

# PÍSKY ZNÁMÉ I NEZNÁMÉ

aneb fascinující svět  
obyčejného písku



## SANDS: EXPLICIT AND ENIGMATIC

The fascinating world  
of ordinary sand





*„Dej, ať v každém zrnku písku na poušti vidíme zázrak rozdílnosti – to nám pomůže brát sami sebe takové, jací jsme. Stejně jako na celém světě nejsou dvě stejná zrnka písku, nejsou na něm ani dvě lidské bytosti, které by myslely a jednaly stejně.“*

Paulo Coelho



# **PÍSKY ZNÁMÉ I NEZNÁMÉ**

aneb fascinující svět  
obyčejného písku

Doprovodná publikace k výstavě

## **SANDS: EXPLICIT AND ENIGMATIC**

The fascinating world  
of ordinary sand

Accompanying text to the exposition

Muzeum města Ústí nad Labem  
Municipal Museum of Ústí nad Labem

2020



## Úvod

Písek je běžnou, téměř každodenní součástí našeho života, přesto o něm nevíme mnoho zajímavých věcí. Známe ho z břehů řek a potoků, z mořských pláží, pískoven, staveb a dětských hřišť. Málokdo však tuší, jak pestré písky jsou, odkud vlastně pochází, co všechno se v nich zachovalo, jak vzácným materiálem se postupně stávají či jak překvapivě krásné mohou být pod mikroskopem...

## Introduction

Sand is a common, almost everyday aspect of our lives. Still, there are many interesting facts about sand that remain hidden to a general public. Sand can be found on the banks of rivers and streams, on sea beaches, in sand pits, at construction sites and playgrounds. Only a few people, however, have an idea of the variety of sands, their sources, of the record they provide, of how precious material they are gradually becoming, and of how surprisingly charming they may look under a microscope...



Pláž neobydleného ostrova Mataha, Indonésie (pjj)  
Beaches of the uninhabited island of Mataha, Indonesia (pjj)



1

## Písek KRAJINOTVORNÝ

Písek najdeme snad úplně všude. Ukládá se v různorodém prostředí: v korytech řek a potoků, na dně jezer a mělkých moří, akumulace písku jsou na pouštích i ve velehorách.

Geologové umí z písku ledacos vyčíst. Někdy jsou v něm úlomky hornin nebo specifických minerálů, podle nichž lze určit, odkud materiál pochází. Velikost, tvar a míra opracování zrn vypovídají o transportu a podmínkách, ve kterých se písek usazoval. Např. zrna na dolních tocích řek nebo na mořském pobřeží bývají dobře vytríděná a zaoblená – díky dlouhodobému působení vodních proudů. Analýza písku tedy může vědcům poskytnout informace nejen o jeho původu, ale třeba také o změnách prostředí a klimatu v dávné minulosti.

Podle způsobu vzniku je možné rozeznávat:

**Váté (eolické) písky** vznikají působením větru v pouštních a stepních oblastech. Jsou velmi dobře vytríděné a mají vysoký podíl křemene. Zrna písku mají matný povrch oproti zrnkům z vodního prostředí, která jsou lesklá.

Váté písky mohou podle místních geologických podmínek a intenzity větrů vytvářet buď **ergy** – rozsáhlé plošné pokryvy (plochý terén bez prohlubní pokrytý zpravidla vytríděným navátým pískem), nebo **písečné přesypy** – **duny** (z terénu vystupují vlnovité pahorky tvořené pískem: vyvýšeniny obsahují větší zrnka písku, ve sníženinách mezi nimi převládají naopak menší velikosti zrn). Podle směru proudění větru se utváří různé druhy dun (např. podélné, srpkovité, parabolické či hvězdicové).

Větrek unášený písek postupně obrušuje skály i balvany a vzniká tak škála typických pouštních úkazů (např. hrance či skalní hříby).



2



3



4



5

1) The highest sand dunes lie in the Namib NP (jb); 2) quartz sand from the Sahara Desert, Sudan (pjj); 3, 4) blown sand with ripples and abraded stones creating lee areas (zv); 5) a sand whirl on top of an eolian dune on the bottom of the Moqui Canyon, Utah, USA (mf)

## LANDSCAPE-FORMING sand

Sand can be found perhaps everywhere. It becomes deposited in a variety of environments: river and stream channels, bottoms of lakes and shallow seas. Sand accumulations can be found in deserts as well as in high mountains.

Sand can provide much information to geologists. It occasionally contains fragments of rocks or specific minerals indicative of the source of material. The mode of transport and the conditions of sand deposition can be inferred from the size, shape and roundness of the grains. For example, grains in lower reaches of rivers and on seashores tend to be well sorted and rounded – owing to long-term action of water flows. The analysis of sand may therefore inform the scientists not only of the origin of sand but also of environmental and climatic changes in the distant past.

The following types of sand can be distinguished by the mode of origin:

**Eolian, or wind-blown, sands** are formed by wind action in desert and steppe regions. They are very well sorted, with a high proportion of quartz. The surfaces of sand grains are matte, as opposed to glossy surfaces of grains from aquatic environments.

Depending on the local geological conditions and wind intensity, eolian sands give rise to **ergs** – extensive sheet accumulations (flat surface with no depressions, usually covered with well sorted blown sand) – or **sand mounds** – **dunes** (wavy hillocks of sand rising above the surface: the elevations contain larger sand grains while the depressions among them are dominated by grains of smaller size). Depending on the wind direction, different types of dunes are formed (e.g., longitudinal, crescent-shaped, parabolic or star dunes).

Wind-blown sand progressively abrades cliffs as well as boulders, giving origin to a variety of typical desert formations (e.g., dreikanter or pedestal rocks).

1) Nejvyšší písečné duny jsou v NP Namib (jb); 2) křemenný písek ze Sahary, Súdán (pjj); 3, 4) vátý písek s čeřinami a ohlazenými kameny tvořícími závětrná místa (zv); 5) písečný vír na vrcholku duny naváté na dně kaňonu Moqui, Utah, USA (mf)

Velká písečná duna v popředí s přímorožci jihoafrickými, poušť Namib, Namibie (jb)  
A big sand dune with gemsbok in the front, Namib Desert, Namibia (jb)





Jihozápadní pobřeží Madagaskaru s vátým pískem (Itampolo) a malá písečná poušť Maspalomas, Gran Canaria (zv)  
Southwestern coast of Madagascar with blown sand (Itampolo) and a small sand desert of Maspalomas, Gran Canaria (zv)



Různé druhy písečných přesypů, čeřin a dun (zv)  
Various types of sand dunes and ripples (zv)



Pobřeží Islandu tvořené černým sopečným pískem, zátoka Jökulsárlón, Island (pjj)  
The coast of Iceland formed by black volcanic sand, the Jökulsárlón Lagoon, Iceland (pjj)





**Mořské písky** vznikají v různých částech oceánů. Horninový materiál naplavený řekami nebo napa-daný do moře z pobřežních skal je neustále pře-místován, opracováván a tříděn podle velikosti pohybem mořské vody (přílivem a odlivem, moř-skými proudy, příbojem či vlněním). Písky najdeme především **u pobřeží (pláže, písčné kosy, bary, podmořské terasy)** nebo **ve větších hloubkách na šelfu (do 200 m)**, směrem do hlubokých částí mořské pánve se pak uloženiny obvykle zjemňují a převažují zde prachové či jílové částice). Výjimkou jsou hlubokomořské písky, které jsou do několi-kakilometrové hloubky dopravovány turbiditními proudy. Typickým znakem mořských písků je *orga-nogenní příměs*, zvláště schránky, krunýře a kostry různých mořských živočichů. Typickým minerálem mořských písků je zelený glaukonit. Písky jsou for-movány do podmořských čeřin, dun a barů (valů), běžná je též kolonizace mořského dna různými ži-vočichy, kteří zde zanechávají své „stopy“.

**Jezerní (lakustrinní) písky** sedimentují v jezer-ním prostředí, zpravidla mají vysoký podíl pra-chové a jílovité frakce. Vyskytují se nejčastěji v příbřežních zónách, ale u velkých a hlubokých jezer jsou běžné i hlubokovodní turbiditní písky. Jezerní písky vytvářejí podobné formy jako mořské (čeřiny, duny apod.), ale neobsahují glaukonit ani mořskou faunu. Zato mohou obsahovat hojnou je-zerní faunu nebo terestrickou flóru redeponovanou z příbřežních oblastí (bažin).

