuseni, Romania at that time. The most striking one was the Štiavnicka stratovolcano, reaching a height of 3,500–4,000 m (Konečný & Lexa, 2001; Konečný, 2008). Even the Polana and the Vepor stratovolcanoes reached a height of about 3,000 m (Konečný et al., 2015). The southern parts of Slovakia - the Vienna, Danube and Pannonian basins, the Carpathian Foredeep, but also the Outer Carpathians in the north in parts of Moravia and southern Poland, were flooded by the sea. The vast Pannonian Basin was sprinkled by island and archipelagos. The coast was flat and marshy. Swamps rich in flora also occurred in the interior of Germany, Poland, the Czech Republic, Slovakia and other countries in southeastern Europe. At that time, huge deposits of brown coal and lignite were formed. The climate was humid, subtropical, with an average annual temperature between 15–19 ° C (Erdei et al., 2007).



Gerlachovský štít (2654,78 m; podľa merania Geodetického a kartografického ústavu v Bratislave v roku 2013) je najvyšším bodom Tatier, Slovenska, ale aj celých Karpát. Prvý krát jeho výšku zmeral a potvrdil, že je najvyšší, v roku 1839 lesný hospodár Ľudovít Greiner. Vtedy mu nameral 8354 viedenských stôp, čo bolo 2641 metrov nad morom. Dve tmavé skaly v Gerlachovskom kotli, pripomínajúce ľudské postavy, tatranci volajú mnísi. Ked' sa odhalia spod snehu, pod Tatrami začína leto. / Gerlach peak (2,654.78 m; measured by the Geodetic and Cartographic Institute in Bratislava in 2013) is the highest point in the Tatras, Slovakia, but also in the entire Carpathians. In 1839, the forest manager Ľudovít Greiner measured its height for the first time and confirmed that it is the highest peak of the Tatras. At that time he measured 8,354 feet equaled to 2,641 meters above sea level. Foto / Photo: Ján Madarás.

Substantial paleogeographic and paleoenvironmental change in Central Europe took place in the Sarmatian, or early Pannonian (11-9 million years) respectively. In the area of northern Croatia and Slovenia, the northern sector of the Dinarides have been uplifted and connected to the southern part of the Central Eastern Alps. During the Badenian and Sarmatian (ca. 15-12 million years), communication of the sea in the interior of the Carpathians, called Central Paratethys, with the Mediterranean Sea stopped and turned into a vast Lake Pannon. During its largest extent (around 290 thousand km²) it was the largest lake in the European area, with a maximum length of 860 km and a width of 550 km, mostly up to 200 m deep, with the deepest parts reaching a depth of 1000 m in southern Hungary (Magyar et al., 1999; Balázs et al., 2018). Around 9–8 million years ago, Europe's main contours were similar to today. The Alps exceeded a height of 3,000 m, area of the Slovenské rudohorie Mts. – Nízke Tatry Mts. was about 1,500 m high. The volcanic mountains remained the highest points of the Carpathians and the eroded Štiavnica stratovolcano still exceeded 2,000 m (Kuhlemann, 2007). Less than 6 million years ago, the Pannonian Basin was almost totally filled with sediments carried here by the massive streams from the Alps (Danube and its affluents) and from the Carpathians (Váh, Hron, Tisza and Romanian rivers). The Lake Pannon shrank over time, fragmented into open lakes of Danube River, and finally disappeared. There were also other large freshwater lakes in the Western Carpathians at that time (e.g. in the Turčianska kotlina Basin (Kováč et al., 2011), in the Rimavská kotlina and Košická kotlina basins).

The Alpine tectonic development of the Western Carpathians the fact that the Western Carpathians originated during tectonic events that rejuvenate from the inner (southern) zones towards outer (northern) tectonic zones and geological units, has recognized for more than 50 years within the geological scientific community (Andrusov , 1968; Andrusov et al., 1973; Hok et al., 2019). This means that the southern mountains had uplifted earlier than the northern ones. It is obvious e.g. from the dating of the output of the crystalline cores of the Slovak mountains by using the "Fission track" method. This method is based on the natural radioactive decay of uranium in the crystals of the minerals zircon and apatite, in which very small cracks are formed. These tracks are stable until a certain temperature, when they disappear, so if they occur in the mentioned minerals, we know that the rock could not be at a depth greater than ca. 3 kilometers at a given time. There, the temperature (with the usual geothermal gradient) is already so high that these traces are erased. We know from the data that e.g. granite rocks of the inner crystalline mountains (Slovenské rudohorie Mts.) were placed in a depth of about 3 km at about 80–60 million years ago, while the eastern part of the Nízke Tatry Mts. (Kráľovo hôľské Tatry Mts.) were uplifted between 60–55 million years ago (Vojtko et al., 2016), the Malé Karpaty Mts., Tribeč Mts., Žiar Mts. and the western part of the Nízke Tatry Mts. (Ďumbierske Tatry Mts.) between 45–30 million years ago. Crystalline cores of outer, northern core mountains respectively - Považský Inovec Mts., Veľká Fatra Mts., Malá Fatra Mts. and Tatras (Západné Tatry Mts. and Vysoké Tatry Mts.) were at a depth of about 3 km below the surface between 20–10 million years ago (Králiková et al., 2014).

The Tatras are tectonic young mountains. Even though their core is composed of old (Paleozoic) crystalline rocks with an age between 500–350 million years. In the most recent periods of geological development - at the end of the Cenozoic (Neogene and Quaternary), they were uplifted in the horst form from below the Mesozoic and Paleogene sediments along faults (in the northern and southern foothills) which parts remained in the sub-Tatra basins and partly on the northern side of the Tatras.

To answer an interesting question, how much the Tatras have uplifted, let's give a model example. 10 million years ago, the granite core of the Tatras was in the depth of about 3 km. Since then, these granites have reached today's altitude of 2,500-2,600 m. If we take into account that erosion in the Quaternary (especially by the glacier) exposed a 200-400 m thick part of the crystalline rocks from the horns and ridges, then it can be assumed that during last 10 million years the Tatras have risen by 5-6 kilometers in total. Its average uplift speed is therefore 0.5–0.6 mm per year (Bezák et al., 2011).