**Říční (fluviální) písky** jsou hůře vytříděné ulože-niny tvořící výplně říčních koryt nebo sedimentují na nivě mimo koryto při povodni spolu s jílovo-prachovitým bahnem. Úlomky hornin unášené proudící vodou v potocích a řekách jsou postupně rozmělněny a zaoblovány. Z velkých valounů se tvoří menší oblázky, přes jemný písek až říční baho. Méně vytříděné a hrubozrnnější usazeniny jsou obvykle v horních tocích řek (divočící řeky), zatímco lépe vytříděné a jemnozrnnější se vyskytují v dol-ních tocích (meandrující řeky).

1, 2) Mataha Island, Indonesia (pjj); 3) dark patches of beach sands with heavy minerals (zv); 4) a black beach formed by volcanic material, Lanzarote Island (zv)

**Marine sands** are formed in different parts of oceans. Rock material brought by rivers or fallen to the sea from shoreline cliffs is perpetually redeposi- ted, abraded and sorted by size due to the motion of seawater (flood and ebb tides, sea currents, surf and wave action). Sand can be found primarily **near the shore (beaches, barrier islands, bars, subma- rine terraces)** and **at greater depths on the shelf (depths up to 200 m)**. The deposits usually become finer towards deeper parts of the sea basin, being dominated by silt- and clay-sized particles (also cal- led mud). Deep-sea sands are an exception: they are transported down to depths of several kilome- tres by turbidity currents. A typical feature of ma- rine sands is the presence of *organogenic admixture*, particularly shells, carapaces and skeletal remains of various marine animals. Characteristic mineral of marine sands is green glauconite. Sands are shaped into the form of subaquatic ripples, dunes and bars. Here, colonization of sea bottom by various animals who leave their “traces” is a common feature.

**Lacustrine sands** are deposited in lake environ- ments. They mostly display a high proportion of mud fraction. They can be mostly found in near- shore zones but even deep-water turbidite sands are a common feature in large, deep lakes. Lacustrine sands form similar bedforms as marine sands (ripples, dunes etc.) but contain no glauconite or marine fauna. Instead, they occasionally contain rich lacustrine fauna or terrestrial flora redeposited from nearshore regions (swamps).

**River, or fluvial, sands** include rather poorly sor- ted sediments filling river channels or deposited on alluvial plains outside channels together with muds during floods. Rock fragments entrained by water flowing in streams and rivers become gradually dis- integrated and rounded. Large pebbles are turned into smaller granules, then to fine sand and final- ly to riverine mud. Somewhat more poorly sorted, coarser-grained sediments usually accumulate in upper reaches of rivers (braided rivers) while bet- ter-sorted, finer-grained sediments accumulate in their lower reaches (meandering rivers).

1, 2) Ostrov Mataha, Indonésie (pjj); 3) tmavé součásti plážových písků s těžkými minerály (zv); 4) černá pláž tvořená sopečným materiálem na ostrově Lanzarote (zv)

Písečné pobřeží u jezera Bajkal, Rusko (pjj)  
Sandy shores near Lake Baikal, Russia (pjj)

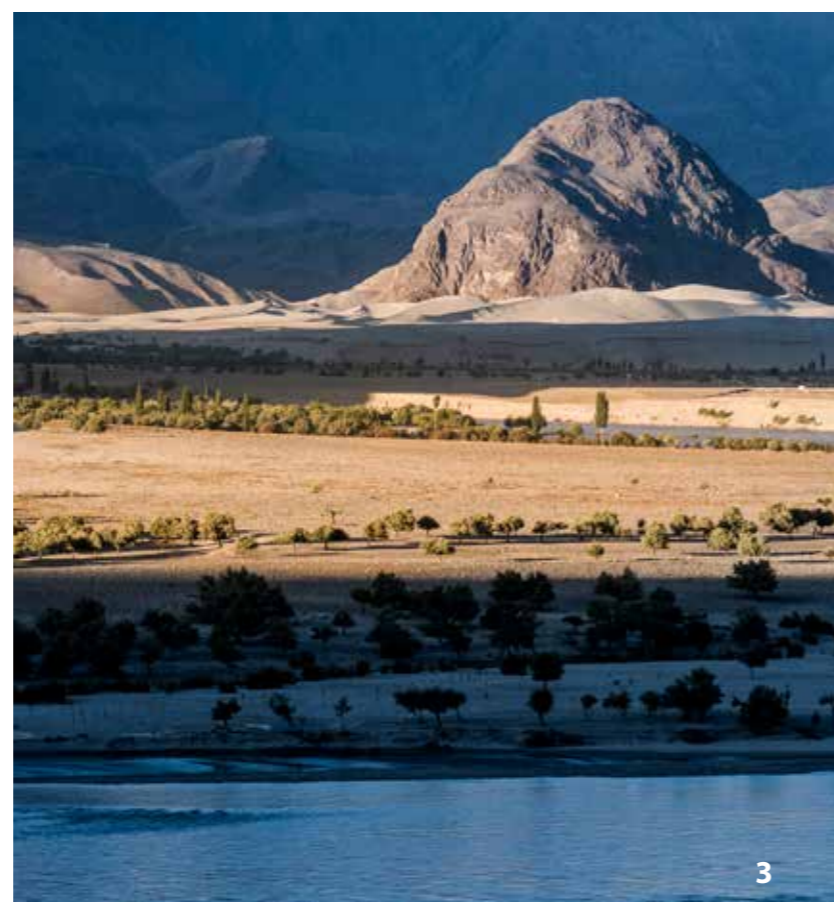




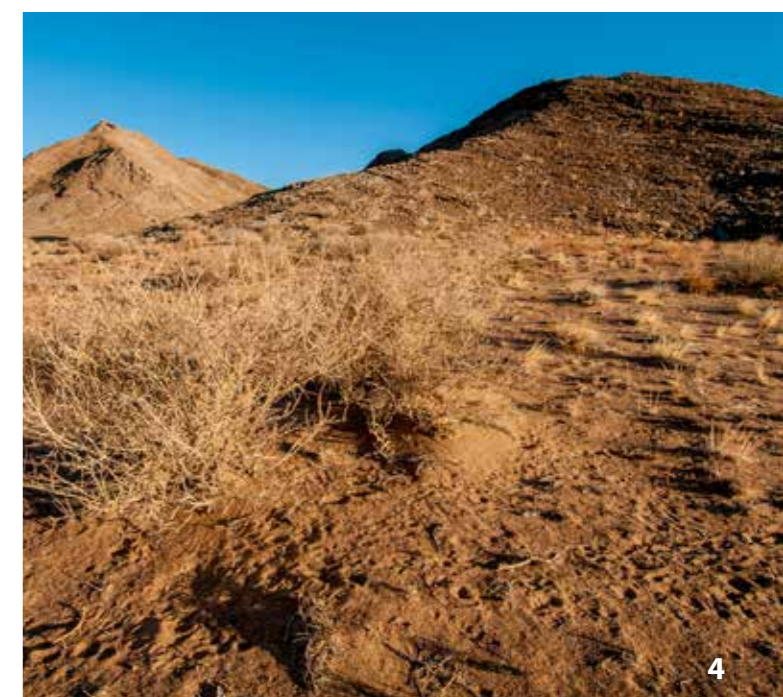
1



2



3



4

**Deltové písky** se usazují při ústí řek do moře nebo jezer. Jsou méně vytříděné ve srovnání s mořskými nebo říčními, často obsahují menší množství jílovoprachovitého materiálu. Tvoří plošně rozsáhlá tělesa deltovitého tvaru, která často postupují do jezerní nebo mořské pánve. Jsou složeny z čeřin, dun, barů a dalších dílčích písečných těles uložených v proudící říční/jezerní/mořské vodě, ale často se na jejich tvorbě, zejména v hlubších partiích, uplatňují i turbiditní proudy.

**Glacifluviální a glaciakustrinní písky** mají povahu říčních nebo jezerních uloženin. Je to materiál přemístěný vodami z odtékajících ledovců uložený v korytech řek či na dně jezer. Sedimenty uložené činností ledovců jsou nevytříděné (tvořené různě velkými úlomky) a ostrohranné, často jde o kombinaci písku a štěrku. Je to tím, že v ledovcových oblastech se voda vyskytuje v pevném skupenství, což velmi omezuje možnost opracování a vytřídění částic.