The Tatras acquired their impressive morphological appearance mostly in the Quaternary. Lehotský and Lacika (2007) state that in the Lower Pliocene (about 5.3 million years ago) the Tatras emerged from the slightly sculpted landscape in forms of small hills and the relative height differences between neighboring hills did not exceed 200–500 m. Since the Middle Pliocene (3.6 million years ago) the Tatra area was affected by stronger tectonic movements and erosion, but even in this period they did not rise above the treeline. Even in the period of the oldest glacial, the Donau, about 1 million years ago, they were not as high as today. That means that the mountains did not possess glaciers (Lukniš, 1973). Thus, three periods of glaciation have been proven in the Tatras: the Mindel (ca. 350–250 thousand years ago), the Riss (ca. 300–130 thousand years ago) and the Würm (ca. 115–10 thousand years ago).

In the introduction, we mentioned that the Tatras lie in the northern part of the Carpathian arch. Earth's crust is also the thickest here, reaching up to 36 km, while in the south in the Danube Basin the thickness of the crust is about 28 km (Horváth et al., 2006). For example, in the Alps the crust is up to 60 kilometers and under the Himalayas up to 100 kilometers. While the highest recent uplift occurs in the Tatras, the largest subsidence prevails in the Gabčíkovo area. The gravitational effect of heavier masses means that in the south (in the Pannonian Basin) there are much lower mountains, or they are completely absent, and that the surface decreases there. The geological evidence is the Považský Inovec Mts. although its northern part (Veľký Inovec massif) was uplifted relatively recently, similarly as the Tatras between 14–18 million years ago, the effect of heavier masses causes that the Považský Inovec Mts. scarcely exceed an altitude of 1,000 m.

So why are the Alps almost twice as high as the Tatras, and there are several dozen mountains such as the Tatras? The cause is in the tectonic pressure and its direction. While the Alps arose as a result of the direct, mostly N-S oriented compression of the Apennine tectonic plate (Italy) on the Bohemian Massif, the Carpathians formed into its arched shape with the prevalence of lateral extrusion. After the impact on the Baltic Shield on the north the pressure was direct, generally of N-S direction (Králiková et al., 2014). However, this manifested

itself in the Upper Tertiary, 20-10 million years ago. At that time, the zonal development of the West Carpathian arc gradually terminates, and tectonic-oriented pressure began to shift to the Eastern and Southern Carpathians. At present, the compression-oriented pressure of the E-W direction is perpendicular to the bend of the Carpathians in their Romanian part, eastwards from Brasov. Current positive vertical movements there reach up to 8 mm per year (Bertotti et al., 2003), what result in frequent and strong earthquakes. This is the area, where the process that lifted our Tatras millions of years ago takes place. The hills are not yet high, they reach up to 1600 m and the crystalline core is hidden under a thick cover of sedimentary rocks. But it is possible that in a million years there will be the highest point of the Carpathian mountains chain. So far, it is the Gerlach peak. Only a couple of people realize that the peaks of the Vysoké Tatry Mts. have a unique structure, what commonly can be seen at Kriváň peak, which seems to be inclined to the west. But if you look from Svit or from Gerlachov villages to the panorama of the Tatras, you will see that the old slopes of the original relief incline to the west from Kriváň to Končistá peaks. The Gerlach peak is not inclined, it is symmetrical, and the massif forms a conical shape. From Gerlach peak to the right, the old slopes incline to the east, so the Gerlach peak is symmetrically in the middle. The symmetry of the Tatras seen from the south is very impressive.

The Gerlach peak has a large base, in fact there are three peaks in the massif itself – from the south, in front you can see Kotlový štít peak, behind it is hidden Gerlach peak and behind it Zadný Gerlach peak. This is the reason why there are no nice views to the south and north from the Gerlach peak - the view is obstructed by two other peaks, which are only slightly lower. Although a nice view is to the west and east, it is not as impressive as from other Tatra peaks, it testifies that Gerlach has a very massive and significantly uplifted base. It is to such an extent, that the dip in this massif (which at first glance could be misidentified as a volcanic crater) is the highest single glacier (cirque) in the Tatras. Its lower edge ends at an altitude of about 2050 m a.s.l. Actually, it was such an unsuccessful attempt of the glacier to create a new glacial valley. If it was successful, the Gerlach peak would not be the highest one.

The Gerlach peak is also interesting from a petrographic point of view. Its massif is of slightly different composition than most of the other Vysoké Tatry Mts. peaks. It is specific because a large part of the Vysoké Tatry Mts. consists of biotite to two-mica granites and porphyric granites – a coarse-grained acidic rocks (Bezák et al., 2011), while the Gerlach peak area is formed by more basic, darker types of granitoid rocks – the biotite tonalities to granodiorites. They are finer-grained, more compact, less prone to erosion, which may also be the reason why the Gerlach massif is more resistant to weathering than the rest of the Tatras. In the massif above the cirque of the Gerlach peak, more "exotic" rocks also appear - gneisses with calc-silicate rocks, called erlans. These are originally calcareous types of rocks that contained a siliceous and clayey admixture. During the thermal metamorphism, which appeared during the penetration of granites into the massif, they turned into greenish or even reddish rocks. They are ca. 400 million years old, which means they are about 50 million years older than granite. Typical of the Tatras are jagged ridges, narrow saddles and crevices developed in more strongly tectonized zones. Some

of them also contain weak ore mineralization. Traces of medieval mining activity can be seen mainly in the bodies of the Kriváň peak and Lomnický štít peak. High tectonization of the rocks is manifested by their lower resistance to weathering, in contrast to compact "fresh" granites.

Can we answer the question, whether the Tatras are still "growing"? Although current technologies of satellite and highly accurate geodetic measurements make it possible to provide measurements with millimeter accuracy, the answer to this question is difficult. The data show the uplift of the Tatras in geological history with average values below one millimeter per year. These are the average values that caused the emergence of the highest Carpathian Mountains by this process lasted over the hundreds of thousands to millions of years. It is also proved that these movements took place in stages, sometimes faster, sometimes slower. Some time they could also achieved a negative value. This trend could last for tens, hundreds, or thousands of years. During earthquakes, they could also be abruptly accelerated. They also depended on the orientation of tectonic forces in certain periods. Geologically very young structures can be seen in the Tatras and their foothills (e.g. the current morphological manifestation of the sub-Tatra fault; Pánek et al., 2020), or the Kozie chrbty Mts. (on the south of the Tatras), whose uplift along the Vikartovce fault was dated to 120-180 thousand years ago (Vojtko et al., 2011). Nevertheless, it is currently impossible to say that the uplift of the Tatras still taking place. Current earthquake activity (Madarás et al., 2012) is no exceptional than elsewhere in the Western Carpathians. Historical data on earthquakes directly from the Tatra region are unreliable and show a high degree of inaccuracy in the location of epicenters. So far, the last earthquake (macroseismical) was in the Polish foothills of the Tatras (Podhalie) near Zakopane on 30 November 2004 with a maximum magnitude of M_L 4.4 and a series of aftershocks until 9 December 2004. It had a normal (declining) mechanism (Wiejacz and Dębski, 2009) and testifies rather about the predominant extension in the area than the compression and growth of the mountain range. A series of accurate geodetic measurements and seismic monitoring over the last 10–20 years do not yet allow us to answer this question, but research is currently ongoing.