Zvláštní kategorií jsou pak **eluviální (reziduální) písky**. Jako písek se totiž někdy označují také nepřemístěné produkty rozpadu (eroze a zvětrávání) různých typů hornin. Na jejich vzniku se podílí buď mrazové zvětrávání v chladných oblastech, nebo intenzivní chemické zvětrávání v tropech. Příkladem může být např. žulové eluvium.

**Deltaic sands** are deposited at places where rivers meet the seas or lakes. They are rather poorly sorted compared to marine or fluvial sands, and often contain lesser amounts of mud. They build areally extensive delta-shaped bodies, which tend to prograde into the lake or sea basin. They comprise ripples, dunes, bars and other smaller-scale sandbodies deposited in flowing water (riverine water, lacustrine water or seawater) but they are frequently contributed even by turbidity currents, especially at higher depths.

**Glaciofluvial and glaciolacustrine sands** have the character of fluvial or lacustrine deposits. They represent material transported by waters from melting glaciers and deposited in river channels and on lake bottoms. Sediments deposited by glacial action are poorly sorted (formed by clasts of various sizes), angular, frequently combining sand and gravel. In glacial regions, any processes leading to a more perfect roundness and better sorting of particles are inhibited by the presence of solid-state water.

A specific category is posed by **eluvial (residual) sands**. The term 'sand' sometimes includes non-redeposited products of disintegration (erosion and weathering) of different rock types. Their origin is contributed by frost weathering in cold regions, and by intensive chemical weathering in tropical regions. An example is granitic eluvium, also called *grus*.

1) Glacifluviální uloženiny řeky Braldu, Pákistán (pjj);  
2) štěrkopískové náplavy řeky Mananjeba, Madagaskar (zv);  
3) široká písčitá niva řeky Indus, v pozadí váté písky, Pákistán (pjj); 4) oblast Khomiin Tal, Mongolsko (pjj)

1) Glaciofluvial deposits of the Braldu River, Pakistan (pjj);  
2) gravelly-sand deposits of the Mananjeba River, Madagascar (zv);  
3) a broad sandy flood plain of the Indus River, blown sands in background, Pakistan (pjj); 4) Khomiin Tal region, Mongolia (pjj)



Vrstevnaté glaciolakustrinní uloženiny s příměsí písku a jemného sopečného materiálu, Island vs)  
Bedded glaciolacustrine deposits admixed with sand and fine volcanic material, Iceland (vs)



1



2

### Výskyt písků v České republice:

- **třetihorní (neogenní) mořské písky** v pásmu lemujícím okraj Českého masívu od Znojma po Ostravsko
- **třetihorní (neogenní) jezerní a deltové písky** v chebské pánvi, sokolovské pánvi, jihočeských pánvích (třeboňská, budějovická) a žitavské pánvi
- **glacifluviální písky** v severních Čechách (Luzicko) a ve Slezsku (Opavsko, Osoblažsko, Krnovsko)
- **říční písek** v terasách a korytech řek Labe, Vltavy, Moravy, Jizery apod.
- **váté písky** v okolí řeky Labe, dolního toku Moravy a na Třeboňsku (materiál pochází většinou ze starších říčních písků, které byly přepracovány v době ledové, kdy u nás bylo sucho a chladno)
- **reziduální písky** (zvětralé pískovce) např. v Českém ráji, Českém Švýcarsku či okolí Blanska

Velmi specifickým fenoménem jsou potom takzvané **pohyblivé (tekuté) písky**, kdy se písek – často ve směsi s jílem a vodou – může chovat jako kapalina. To je nebezpečné, protože se v něm lze utopit podobně jako v bažině. Narazit na tekuté písky můžete např. poblíž ústí velkých řek a na plochém pobřeží. Za určitých okolností, třeba působením seismických otřesů, dochází ke ztekucení písku i bez vody a jílu.

*Tekoucí písek v hornictví je označován jako **kuřavka**. Jde o písky nasycené vodou (15–45 %), které mají vysoký podíl jílovitých částic. Kuřavky se vyskytují v nadloží i podloží uhelných slojí a vytvářejí protáhlé čočkovité útvary v jedné nebo několika vrstvách (např. na Ostravsku). Voda je zde někdy pod značným artéským tlakem, který může způsobit průval do důlního díla a jeho zatopení.*

1) Jílovitopísčité uloženiny třetihorního jezera s hnědouhelnými slojemi, lom Vršany; 2) písek je propustný materiál, rychle saturuje vodou a může i ztekutět (jp, zv)

1) Clayey-sandy deposits of a Tertiary lake with lignite seams, Vršany Quarry; 2) sand is a permeable material, prone to fast water-saturation and possibly liquefaction (jp, zv)

### Sand occurrences in the Czech Republic:

- **Tertiary (Neogene) marine sands** in a belt lining the margins of the Bohemian Massif between Znojmo and the Ostrava area
- **Tertiary (Neogene) lacustrine and deltaic sands** in the Cheb Basin, Sokolov Basin, South Bohemian Basins (Třeboň and České Budějovice basins) and the Zittau Basin
- **glaciofluvial sands** in northern Bohemia (Lusatia) and Silesia (Opava, Osoblah, Krnov areas)
- **fluvial sands** in terraces and channels of the Elbe, Vltava, Morava, Jizera and other rivers
- **wind-blown sands** in the surroundings of the Elbe River, in the lower reach of the Morava River and in the Třeboň area (material mostly derived from older fluvial sands reworked in glacial periods characterized by dry and cold climate in the Czech territory)
- **residual sands** (weathered sandstones), e.g., in the Bohemian Paradise, Bohemian Switzerland, and in the Blansko area

Then, a very specific phenomenon are the so-called **quicksands**, in which sand – often mixed with clay and water – can behave as a liquid. This is dangerous as one may get drowned in quicksands similarly as in a swamp. Quicksands can be encountered, e.g., near mouths of big rivers and on flat shores. Under certain conditions, for instance by the effect of seismic tremor, sands become liquefied even at the absence of water and clay.

*In mining industry, quicksands are denoted as “**kuřavka**” (running sand). These sands are water-saturated (15–45 %), with a high proportion of clay particles. They are present above or below coal seams, forming elongated, lenticular bodies in a single or several layers (e.g., in the Ostrava area). Water in these bodies is sometimes under high artesian pressure, which may induce breakouts into the mine and its flooding.*



## Písek NEUVĚŘITELNĚ PESTRÝ aneb sto podob písku

Písek tvoří podstatnou součást nezpevněných hornin zemského povrchu. Je složen z úlomků minerálů a hornin, které mají velikost do 2 milimetrů (usazeniny s převahou větších částic se nazývají štěrky, s částicemi menšími než 50 mikrometrů prach a menšími než 5 mikrometrů jíly).

Podle velikosti zrna je možné písek rozdělit na:

- jemnozrnný (0,05–0,25 mm)
- středně zrnitý (0,25–0,5 mm)
- hrubozrnný (0,5–2 mm)

Mezi nejhojnější úlomky obsažené v písku patří **křemen**. Vyskytuje se totiž skoro ve všech horninách, jejichž zvětráváním a rozpadem písek vzniká, a navíc je mechanicky i chemicky velmi odolný. Existuje ale i celá řada písků složených z **dalších minerálů či úlomků hornin** - např. zelené písky s převahou olivínu či glaukonitu; černé písky tvořené převážně z pyroxenu, amfibolu, magnetitu, ilmenitu či chromitu, anebo složené z úlomků sopečných hornin. Červenavé odstíny písku jsou zase typické pro aridní (pouštní) oblasti, zbarvení je způsobeno tzv. pouštním lakem – tenkým povlakem kolem křemenných zrn tvořeným oxidy a hydroxidy železa (někdy i manganu). Při vyšším zastoupení živců vznikají živcové nebo arkóзовé písky, vyšší podíl slíd a jílových minerálů se označuje termínem jílovité nebo drobovité písky. V tropických příbřežních oblastech se pak běžně vytvářejí **písky karbonátové** (uhličitanové), ve kterých převládají zrna kalcitu a aragonitu nebo vápnité schránky různých organismů či jejich fragmenty.



## UNBELIEVABLY VARIED sand: a hundred aspects of sand

Sand is a substantial component of unconsolidated rocks on the land surface. It is composed of mineral and rock fragments which are below 2 millimetres in size (sediments dominated by larger particles are called gravel, while those dominated by particles below 50 micrometres and 5 micrometres in size are called silt and clay, respectively).

Based on its grain size, sand can be subdivided into:

- fine-grained (0.05–0.25 mm)
- medium-grained (0.25–0.5 mm)
- coarse-grained (0.5–2 mm)

The most common clasts contained in sand are **quartz**. Quartz is a constituent of almost all rocks which give rise to sand through weathering and disintegration. Moreover, quartz is mechanically and chemically very resistant. Besides, there exist many types of sand composed of **other minerals or rock fragments**, e.g., greensands dominated by olivine or glauconite. Black sands are dominated by pyroxene, hornblende, magnetite, ilmenite and chromite, or composed of fragments of volcanic rocks. Reddish shades of sand are typical of arid regions (deserts) and their coloration is due to the so-called desert varnish – thin coatings of iron (less frequently manganese) oxyhydroxides around quartz grains. Higher representation of feldspars leads to the formation of feldspathic or arkosic sands, elevated proportions of micas and clay minerals are denoted by the terms clayey or wacke sands. **Carbonate sands** are commonly formed in tropical nearshore regions; they are dominated by calcite and aragonite grains or by calcareous shells of different organisms and their fragments.

Macrophotos of sand: 1) Saint-Leu, Reunion Is.; 2) Syros Is., Greece; 3) Menorca Is., Spain; 4) Paracas National Reserve, Peru (pjj, photo width 10 mm); 5) Cap d'Agde, France; 6) Sumbawa Is., Indonesia; 7) Okinawa, Japan; 8) Zaton, Croatia; 9) Guadeloupe Is.; 10) Bali Is., Indonesia; 11) Isle of Wight, UK; 12) Greifensee Lake, Switzerland; 13) Brétignolles-sur-Mer, France; 14) West Coast, New Zealand; 15, 16) Hawaii, USA; 17) Fehmarn Is., Germany; 18) Isle of Wight, UK; 19) Bali Is., Indonesia; 20) Dubai, desert near Hatta Road (cs, photo width 8 mm)

Makrofotografie písku: 1) Saint-Leu, ostrov Reunion; 2) ostrov Syros, Řecko; 3) ostrov Menorca, Španělsko; 4) rezervace Paracas, Peru (pjj, šíře fotografií 10 mm); 5) Cap d'Agde, Francie; 6) ostrov Sumbawa, Indonésie; 7) Okinawa, Japonsko; 8) Zaton, Chorvatsko; 9) ostrov Guadeloupe; 10) ostrov Bali, Indonésie; 11) ostrov Wight, Velká Británie; 12) jezero Greifensee, Švýcarsko; 13) Brétignolles-sur-Mer, Francie; 14) West Coast, Nový Zéland; 15, 16) Hawaii, USA; 17) ostrov Fehmarn, Německo; 18) ostrov Wight, Velká Británie; 19) ostrov Bali, Indonésie; 20) Dubaj, poušť u Hatta Road (cs, šíře fotografií 8 mm)





## Písek POD MIKROSKOPEM Sand UNDER A MICROSCOPE

Písek je skvělý nejen na plážové radovánky, ale také jako **objekt pro mikrofotografii**. A co více, mnohonásobně zvětšená zrnka písku vypadají nádherně...

Kolekce jedinečných fotografií vznikla na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. První mikroskopické fotografie písku vznikly v rámci „Seminaru vědecké fotografie“ v roce 2015, kdy Petr Jan Juračka se svými studenty zkoušel nové neotřelé postupy ve vědecké dokumentaci. Jedním ze spontánních nápadů bylo fotografování zrněk písku z různých koutů světa. Vznikl tak projekt, kombinující dva naprosto odlišné mikroskopické světy, které jsou až na výjimky zcela neslučitelné: *světelnou a elektronovou mikroskopii*.

Prvním světem je **světelná mikroskopie** – tedy taková ta klasická, kterou zná každý ze školních lavic. Mikroskop využívá zdroj světla a systém skleněných čoček, aby zvětšil pozorované objekty. Je to velmi jednoduchý systém, který má však mnohá omezení. Jedním z nich je zvětšení. V okamžiku, kdy je objekt zvětšen zhruba 1000krát, se vlnová délka světla stává příliš velkou ve srovnání s velikostí pozorovaného objektu, takže světlo objekt de facto obchází. Druhým omezením je pak limitovaná ostrost. V obrazu je ostrá vždy jen velmi tenká rovina ostrosti, zatímco zbytek se ztrácí v neostrosti. První omezení obejít nelze, druhé se pak řeší skládáním až několika set různě zaostřených snímků v jeden perfektně ostrý.

Tím druhým mikroskopickým světem je pak **skenovací elektronová mikroskopie (SEM)**, jak již název napovídá, namísto toku fotonů využívá elektrony. Tím se řeší problém se zvětšením (elektrony mají výrazně kratší vlnovou délku než světlo), a dokonce i hloubka ostrosti, která je zde širší hned o několik řádů. Jenomže elektronová mikroskopie poskytuje obraz ve fádnicích odstínech šedi, a jakékoliv dodatečné barvení je obvykle jen výplodem vědce či umělce u počítače.

Obě metody se podařilo experimentálně spojit. A v praxi to bylo „odzkoušeno“ právě na píscích... Studentky se zaměřily zejména na zrnka biogenního původu (tedy bývalé mořské organismy), která

Sand is not only a perfect medium for beach-based leisure time but also a perfect **object for microscopic photography**. Moreover, strongly magnified sand grains look splendid...

A collection of unique photographs originated at Faculty of Science of Charles University in Prague. The first microscopic photos of sand were taken within the “Seminar of Scientific Photography” in 2015 when Petr Jan Juračka and his students were attempting new, innovative approaches in scientific documentation. One of the spontaneous ideas was to photograph sand grains coming from different parts of the world... This evolved into a project combining two totally different microscopic worlds, which are – with exceptions – totally *incompatible: optical microscopy and electron microscopy*.

**Optical microscopy** is the first world: a classical technique, familiar to everyone since their school studies. The microscope employs a light source and a system of glass lenses to magnify the observed objects. It is a very simple system which, however, has a number of limitations. One of them is the magnification. Starting from the magnification of about 1000, the wavelength of light becomes too high compared to the size of the studied object. The object is then factually by-passed by the light. The second limitation is the low sharpness. Only a very thin layer becomes focused on the image while the rest of the object is blurred. The first limitation cannot be avoided, but the second limitation can be overcome by combining as many as several hundred photos focused to different levels into a single perfectly focused photo.

The other world in microscopic techniques is **scanning electron microscopy (SEM)**. As suggested by its name already, it makes use of electrons, not photons. This eliminates the magnification problem (electrons have a considerably smaller wavelength than light) and even the focus is deeper by several orders of magnitude. Electron microscopy, however, produces images in boring shades of grey, leaving any additional colouring just to the phantasy of the scientist or computer artist. The two methods were successfully combined

mají obvykle krásné tvary a barvy. Každé z nich *nasnímaly až ve dvou stech různých rovinách ostrosti*. Tyto snímky následně proluly vždy do jednoho, celkově ostrého. Následně každé zrnko (nalepené na hliníkovou minci a pozlacené v argonové plazmě) oskenovaly elektronovým mikroskopem a tuto fotografii se zcela výjimečnou kresbou společně se svým školitelem „napasovali“ přes skládací fotografii ze světelného mikroskopu.

Vznik **unikátní fotografie** jednoho zrnka písku je práce na několik hodin. Výsledek ale stojí za to! Jde o barevně i strukturně přiměřeně věrný obraz toho, jak takový písek vypadá. Ten písek, na kterém si bezostyšně roztáhnete deku na pláži...

within the present experiment. In practice, the combination was “tested” on sands... The students concentrated especially on grains of biogenic origin (former marine organisms), which generally display wonderful shapes and colours. Each of the grains were *photographed at as many as two hundred different focus levels*. The photos were subsequently merged to produce a single, completely focused photo. Then, each grain (mounted on an aluminium coin and gilded in argon plasma) was scanned using an electron microscope. These images, showing absolutely exceptional grain morphologies, were combined with the compound photos from the optical microscope by the students and their supervisor.