OKEŠE
POPRAD

Otváracie slovo výstavy Tritri v Slovenskom národnom múzeu (záverečné slovo knihy)

Ľudovít Štúr, Janko Matuška, Jozef Miloslav Hurban, Pavol Országh Hviezdoslav ospevovali Tatry vo veršoch; Ladislav Mednyánszky, Nándor Katona, Martin Benka, Eva Melkovičová ľahmi štetca. Áno, Tatry sú symbolom. Tatranská príroda mocne zasahuje na Slováka, vtláčajúc sa na jeho ducha so všetkou svojou rozmanitosťou; on je jej živý odblesk, opravdivý ohlas tých tajných, v hmote tatranskej ukrytých hlasov (Hurban, 1846).

Ako geológovia sme si neuvedomili, že od nápadu vytvoriť výstavu fotografií, doplnenú o odborné informácie, nákresy a samozrejme o krásne „kamene“ (akokoľvek dlho nápad nosíte v hlave) k jej otvoreniu viedie cesta dlhá. Skoro taká dlhá, ako dlho trvá dostať na svetlo sveta tajomstvá, ktoré milióny rokov skrývala vzorka horniny odobratá v krásnom profile za slnečného dňa (prípadne studeného a daždivého – podľa toho aký ste šťastlivec). Režete, rozpúšťate, situjete, mikroskopujete, analyzujete... a po mesiacoch, po roku môžete napísať často len niekoľko riadkov. Po spisaní libreta výstavy, scenára, po hodinách strávených vyberaním fotografií, ktoré sadnú do konceptu, ktoré sú dostatočne technicky vyhovujúce na prezentáciu vo veľkom formáte, po hľadaní tých správnych textov a horninových vzoriek, ktoré vedia ohromiť aj medzi štyri stenami bol pred nami výsledok. A bol ohromujúci.

V dobe, keď je pre akademickú obec zaujmavý hlavne výkon - počítajú sa vedecké publikácie, citácie a monografie sa nám dúfam podarilo propagovať vedy širokému spektru ľudí. Predstaviť Tatry tak, ako ich vidí geológ. Spôsobom prijateľným odborníkom aj otvorenému publiku, notabene deťom. Odborníci uvidia Tatry netradične - pohľadom umelca. A laici, zvyknutí na „kalendárové“ obrázky, zhliadnu Tatry taktiež netradične - okom geologa. Dnes, keď je geológia zatláčaná do úzadia, ba prestáva byť vyučovaná v školách, je žiaduce, aby sme takto nenásilne upozornili na to, že „neživá“ príroda ovplyvňuje nás život viac, ako si kto z nás vie predstaviť.

Dokumentácia geologických javov je neoddeliteľnou súčasťou práce geológov. Často fotíme v podmienkach neveľmi priaznivých, zlé svetlo, v jednej ruke kladivo, fotoaparát, zápisník... ale dokumentujeme, príroda sa neustále mení a čo bolo viditeľné pred rokom, dnes už byť nemusí. Počas dlhých dekád v Tatrách pracovalo a dokumentovalo množstvo vynikajúcich geológov. Prvé geologické mapy pochádzajú už z roku 1844 (Zejszner, 1844). A jedna z najnovších, Geologicko-náučná mapa Tatier, bola vydaná v roku 2011 autorským kolektívom vedeným Dr. Bezákonom. Táto sa stala aj ústredným exponátom výstavy. No výstavu sme koncipovali hlavne z fotografií Doc. Petra Reichwaldera - tatranca, ktorý sa ako aktívny dôchodca do lona Tatier vrátil a geologické javy neustále dokumentoval. V minulosti bol vedúcim pracovníkom Geologického Ústavu Dionýza Štúra, neskôr vedúcim Katedry geológie a paleontológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, dlhorčným vedúcim Slovenskej geologickej spoločnosti. Vždy sa snažil o propagáciu geológie knižne aj prostredníctvom filmovej tvorby; najznámejší je cyklus 11 dielov Cez Karpaty, vytvorený v spolupráci s polskými geológmi. Kolekciu fotografií tejto výstavy sme rozdelili do tematických celkov zachytávajúcich rôzne aspekty pohľadu na Tatry. Do výberu si našli svoju cestu i fotografie ďalších autorov tak, aby bolo možné prezentovať aj mineralógiu, petrológiu, tektoniku, paleontológiu, ložiskovú geológiu, hydrogeológiu.

Výsledok nás potešíl a dúfame, že vás obohatil.





1. Riaditeľ Prírodovedného múzea SNM, Ján Kautman, poukazuje na typickú faunu Tatier. / The director of the Natural History Museum of the Slovak National Museum, Ján Kautman, points to the typical fauna of the Tatras. Foto / Photo: Ján Madarás.
2. Nájdeme ešte niekedy také pekné stopy dinosaurov v Tatrách? Paleontológovia Anna Ďurišová, Jozef Michalík a Martin Sabol. / Do we ever find such dinosaur footprints in the Tatras? Paleontologists Anna Ďurišová, Jozef Michalík and Martin Sabol. Foto / Photo: Ján Madarás.
3. Súčasťou výstavy fotografií boli typické horniny Tatier, ale aj vzácne fosílie a minerály. / The exhibition of photographs included common rocks of the Tatras, as well as rare fossils and minerals. Foto / Photo: Ján Madarás.