Production of a **unique photograph** of a single sand grain is a several-hours’ work. But it is worth the effort! Such image of a sand grain is adequately accurate in both its colour and its structure. A grain of sand across which you can freely spread a blanket on a beach...



Obyčejný písek z bulharské pláže vyfotografováný polarizačním mikroskopem (pjj)  
A photo of ordinary sand from a beach in Bulgaria taken by a polarizing microscope (pjj)



Zrnka písku biogenního původu nasnímaná s využitím kombinace světelné a elektronové mikroskopie (Šárka Danačíková, Marie Bulínová & pjj)

A photo of sand grains of biogenic origin taken with the use of combined optical/electron microscopy (Šárka Danačíková, Marie Bulínová & pjj)



Sand hosts many animals and plants: 1) young green sea turtle (*Chelonia mydas*), Mataha Island, Indonesia (pjj); 2) tracks of a beetle in sand of the Namib Desert (jb); 3) Kenyan sand boa (*Gongylophis colubrinus*), Egypt (jb); 4) collared lizard (*Chalarodon madagascariensis*), Madagascar (jb); 5) droppings of lugworm (*Arenicola marina*) (zv); 6) an anthill in sand, Venezuela (zv); 7) balls created by sand bubbler crabs, Borneo, Malaysia (zv); 8) yellow mongoose (*Cynictis penicillata*), Kalahari Desert (jb); 9) Saharan horned viper (*Cerastes cerastes*), Egypt (jb)



Písek je domovem mnoha tvorů a rostlin: 1) mládě karety obrovské (*Chelonia mydas*), ostrov Mataha, Indonésie (pjj); 2) stopa brouka v písku pouště Namib (jb); 3) hroznýšek pestrý (*Gongylophis colubrinus*), Egypt (jb); 4) leguánek (*Chalarodon madagascariensis*), Madagaskar (jb); 5) hromádky trusu pískovníka rybářského (*Arenicola marina*) (zv); 6) mraveniště v písku, Venezuela (zv); 7) kulíčky vytvořené písečným krabem, Borneo, Malajsie (zv); 8) mangusta liščí (*Cynictis penicillata*) v Kalahari (jb); 9) zmije rohatá (*Cerastes cerastes*), Egypt (jb)

## ŽIVOT A STOPY v písku

## LIFE AND TRACES in sand

Rozsáhlá území tvořená pískem mohou na první pohled působit jako sterilní a nehostinné prostředí. Zdání však klame a třeba rozpálené pouštní písky se staly domovem mnoha tvorů a rostlin. Také písčité dna řek, jezer a moří obývají různé druhy vodních živočichů. A nejenak tomu bylo i v dávné minulosti. V písku mohou být zachovány fosilní schránky či kostry pravěkých tvorů (fosilie) a také zkamenělé stopy po životě – ty se nazývají **ichnofosilie**.

Vast areas formed by sand may give the impression of sterile, hostile environments at a first look. Appearances are, however, deceptive: for example, glowing desert sands have become the home of many animals and plants. Sandy bottoms of rivers, lakes and seas are also inhabited by various species of aquatic animals. And this was the case in the distant past, too. Sand may preserve fossil shells or skeletons of ancient creatures (fossils) as much as petrified traces after life activities – these are called **ichnofossils**.

Pískovce jsou místy bohaté na stopy dávného života. Ačkoliv nejslavnější paleontologické nálezy Čech a Moravy většinou pocházejí z jemnozrnnějších hornin, než jsou pískovce (trilobiti v Jincích a ve Skryjích, ryby a krytolepci od Nýřan, žáby z Bechleovic u Děčína), ve světě to tak docela neplatí. Mírně vápnité písky jsou totiž skvělým prostředím pro zavátí a zachování celých koster dinosaurů. Takové nálezy pocházejí například z USA nebo Mongolska.

Sandstones are rich in traces of ancient life at certain places. The most famous paleontological finds in Bohemia and Moravia mostly come from finer rocks than sandstones (trilobites from Jince and Skryje, fishes and stegocephalians from Nýřany, frogs from Bechleovice near Děčín). This rule, however, does not fully apply in global scale: weakly calcareous sands are a perfect environment for the burial and preservation of complete skeletons of dinosaurs. Such finds come from the USA or Mongolia, among others.

Písky smíšené kupříkladu s jíly mohou být skvělým podkladem pro **zachování otisků končetin dinosaurů** (výjimečně i celých putujících stád) nebo velkých třetihorních savců. U nás je obdobou těchto nalezišť lom „Krákorka“ u Červeného Kostelce. Tamější pískovec je triasového stáří; v prachu a blátě tam občas proběhli ti úplně nejstarší dinosaurů.

Sands, when mixed with clays, for instance, may become a perfect fundament for the **preservation of tracks of dinosaurs** (exceptionally even whole migrating dinosaur herds) or large Tertiary mammals. An analogue of these sites in the Czech Republic is the “Krákorka” quarry near Červený Kostelec. Its sandstone is Triassic in age; dust and mud at this site were occasionally crossed by some of the oldest dinosaurs.

Ani drobnější živočichové nevycházejí v pískovcích úplně naprázdno. Písky se totiž obvykle usadily v prostředí se silným vlněním a například **schránky měkkýšů** musely být tomuto prostředí uzpůsobeny. Často měli velké a silné schránky (kupříkladu mlži rodů *Rhynchostreon* nebo *Inoceramus*), které se navzdory chemicky kyselým spodním vodám dochovaly, nebo se sice rozpustily, ale alespoň zůstaly v pískovcích dutiny přesně odpovídající tvaru rozpuštěné schránky mušlí.

Smaller-scale animals are neither completely absent in sandstones. This is because sands were usually deposited in environments with a strong wave action, and the **shells of some animals (e.g., molluscs)** had to adapt to such settings: they were often big and thick (e.g., bivalves of genera *Rhynchostreon* or *Inoceramus*). Such shells were preserved despite chemically acid groundwater, or were dissolved, but at least left behind cavities in sandstone precisely corresponding to the shapes of the dissolved shells.

V mělkých mořích si dodnes miliardy drobných mořských ráčků budují **systemy chodbiček**, někdy přirovnávané k miniaturním systémům tunelů metra ve velkých městech. Ráčci stráví „v podzemí“ velkou část svého života; živí se droboučkými živočichy (hlavně členovci) žijícími mezi zrnky písku. Stopy po těchto pradávných „podzemních městech“ jsou krásně zachovalé například u cesty mezi Pravčickou bránou a Mezní Loukou, na úbočích Děčínského Sněžníku nebo ve skalách pod Ralskem (Juliina vyhlídka).

Even in modern shallow seas, billions of minute marine malacostracans (crayfish) construct **systems of corridors**, sometimes compared to miniature systems of subway tunnels in big cities.



10



13



14

10) magrove, Cayo Coco, Kuba (pjj); 11) mořské řasy vyplavené na pláži, Madagaskar (zv); 12) pouštní endemit *Welvitchia mirabilis*, Namibie (jb); 13) rašící kokos na pláži neobydleného ostrova Bilang Bilangan, Indonésie (pjj); 14) povíjnice kozí noha (*Ipomoea pes-caprae*), pobřeží Madagaskaru (zv); 15) uschlý stromek na boku písečné duny, Utah, USA (mf)

10) magrove, Cayo Coco, Cuba (pjj); 11) sea weed stranded on a beach, Madagascar (zv); 12) a desert endemite of *Welvitchia mirabilis*, Namibia (jb); 13) a sprouting coconut on the beach of the uninhabited island of Bilang Bilangan, Indonesia (pjj); 14) goat's foot (*Ipomoea pes-caprae*), Madagascar coast (zv); 15) a dry tree on a flank of a sand dune, Utah, USA (mf)



11



12



15



„Stopování dinosaura“ (malba Petr Modlitba) / “Tracking a dinosaur” (a painting by Petr Modlitba)

Stopy vzniklé na povrchu písčitého mořského dna mají zdánlivě nulovou šanci se dochovat. Možnost však přece jen existuje. Při okrajích kontinentů se občas (v horizontu desetiletí až tisíciletí) uvolňují „laviny“ písčitého materiálu a kloužou po pevninském svahu dolů. Pevninské svahy bývají mnoho kilometrů dlouhé, a tak rychlost „lavin“ (mezi geology známých jako tzv. turbiditní proudy) může dosáhnout několika set kilometrů za hodinu. Proto i dojezd „lavin“ je úctyhodný. Turbiditní proud vždy zabije většinu obyvatel dna, ale jiní se brzy navracejí ze sousedních, nepostižených oblastí. Hluboko na dně oceánské pánve je klid, a proto se tam vtištěné stopy často výtečně zachovávají. Podávají nám obrázek o životě v hlubokých mořích, nejlepší, jaký zatím máme. Oceánografové právem říkají, že o tom, co je pod hlubokomořským dnem, víme méně než o tom, co leží na Měsíci. Fascinující tvary i jména, jako *Protovirgularia*, *Zoophycos* nebo *Paleodictyon*, zde vesměs poprvé v ČR vystavená na veřejnosti, jsou důkazem.