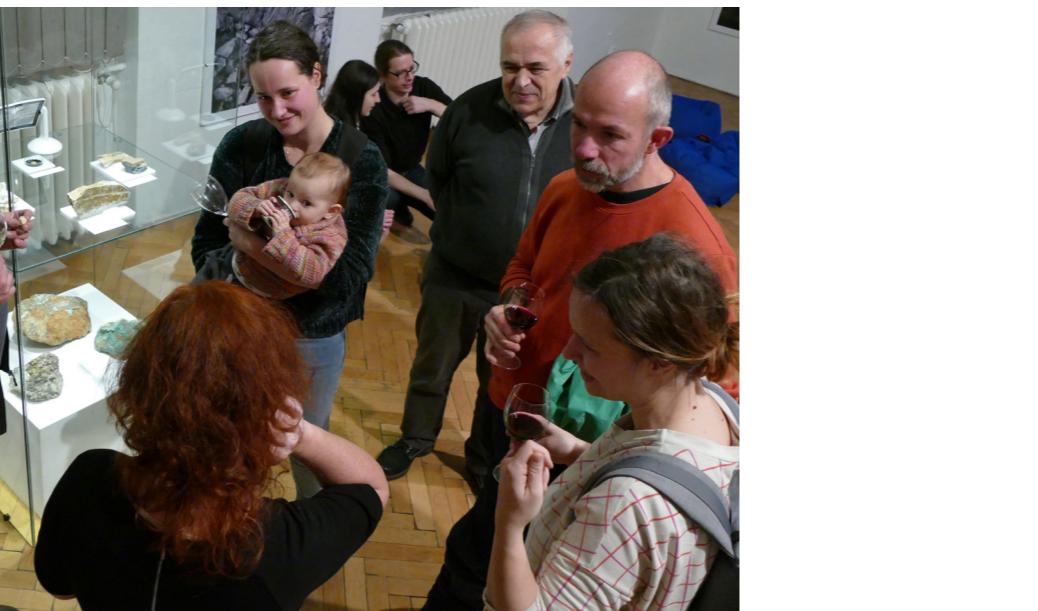


Foto na predchádzajúcej strane / Previous page photo: Príhovory k otvoreniu výstavy predniesol riaditeľ ŠGÚDŠ B. Žec a autori výstavy, J. Madarás, N. Hlavatá Hudáčková a P. Reichwalder. / The director of SGÚDŠ, B. Žec, and the authors of the exhibition, J. Madarás, N. Hudáčková and P. Reichwalder, gave opening speeches of the exhibition. Foto / Photo: Katarína Kremnická.

1. Natália Hlavatá Hudáčková v rozhovore pre médiá. / Natália Hlavatá Hudáčková gives a media talk. Foto / Photo: Ján Madarás.

2. V družnom rozhovore. Pavol Siman a Peter Reichwalder. / Pleasurable discussion. Pavol Siman and Peter Reichwalder. Foto / Photo: Ján Madarás.

3. Koľko zlata by sme ešte v Tatrách mohli objaviť? Mineralógovia vysvetľujú, že by sme ho mali radšej hľadať v iných podobách. / How much gold could we still find in the Tatras? Mineralogists explain that we should rather look for gold in other forms. Foto / Photo: J. Madarás.



Opening word of the exhibition Tritri in the Slovak National Museum (closing word of the book)

Ľudovít Štúr, Janko Matuška, Jozef Miloslav Hurban, Pavol Országh Hviezdoslav praised the Tatras in verses; Ladislav Mednyánszky, Nándor Katona, Martin Benka, Eva Melkovičová with brush strokes. Yes, the Tatras are a symbol. *The Tatra nature strongly influences the Slovak, imprinting into his spirit with all its diversity; he is its vivid glimpse, the genuine response of those secret, in the mass of Tatra hidden voices* (Hurban, 1846).

As geologists, we did not realize that from the idea to create an exhibition of photographs, supplemented by professional information, drawings and, of course, beautiful "stones" (no matter how long you carry the idea in your head), such a long journey leads to its opening. Almost as long as it takes to bring to light the secrets that have been hidden for millions of years in a rock sample taken in beautiful profile on a sunny day (or cold and rainy - depending on how lucky you are). You cut, dissolve, sieve, microscope, analyze ... and after months, after a year, you can often write just a few lines. After writing the libretto of the exhibition, the script, after the hours spent selecting photos that fit into the concept, photos technically suitable for presentation in large format, after searching for the right texts and rock samples that can amaze even between the four walls, the result was within reach. And it was stunning.

At this time when performance is of particular interest to the academic community - scientific publications, citations and monographs only count, I hope we have managed to promote science to a wide spectrum of people. Introduce the Tatras as seen by a geologist. In a way acceptable to professionals and open audiences, especially children. Experts will see the Tatras untraditionally - from the artist's point of view. And laymen, familiarized to "calendar" pictures, will also see the Tatras untraditionally - through the eyes of a geologist. Today, as geology is being pushed back and even ceased to be taught in schools, it is desirable for us to point out in such a peacable way that "abiotic" nature affects our lives more than any of us can imagine.

Documentation of geological phenomena is an integral part of the our work. It is often photographed in unfavorable conditions of imperfect light, with hammer, camera and notebook in the hand... but we document that nature is constantly changing and things that were visible a year ago may not be today. Numerous excellent geologists have worked and documented in the Tatras for many decades. The first geological maps date back to 1844 (Zejszner, 1844). And one of the newest, the Geological-educational Map of the Tatras, was published in 2011 by an author's team led by Dr. Bezák. This map also became the centerpiece of the exhibition. But we conceived the exhibition mainly from photographs by Doc. Petr Reichwalder - a „Tatra man“ who as an active pensioner returned back to the Tatras and constantly documented geological phenomena. Before, he was the head of the Geological Institute of Dionýz Štúr, later the head of the Department of Geology and Paleontology, Faculty of natural science, Comenius University, and a long-term head of the Slovak Geological Society. He always tried to promote geology in books and through filmmaking; the most famous is the series consists of 11 episodes named Across the Carpathians created in collaboration with Polish geologists.

We divided the collection of photographs of this exhibition into thematic units capturing various aspects of the Tatras. Photographs of some other authors also found their way into the selection, so it was possible to present mineralogy, petrology, tectonics, paleontology, deposit geology, hydrogeology.

We were pleased with the result and we hope that it also has enriched you.



Authors

Poděkovanie

K vzniku tejto publikácie veľkou mierou prispelo Slovenské národné múzeum - Prírodovedné múzeum, ktoré na prelome rokov 2019/2020 prezentovalo vo výstavných priestoroch na Vajanského nábreží celú kolekciu fotografií a geologických exponátov tvoriacich rámec tejto publikácie. Zázemie poskytla Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave a Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied. Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky podporilo prípravu publikácie pomocou projektov APVV-160121 „Geodynamické procesy v oblasti styku Álp a Karpát datované na základe vývojových fáz Viedenskej a Dunajskej panvy v kenozoiku“, APVV 16-0146 WECAFARE „Multidisciplinárny výskum geofyzikálno-štruktúrnych parametrov a environmentálneho vplyvu zlomov Západných Karpát“ a 037UK-4/2019 „Pozvi svojich spolužiakov na expedíciu po geologických zaujímavostiach v blízkosti svojho bydliska“ a spoločnosť Equis Invest Consulting s.r.o. zabezpečila tlač máp.

Acknowledgement

Remarkably to the creation of this publication contributed Slovak National Museum - Museum of Natural History, where at the turn of the year 2019/2020 the Tritri exhibition of entire collection of photos and geological exhibits making up the framework of this publication was held. The background was provided by the Faculty of Natural Sciences of Comenius University in Bratislava and the Earth Sciences Institute of the Slovak Academy of Sciences. The Ministry of Education, Science, Research and Sports of the Slovak Republic supported the preparation of the publication through projects APVV-160121 „Geodynamics of the Alpine-Carpathian junction area constrained by dating of the Cenozoic evolutionary phases in the Vienna and Danube basins“, APVV 16-0146 WECAFARE „Multidisciplinary research of geophysical and structural parameters, and environmental impacts of faults of the Western Carpathians“ and by 037UK-4/2019 “ Invite classmates to explore geological attractions near their home“ (a science-based teaching in a geovedical laboratory supporting the constructivist model of geoscience education)“ and Equis Invest Consulting s.r.o. supported printing of the maps.

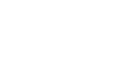


Foto na predchádzajúcej strane / Previous page photo: Vystavené fotografie dokumentujú aj najtajomnejšiu vnútornú štruktúru hornín, ktorá je viditeľná iba prostredníctvom mikroskopu zo špeciálne pripravených preparátov – výbrusov. / The exhibited images also document the most mysterious internal structure of the rocks, which is visible only through a microscope from specially prepared slides. Foto / Photo: Ján Madarás.

Literatúra / References

- Andrusov, D., 1968. Grundriss der Tektonik der Nördlichen Karpaten. Bratislava, 1–188.
- Andrusov, D., Bystrický, J. & Fusán, O., 1973. Outline of the Structure of the West Carpathians. X. Congres of Carpathian-Balkan Association. Bratislava, Geologický Ústav Dionýza Štúra, Vydavateľstvo SAV, 1–44.
- Balázs, A., Magyar, I., Matenco, L., Sztanó, O., Tókés, L. & Horváth, F., 2018. Morphology of a large paleo-lake: analysis of compaction in the Miocene-Quaternary Pannonian Basin. Global and Planetary Change 171, 134–147.
- Berger, J.P., Reichenbacher, B., Becker, D., Grimm, M., Grimm, K., Picot, L., Storni, A., Pirkenseer, C., Derer, Ch., & Schaefer, A., 2005. Paleogeography of the Upper Rhine Graben (URG) and Swiss Molasse Basin (SMB) from Eocene to Pliocene. International Journal of Earth Sciences (Geol. rudsch.) 94, 697–710.
- Bertotti, G., Matenco, L. & Cloetingh, S., 2003. Vertical movements in and around the south east Carpathian foredeep: Lithospheric memory and stress field control. Terra Nova. 15, 299–305.
- Bezák, V. (Ed.), Fleischer, P., Hanzel, V., Chovancová, B., M., Kyselová, Z., Madarás, J., Maglay, J., Ostrožlík, M., Pavlarcík, S., Reichwalder, P., Bohuš, I., Čurlík, J., Ferenc, Š., Michalík, D., Soják, M., Kucharič, Ľ., Olšavský, M., Gross, P., Sýkora, M., Borecka, A., Danel, W., Derkacz, M., Gaždická, E., Iwanow, A., Piotrowska, K. & Zabielski, R., 2011. Geologicko - náučné mapy Slovenska. Tatry. Sprievodca ku geologickej mape Tatier 1 : 50 000. Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Štátne lesy TANAP-u; Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Institut Badawczy, ŠGÚDŠ, Bratislava. 100 s.