Foto na této a následující straně:

- 1) Stopa dinosaura nazvaná *Anomoepus*, trias, lom U Devíti křížů (rm);
- 2) velcí mlži *Mytiloides labiatus*, křída, Tiské stěny (zv);
- 3) složitá spirálovitá stopa (*Zoophycos*) vzniklá po skladování potravy neznámého kroužkovce, paleogén, Bzová u Uherského Hradiště (rm);
- 4) šachty mořských ráčků směřující do hlubinného labyrintu, křída, Stříbrné stěny v Českém Švýcarsku (vs);
- 5) hvězdovitě zásobárny potravy bezobratlých, křída, Labské pískovce (rm);
- 6) vrstevní plocha s doupaty ráčků, křída, Červený Kostelec (rm);
- 7) stopy obojživelníků v jezerním písku, Libštát, perm (jp);
- 8) nejstarší mravkolví trychtýř vznikl současně s vyhynutím trilobitů, jižní Polsko (rm);
- 9) stopy po jídání organické vrstvičky na dně, devon, Svatokřížské hory, Polsko (rm);
- 10) zkamenělí ramenonožci, devon, jih Polska (rm)

Photos on this page and following two pages:

- 1) A dinosaur track called *Anomoepus*, Triassic, U Devíti Quarry (rm);
- 2) large bivalves of *Mytiloides labiatus*, Cretaceous, Tiské stěny Cliffs (zv);
- 3) a complex spiral-shaped trace (*Zoophycos*) formed after storage of food by an unknown annelid worm, Paleogene, Bzová near Uherské Hradiště (rm);
- 4) shafts of marine crayfish directed to a deep labyrinth, Cretaceous, Stříbrné stěny, Bohemian Switzerland (vs);
- 5) asteroidal food storages of invertebrates, Cretaceous, Elbe Sandstones (rm);
- 6) a bedding plane with crayfish burrows, Cretaceous, Červený Kostelec (rm);
- 7) tracks of amphibians in lacustrine sands, Libštát, Permian (jp);
- 8) the first conical ant-lion pits were contemporaneous with the extinction of trilobites, southern Poland (rm);
- 9) traces after grazing on bottom organic film, Devonian, Holy Cross Mts., Poland (rm);
- 10) fossil brachiopods, Devonian, S Poland (rm)

Crayfish spend a large part of their lives “under the ground”; they feed on tiny animals (mainly arthropods) living among sand grains. Traces after these ancient “subterranean cities” are perfectly preserved, e.g., along the path between the Pravčická brána Arch and Mezní Louka, on the slopes of Děčínský Sněžník Hill, or in cliffs at the foot of Ralsko Hill (Juliina vyhlídka Viewpoint).

Traces formed on the surface of a sandy sea bottom have apparently no chance of preservation. There is, however, still a possibility. At continental margins, “avalanches” of sand-sized material are occasionally (after decades or millennia) released, slumping down the continental slope. These slopes are many kilometres long, which allows these “avalanches” (known as turbidity currents among geologists) reach the speed of several hundreds kilometres per hour. As a result, the range of these “avalanches” is no less magnificent. Turbidity currents always kill most of the bottom-dwelling organisms but others return from the neighbouring, unaffected areas soon. Peaceful conditions deep on the bottom of an oceanic basin frequently allow for a perfect preservation of the imprinted traces. These traces reflect life activities in deep seas, providing as yet the best available information. Oceanographers are right saying that we have a poorer idea on what lies beneath the deep sea floor than what is on the Moon. This is evidenced by fascinating shapes and names, such as *Protovirgularia*, *Zoophycos* or *Paleodictyon*, belonging to traces displayed at the present exhibition, mostly for the first time in the Czech Republic.







Stopy v saharské poušti, archeologické výzkumy v Sudánu (pb)  
Tracks in the Sahara Desert, archeological investigations in Sudan (pb)



1



2

## Písek UŽITEČNÝ

Písky mají velmi široké využití, dobývali je už naši předkové a jsou žádané i v současnosti. Reprezentují totiž *důležitou nerostnou surovinu* používanou především ve stavebnictví do betonu, asfaltu ad. (hlavně čisté křemenné písky), ve sklářském průmyslu (nejčistší křemenné písky s velmi nízkým obsahem železa a jiných příměsí), ve slévárenství či v keramickém průmyslu. Většina světových zásob pitné vody, ropy a plynu je uložena v rezervoárech tvořených písečnými uloženinami. Některé písky bohaté na těžké minerály jsou těženy jako rozsypová ložiska těžkých kovů (zlata) a drahokamů. Písky jsou také nepostradatelnou surovinou při výrobě aut, mikročipů, solárních panelů či chytrých telefonů. V neposlední řadě jsou také zdrojem oxidu křemičitého, který nalezneme ve víně, v čistících prostředcích, saponátech, papíru, dehydrované stravě, v zubních pastách, v kosmetice a dalších výrobcích, které používáme každý den. Někdy je proto písek příznačně nazýván „*sypké zlato*“.

### Drancování ložisek a nelegální obchod

V posledních desetiletích roste celosvětově poptávka po této nenahraditelné surovině. Spotřeba písku stoupla za posledních 20 let více než trojnásobně. Zdroje využitelného písku jsou však omezené a lidé ho vytěží výrazně více, než kolik se ho do přírody dostane zpět přirozenými procesy (tedy erozí a zvětráváním hornin). Proto písek z povrchu Země **pomalů, ale jistě mizí...**

*Písek je po vodě nejvyhledávanějším přírodním zdrojem. Podle statistik se ročně na celém světě spotřebuje až 50 miliard tun písku, což odpovídá spotřebě cca 18 kg na člověka/den. Například na stavbu rodinného domu se spotřebuje asi 200 tun písku, na kilometr dálnice pak kolem 30 000 tun. Z množství písku, které lidstvo rok co rok spotřebuje, by se dal navršit 27 m vysoký a 27 m široký val kolem rovníku.*

Bohužel ani stále se rozšiřující písečné pouště nedostatek písku nevyřeší – zrna písku jsou zde větrem natolik ohlazená a velikostně vytríděná, že nedrží pohromadě a nejsou pro stavební účely použitelná. Naprostá většina využívané suroviny pochází

## USEFUL sand

The utilization of sands is very wide. Sand used to be exploited by our ancestors as much as it is demanded today. Sand represents an *important industrial mineral*, used mostly as a component for the production of concrete, asphalt etc. (especially pure quartz sands) in the construction industry, then in the glass-making industry (the purest quartz sands with very low contents of iron and other adverse admixtures), and in the foundry and ceramics industries. Most of the world's reserves of potable water, oil and natural gas are contained in sandy reservoir rocks. Sands rich in heavy minerals are exploited as placer deposits of heavy metals (gold) and precious stones. Sand is an equally indispensable material in the manufacture of cars, microchips, solar panels or smartphones. Last but not least, it is a source of silica, which can be found in wine, cleaning utilities, detergents, paper, dehydrated food, toothpastes, cosmetics and other products of everyday use. This is why sand is sometimes appropriately called "*loose gold*".