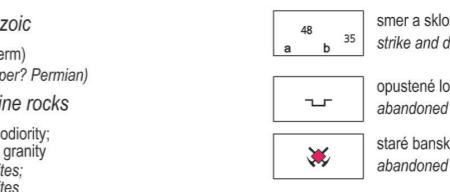
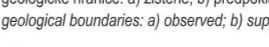
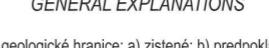
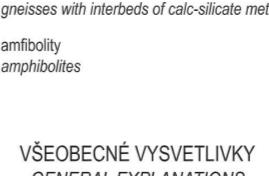
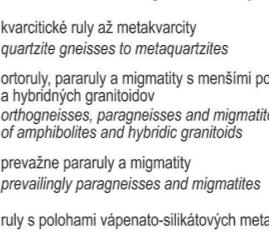
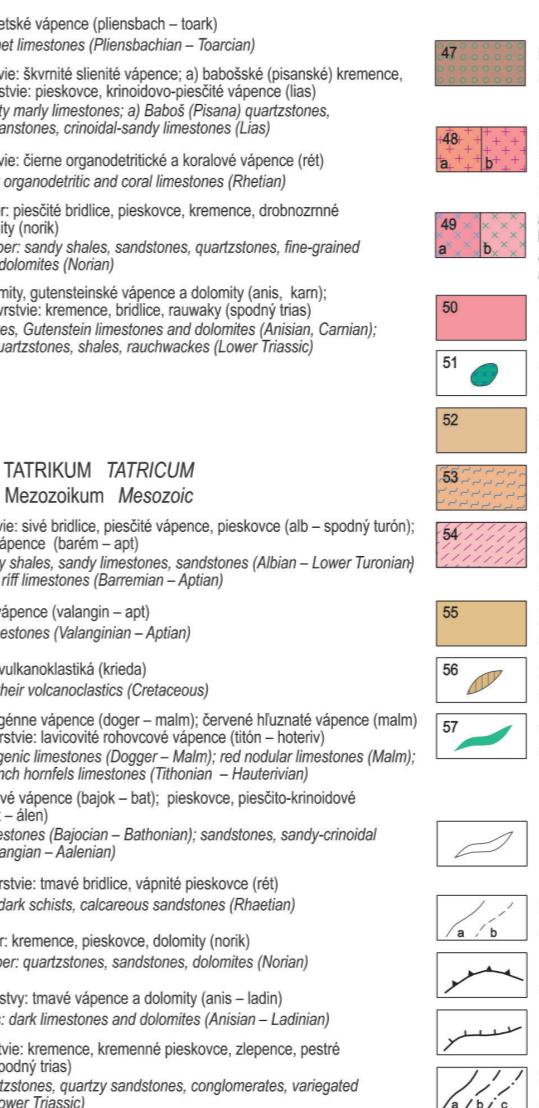
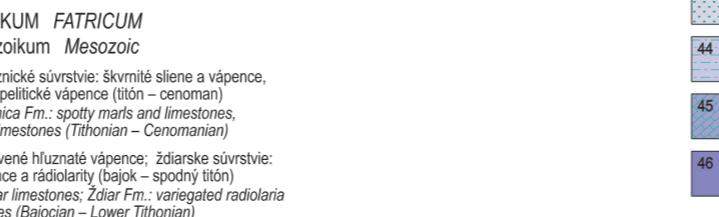
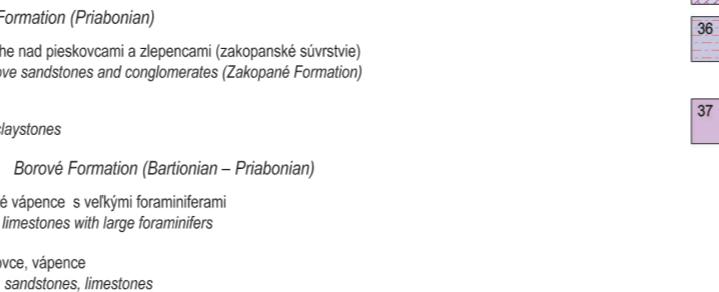
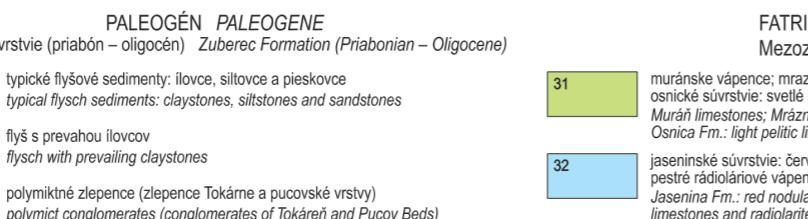
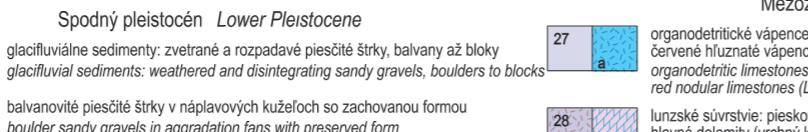
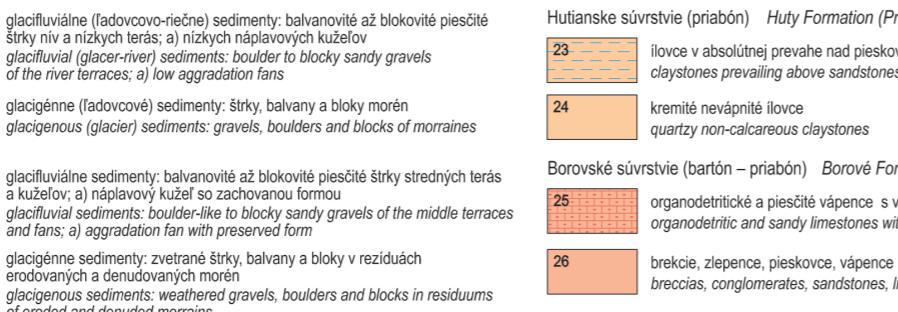
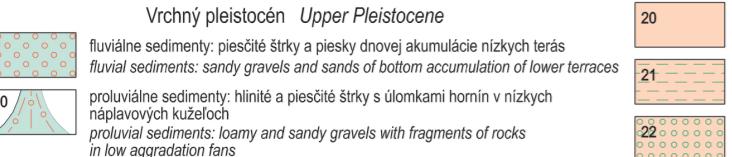
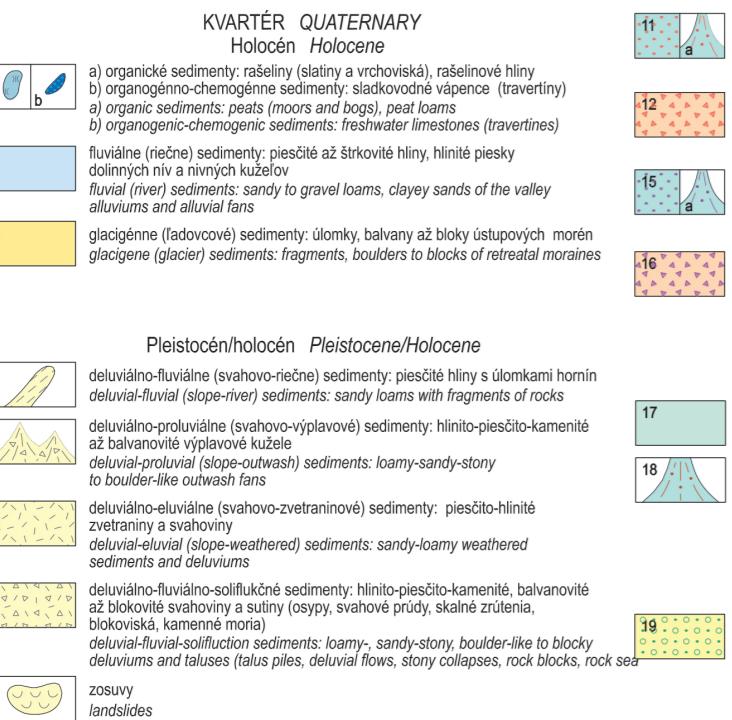
Broska, I., Baláž, P., Bezák, V., Brimich, L., Ďurišová, A., Hudáčková, N., Jeleň, S., Kováčová, M., Lexa, J., Madarás, J., Malík, P., Michalík, J., Nelišerová, E., Orfánus, T., Pažák, P., Petrík, I., Porubčan, V., Puškelová, Ľ., Siman, P., Sládeček, J., Starek, D., Šefčáková, A., Zahradníková, B. & Madarás.

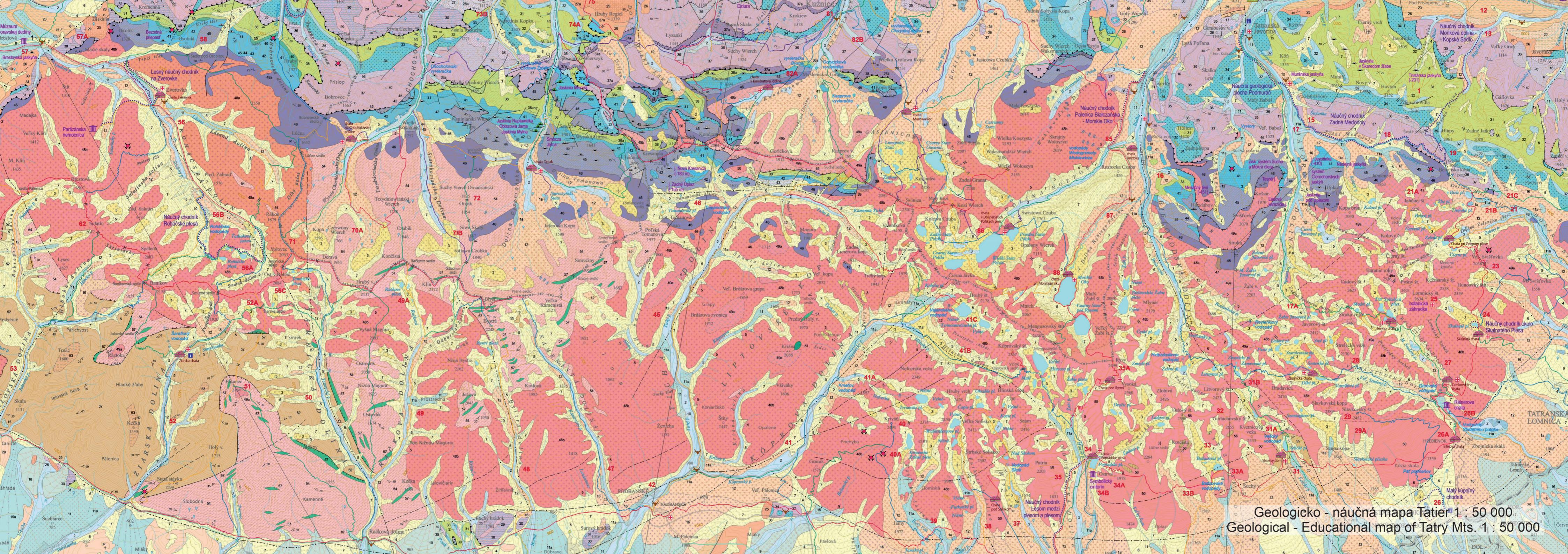
- Ženíšová, Z., 2015. Planéta, na ktorej žijeme. 1. vyd. Bratislava : VEDA, vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Svet vedy 36, 170 s.
- Čerňanský, A., Klein, N., Soták, J., Olšavský, M., Šurka, J. & Herich, P., 2019. A Middle Triassic pachypleurosaur (Diapsida: Eosauropterygia) from a restricted carbonate ramp in the Western Carpathians (Gutenstein Formation, Fatic Unit): paleogeographic implications. *Geologica Carpathica* 69, 1, 3–16.
- Erdei, B., Hably, L., Kázmér, M., Utescher, T. & Bruch, A. A., 2007. Neogene flora and vegetation development of the Pannonian domain in relation to palaeoclimate and Palaeoceanography. *Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253, 115–140.
- Gierlinski, G. & Sabath, K., 2005. Dinosaur Tracks in the Upper Triassic and Lower Jurassic of Central Europe. *Tracking Dinosaur Origins: The Triassic/Jurassic Terrestrial Transition. Abstracts Volume*, 5.
- Haston, E., Richardson, J.E., Stevens, P.F., Chase, M.W. & Harris, D.J., 2009. The Linear Angiosperm Phylogeny Group (LAPG) III: a linear sequence of the families in APG III". *Botanical Journal of the Linnean Society* 161, 2, 128–131.
- Hók, J., Pelech, O., Teťák, F., Németh, Z. & Nagy, A., 2019. Outline of the geology of Slovakia (W. Carpathians). *Mineralia Slovaca* 51, 31–60.
- Horváth, F., Bada, G., Szafian, P., Tari, G., Ádám, A. & Cloetingh, S., 2006. Formation and deformation of the Pannonian Basin: Constraints from observational data. *Geological Society, London, Memoirs* 32, 191–206.
- Huraj, V., 2016. Izotopová geológia 1: stabilné izotopy. Prif UK Bratislava, 77 s.
- Hurban, J.–M., 1846. Slovansko a jeho život Literárni. Slovenske Pohladi na vedi, umeňja a literatúru 1, 14–37, (citát zo strany 21).
- Chalupová, B., 2009. Rétske žraloky a ryby z fatranského súvrstvia (profil Kardolína, Belianske Tatry, Slovensko). *Mineralia Slovaca*. 41, 283–290.
- Konečný, V., 2008. Etapy vývoja štiavnického stratovulkánu. *Enviromagazín* 6, 18–19.
- Konečný, V., Konečný, P. & Pécskay, Z., 2015. Paleovolcanic reconstruction of the Neogene Vepor stratovolcano (Central Slovakia), part II. *Mineralia Slovaca*. 47, 2, 113–76.
- Konečný, V. & Lexa, J., 2001. Stavba a vývoj štiavnického stratovulkánu. *Mineralia Slovaca* 33, 3, 179–196.
- Konhauser, K., 2007. *Introduction to Geomicrobiology*. Blackwell Science, 425 s.
- Kováč, M., Hók, J., Minár, J., Vojtko, R., Bielik, M., Pipík, R., Rakús, M., Kráľ, J., Šujan, M. & Králiková, S., 2011. Neogene and Quaternary development of the Turiec Basin and landscape in its catchment: a tentative mass balance model. *Geologica Carpathica* 62, 4, 361–369.
- Kováč, M., Hudáčková, N., Halászová, E., Kováčová, M., Holcová, K., Oszczypko-Clowes, M., Báldi, K., Less, Gy., Nagymarosy, A., Ruman, A., Klučiar, T. & Jamrich, M., 2017. The Central Parathetys palaeoceanography: a water circulation model based on microfossil proxies, climate, and changes of depositional environment. *Acta Geologica Slovaca* 9, 2, 75–114.
- Králiková, S., Vojtko, R., Sliva, Ľ., Minár, J., Fügenschuh, B., Kováč, M. & Hók, J., 2014. Cretaceous – Quaternary tectonic evolution of the Tatra Mts. (Western Carpathians): constraints from structural, sedimentary, geomorphic, and fission track data. *Geologica Carpathica* 65, 4, 307–326.
- Kuhlemann, J., 2007. Paleogeographic and paleotopographic evolution of Swiss and Eastern Alps since the Oligocene. *Global and Planetary Change* 58, 224–236.
- Lehotský, M. & Lacika, J., 2007. Typy segmentov dolinovo-riečnych systémov s veľvysočinovou zdrojovou zónou: príklad Tatier. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 7, 1, 27–35.
- Lukniš, M., 1973. Reliéf Vysokých Tatier a ich predpolia. Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 375 s.