### Plundering of deposits and illegal trade

The global demand for this indispensable material is growing in the last decades. Sand consumption has risen by the factor of three during the last 20 years. Sources of exploitable sand are, however, limited and the amounts extracted by man are notably higher than those supplied in the natural system by standard processes, i.e., by rock erosion and weathering. In result, sand **disappears** from the Earth surface **slowly but constantly...**

*Sand is the most demanded natural resource after water. According to the statistics, as much as 50 billion tonnes of sand are consumed in global scale every year. This corresponds to a consumption of ca. 18 kg per capita and day. For example, every construction of a family house consumes about 200 tonnes of sand, and the construction of one kilometre of a freeway consumes around 30,000 tonnes of sand. The amount of sand consumed every year by the human race would be sufficient for the erection of a rampart 27 m high and 27 m broad around the Equator.*



z říčních náplavů. Jemný kopaný písek se přidává např. do omítek, o něco hrubší štěrkopísek se používá jako přísada do betonu. Třídí se do frakcí podle hrubosti. Písek z mořských uloženin (tedy z pláží a mořského dna) lze také použít, často se ale musí ve sladké vodě zbavit soli, která způsobuje korozi.

Stavební boom zejména v asijských zemích způsobil dokonce vznik „**písečných mafií**“, které ve velkém drancují pláže a koryta řek. Rozsáhlá nekontrolovaná těžba písku výrazně poškozuje životní prostředí – způsobuje erozi a destabilizaci pobřeží, zhroucení říčních břehů, ovlivňuje zásoby povrchové i podzemní vody, ničí cenné ekosystémy. Přírodní mechanismy chránící pevninu před bouřemi a vlnami tsunami pak přestávají fungovat.

Písek z pláží mizí ve Vietnamu, Kambodži, Sierra Leone, Maroku, na Kapverdách i jinde. Kvůli těžbě písku se např. v Indonésii do moře propadají a mizí desítky ostrovů, v deltě Mekongu je zase těžbou ohroženo mnoho vesnic a hrozí stěhování až půl milionů lidí. Řada zemí, především asijských, už zakázala vývoz této suroviny do zahraničí. Ilegální obchod s pískem však kvete dále až v 70 zemích světa...

**Písek, surovina, které je méně, než se zdá:** Vědci se proto usilovně snaží vyvinout umělé alternativy, které by písek v budoucnu nahradily. Řešením by mohla být i recyklace stavebních surovin či náhrada jinými podobnými materiály.

### Těžba písku v ČR

Využitelná ložiska bývají většinou čtvrtohorního nebo třetihorního stáří, v Čechách a na Moravě se často těžily i rozpadavé pískovce křídového stáří.

Historie těžby písku na našem území sahá až do raného středověku, v té době se písek těžil ručně a vznikaly tak pouze malé vytěžené plochy. Písek byl dobýván nejen povrchově (v písečných jamách, často u břehů řek či na říčních ostrovech nebo mělkými pinkami v místech rozpadlé horniny), ale také hlubinně. Vznikly tak drobné umělé jeskyně známé třeba z okolí Sloupu v Čechách, ale i poměrně rozsáhlé podzemní štoly (v našem regionu např. *Sandhöhlen u Staré Olešky, Labyrinth (též Sandloch) v Ludvíkovicích nebo Riedelova jeskyně u Dolního Prysku*).

Unfortunately, the shortage of sand can be neither solved by the constantly expanding sand deserts: sand grains in deserts are so abraded by wind and so perfectly sorted that they do not hold together and cannot be used for construction purposes. The absolute majority of exploited material comes from fluvial deposits. Excavated fine-grained sand is being added, e.g., to plasters, and somewhat coarser sand and gravel is used as an additive to concrete. It is sorted by its grain size into fractions. Sand from marine deposits (beaches and sea bottom) can be also used but has to be washed in fresh water to get rid of salts which induce corrosion.

The construction boom, especially in Asian countries, led even to the establishment of “**sand mafias**”, which plunder beaches and river channels at large. The extensive unregulated sand extraction inflicts considerable damage to the environment, causing shoreline erosion and destabilization, collapses of river banks, affecting the reserves of surface water and groundwater, and destroying valuable ecosystems. In result, natural mechanisms protecting the land from thunderstorms and tsunamis become ineffective.

Sand disappears from the shores of Vietnam, Cambodia, Sierra Leone, Morocco, on the Cape Verde Islands and elsewhere. In Indonesia, for example, tens of islands subside under the sea level and disappear due to sand mining. In the delta of the Mekong River, mining brings threat to many villages, with the dwellings of as many as half million people at risk. Many countries, particularly those from Asia, have already banned the export of this material abroad. Nevertheless, illegal trade with sand continues to flourish in as many as 70 countries across the world...

**Sand: material which is scarcer than it appears.** Therefore, scientists give much effort to the development of synthetic alternatives, which would be used as substitutes for sand in the future. The problem could be solved by the recycling of building materials or by the replacement of sand by other, similar materials.

### Sand exploitation in the Czech Republic

The exploitable deposits are mostly of Quaternary or Tertiary age, but even friable sandstones of



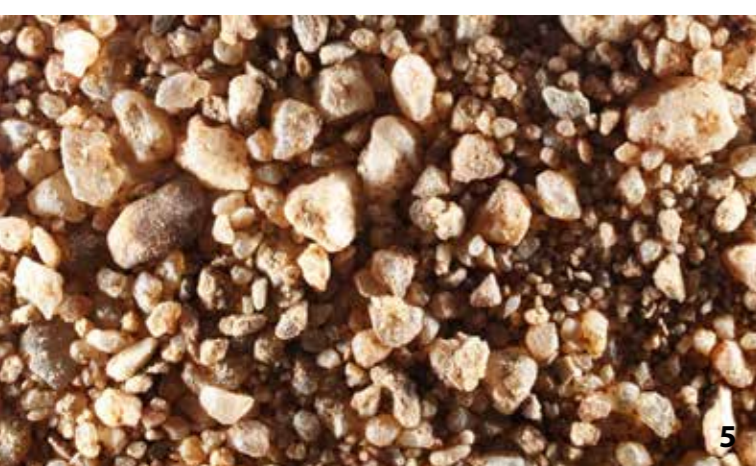
1) Nelegální těžba diamantů proséváním písků na řece Acanán v NP Canaima, Venezuela (zv); 2) třídírna štěrkopísku Roztyly-Soběsuky; 3) pískovna Chotíkov; 4) činný lom v České Kamenici těžící rozpadavý pískovec (pa)

1) Illegal diamond mining by sieving sands of the Acanán River, Canaima NP, Venezuela (zv); 2) a sand-and-gravel sorting plant at Roztyly-Soběsuky; 3) a sand pit at Chotíkov; 4) an active quarry for friable sandstone at Česká Kamenice (pa)

Pískovna Hrušovany u Brna, písek je zde těžen s pomocí nakladačů ze stěn až 10 m vysokých a přímo v pískovně je upravován praním a tříděním (pa)

At the sand pit of Hrušovany u Brna, sand is mined with the use of wheel loaders from faces up to 10 m high and processed through washing and sorting directly in the sand pit (pa)





Vzorky písku z českých pískoven (šířka fotografií 16 mm) / Samples of sand from Czech sand pits (width of photos 16 mm):

1) Lom Střeleč; 2) Travčice (Bohušovice nad Ohří); 3) Žabčice; 4) Náklo; 5) Dubnice; 6) Černuc; 7) Česká Kamenice; 8) Provodín; 9) Stráž nad Nežárkou; 10) Marokánka; 11) Poříč; 12) Kaznějov; 13) Hlavačov; 14) Brniště; 15) Václavovice (Polanka nad Odrou); 16) Hulín (pa)



Ludvíkovice, hlubinná těžba písku v obci ((vs)  
Ludvíkovice, underground sand mining (vs)



Písek v rukách člověka může pomáhat i škodit, může však být i tvůrčím materiálem a svádět k různorodým hrátkám... :-) (zv, pjj)

Sand in human hands may be either beneficial or harmful; it may equally pose creative material and entice into a variety of fun activities... :-) (zv, pjj)



Rozlehlé pískovny vznikly až v období komunismu, vrchol těžby pak spadá do 80. let 20. století (souvisel s rozmachem stavebnictví – např. stavbou jaderné elektrárny Temelín). V současnosti je však těžba písku samotného okrajovou záležitostí. Dochází k ní pouze v akumulacích vátých písků, z nichž většina už je součástí zvláště chráněných území. Sklářské a slévárenské písky jsou pak těženy např. v Provodíně či v lomu Střeleč. Mnohonásobně více je oblastí, ve kterých se těží **štěrkopísek** (stovky činných pískoven). Těžba je nejrozsáhlejší v povodí Labe a dále v jižních Čechách (v okolí Vltavy a Lužnice).