- Madarás, J., Fojtíková, L., Hrašna, M., Petro, Ľ., Ferianc, D. & Briestenský, M., 2012. Vymedzenie seizmicky aktívnych oblastí na Slovensku na základe záznamov historických zemetrasení a súčasného monitorovania tektonickej a seizmickej aktivity. *Mineralia Slovaca* 44, 4, 351–364.
- Magyar, I., Geary, D. H. & Müller, P., 1999. Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 147, 151–167.
- Michalík, J., 2017. Mezozoické uloženiny Tatier. Abstrakty 18. Ročníka CZ-SK-PL Paleontologickej konferencie, 101–102.
- Michalík, J. & Kundrát, M., 1998. Uppermost Triassic dinosaur ichno-parataxa from Slovakia. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18, 3, 63A.
- Michalík, J., Lintnerová, O., Gaździcki, A. & Soták, J., 2007. Record of environmental changes in the Triassic-Jurassic boundary interval in the Zliechov Basin, Western Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 244, 71–88.
- Michalík, J., Planderová, E. & Sýkora, M., 1976: To the stratigraphic and paleogeographic position of the Tomanová Formation in the Uppermost Triassic of the West Carpathians. *Geologický Zborník, Geologica Carpathica* 27, 299–318.
- Nemčok, J. (ed.), Bezák, V., Janák, M., Kahan, Š., Ryka, W., Kohút, M., Lehotský, I., Wieczorek, J., Zelman, J., Mello, J., Halouzka, R., Raczkowski, W. & Reichwalder, P., 1993: Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier. *Geologický ústav Dionýza Štúra*, Bratislava, 5–135.
- Nemčok, J. (ed.), Bezák, V., Biely, A., Gorek, A., Gross, P., Halouzka, R., Janák, M., Kahan, Š., Kotański, Z., Lefeld, J., Mello, J., Reichwalder, P., Raczkowski, W., Roniewicz, P., Ryka, W., Wieczorek, J. & Zelman, J., 1994: Geologická mapa Tatier (Geological map of the Tatra Mountains) 1 : 50 000. 1. vyd., Regionálne geologickej mapy Slovenska 1 : 50 000. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky – Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava; Min. Ochrony Srodowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa – Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Niedźwiedzki, G., 2011: A Late Triassic dinosaur-dominated ichnofauna from the Tomanová Formation of the Tatra Mountains, Central Europe. *Acta Palaeontologica Polonica* 56, 2, 291–300.
- Sabol, M. & Döppes, D., 2019. The first radiocarbon dating of a cave lion fossil from the Slovakian Western Carpathians. *Acta Geologica Slovaca* 11, 1, 11–14.
- Pánek, T., Minár, J., Vitovič, L. & Břežný, M., 2020. Post-LGM faulting in Central Europe: LiDAR detection of the >50 km-long Sub-Tatra fault, Western Carpathians. *Geomorphology* 364.
- Sabol, M., Gullár, J. & Horvát, J., 2018. Montane record of the late Pleistocene *Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810) from the Západné Tatry Mountains (northern Slovakia). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 38, 3, e1467921.
- Štúr, Ľ., 1846: Nárečja Slovenskuo alebo potreba písania v tomto nárečí. K. F. Wigand, Prešporok, 88 s.
- Vojtko, R., Králiková, S., Jeřábek, P., Schuster, R., Danišík, M., Fügenschuh, B., Minár, J. & Madarás, J., 2016. Geochronological evidence for the Alpine tectono-thermal evolution of the Veporic Unit (Western Carpathians, Slovakia). *Tectonophysics* 666, 48–65.
- Vojtko, R., Marko, F., Preusser, F., Madarás, J. & Kováčová, M., 2011. Late Quaternary fault activity in the Western Carpathians: evidence from the Vikartovce Fault (Slovakia). *Geologica Carpathica* 62, 6, 563–574.
- Wiejacz, P. & Dębski, W., 2009. Podhale, Poland, earthquake of November 30, 2004. *Acta Geophysica* 57, 346–366.
- Zrzavý, J., Storch, D. & Mihulka, S., 2004. Jak se dělá evoluce, Od sobeckého genu k rozmanitosti života. Paseka, 296 s.

Legenda ku geologicko - náučnej mape Tatier 1 : 50 000 / Explanatory to Geological - Educational map of Tatry Mts.

Bezák, V., Maglay, J., Polák, M., Kohút, M., Gross, P., Piotrowska, K., Iwanow, A., Gaždicka, E. & Raczkowski, W., 2011. Zo série Geologicko - náučné mapy Slovenska. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra; Štátne lesy TANAP-u; Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy.





Geologicko - náučná mapa Tatier 1 : 50 000
Geological - Educational map of Tatry Mts. 1 : 50 000