### Písek jako suvenýr?

Problémem začíná být v poslední době nejen velkoobjemová těžba. Písek se ve velkém začal ztrácet například i z oblíbených přímořských pláží. Za to pro změnu mohou nenechat turisté. Skoro každý si chce z dovolené odvézt domů nějakou nezničitelnou vzpomínku. A esteticky vypadající písek se zdá být ideální suvenýr...

V roce 2019 informoval zahraniční tisk o několika případech zadržení cestovatelů, kteří si odváželi z dovolené desítky až stovky kilogramů písku. Na vybraných evropských plážích (např. na Sardinii či některých řeckých ostrovech) dnes tedy nestráží jen pobřežní hlídka zachraňující topící se plavce, ale nově i tzv. „strážci písku“, kteří mají upozorňovat na krádeže písku a další porušování pravidel na veřejných plážích. Za „krádež a pašování“ písku, mušlí, škeblí či oblázků hrozí v některých zemích nejen vysoká pokuta, ale až několikaleté vězení.

*Na turisticky oblíbené Smaragdové pobřeží na severovýchodě Sardinie byly vráceny tuny písku, oblázky a škeble nalezené v zavazadlech turistů. Za posledních deset let bylo na ostrově výletníkům zabaveno kolem 10 tun písku.*

*„Krádež století“ však proběhla mnohem dříve na vzdálené Jamajce, kde v roce 2008 přes noc prakticky zmizela čtyřsetmetrová písečná pláž Coral Spring. Neznámí pachatelé odvezli z pobřeží 500 nákladních vozů bílého písku a oblast tím byla turisticky znehodnocena...*

### Další využití písku

- Ve starověku a středověku se písek používal dokonce ve vojenství; rozžhavený byl obávanou zbraní obránců během obléhání.

Cretaceous age were often extracted in Bohemia and Moravia.

The history of sand exploitation in the Czech territory extends deep into early medieval times. Then, sand was hand-mined and its extraction thus left behind only small patches of exploited land. Sand was extracted from the surface (in sand pits, often at river banks and on islands in rivers, or through shallow trenches at sites of disintegrated rock) as well as in the subsurface. These activities produced small artificial caves known, e.g., from the area of Sloup v Čechách, but also relatively extensive systems of galleries. Examples from our region include *Sandhöhlen near Stará Oleška, Labyrinth (also Sandloch) at Ludvíkovice or the Riedel Cave near Dolní Prýsk.*

Extensive sand pits were established not sooner than in the communist era, with the production culminating in the 1980s (this was related to the construction boom – e.g., construction of the Temelín nuclear power plant). Extraction of sand itself is now a marginal issue, however. It occurs only in the accumulations of wind-blown sands, most of which are now included in areas of specific protection. Glass and foundry sands are exploited, e.g., at Provodín or in the Střeleč quarry. The areas of exploitation of **sand and gravel** are much more numerous (hundredsover active sand pits). This activity is most widespread in the Elbe River basin and in southern Bohemia (around Vltava and Lužnice rivers).

### Sand as a souvenir?

Large-volume sand extraction is not the only problem recently. For instance, large volumes of sand have been removed also from popular seashore beaches. It is the sticky-fingered tourists who are to be blamed for this activity. Almost everyone wants to bring home some kind of an indestructible memory from their holiday. And aesthetic-looking sand seems to be an ideal souvenir...

In 2019, foreign press informed of several detentions of travellers who were carrying tens to hundreds of kilograms of sand from their holidays. It is thus not only the coast guard rescuing drowning swimmers but also the “sand guard” that patrols on selected European beaches (e.g., Sardinia or some Greek islands). Duties of the sand guard

- Obyčejné pytle s pískem jsou jedním z nejefektivnějších protipovodňových opatření, protože jsou snadno dostupné a manipulovatelné.
- Písek se uplatňuje také při hledání zdrojů pitné vody či ložisek uhlovodíků. Zvláštní druh takových ložisek představují roponosné nebo bitumenní písky.
- Velký význam má rovněž aplikace písku při získávání takzvaného břidličného zemního plynu. Jedná se o novou technologii hydraulického štěpení neboli frakování. Při tomto způsobu těžby se provedou vrty do ložisek černých břidlic, kam se pod tlakem vhání voda s pískem. Horniny díky vysokému tlaku popraskají a do prasklin vnikne písek, jenž je pomáhá udržet otevřené. Z prasklin následně uniká zemní plyn, který je pak jímán.
- Písek (a pískovec) využívají pro jeho specifické vlastnosti i mnozí umělci a výtvarníci, vyrábí se z něj také netradiční šperky...
- Písek slouží i k dalším mnoha různým účelům a je běžnou součástí věcí využívaných v každodenním životě (přesýpací hodiny, substrát do akvárií a terárií, pískoviště pro děti, meditační japonské zahrady, součást malty, zimní posyp silnice,...)

entail reporting sand thefts inasmuch breaking of other rules on public beaches. "Theft and smuggling" of sand, conchs, shells or pebbles are prosecuted by high fines or even several-years' imprisonment in some countries.

*The touristically attractive Emerald Coast in north-eastern Sardinia received back its tons of sand, pebbles and shells retrieved from the luggage of tourists. About 10 tons of sand have been confiscated from the travellers on this island in the last decade.*

*The "theft of the century", however, occurred much earlier in distant Jamaica: the 400 m long sand beach of Coral Spring practically disappeared overnight in 2008. Five hundred trucks of white sand were removed from the shore by unknown culprits and the area thus became depreciated for tourism...*

#### Further utilization of sand

- In ancient and medieval times, sand was used even in military art: heated sand was a dreaded weapon of defenders during siege.
- Ordinary sand-filled bags are one of the most effective anti-flood measures because they are easily available and easy to manipulate.
- Sand finds its use also in the exploration for potable water sources and hydrocarbon deposits. A special type of such deposits is represented by oil-bearing and bituminous sands.
- Of great importance is also the application of sand in the acquisition of the so-called shale gas. It is a novel technology of hydraulic fission, or fracking. This mining method starts with drilling into black shale deposits. Then, water and sand are pumped under pressure into the boreholes, inducing rock fracturing. The fractures become pervaded by sand which helps to keep them open. Natural gas is subsequently emanated from the fractures and pumped to the surface.
- Sand (and sandstone) are utilized by many artists and visual artists for their specific properties; they also serve for the manufacture of non-traditional jewellery...
- Sand can be used for a number of different purposes. It is a common component of objects used in everyday life (hourglass, substrates for aquaria and terraria, sandboxes for children, Japanese meditation gardens, a component of mortar, road scatter in winter,...)



Písek je hlavní surovinou sklářského průmyslu (1) a významnou přísadou většiny stavebních materiálů (2, 3, 6), může ale sloužit také k meditaci a relaxaci (4, 5) (Pixabay)

Sand is essential for glass industry (1) and an important admixture to most building materials (2, 3, 6), it may also serve for meditation and relaxation (4, 5) (Pixabay)



Obydlené ostrovy z písku v Abú Dhabí, Spojené arabské emiráty (pjj)  
Populated islands built of sand in Abu Dhabi, United Arab Emirates (pjj)





## Písek jako KLÍČ K OBJEVŮM aneb jak vznikají skalní brány a další obdivuhodné skalní útvary

Písek se od pískovce liší tím, že nemá tmel, který by poutal jednotlivá zrnka písku k sobě. Existuje ale bizarní materiál, který leží mechanickými vlastnostmi na přechodu pískovce a písku: **uzamčený písek**. Křemenná zrna uzamčeného písku do sebe dobře zapadají a uzamčený písek tak vydrží velký tlak. Mezi zrny uzamčeného písku ale není žádný tmel, a proto lze zrna písku velmi snadno odtrhnout od sebe. Deseticentimetrová kostka uzamčeného písku tak unese osobní auto (namáhání tlakem), ale zároveň se tatáž kostka rozpadne samovolně ve stojaté vodě. V lomu Střeleč se uzamčený písek dříve těžil rozplavováním vodou z hasičské proudnice. Dnes, kdy se těží na sucho, je třeba použít trhavin.

V uzamčeném písku vznikají během pouhých minut **zmenšeniny skalních útvarů**, které známe z národních parků v pískovcích po celém světě: skalní brány, pilíře, skalní hříby či věže. Pozorováním uzamčeného písku můžeme objasnit, jak tyto skalní útvary vznikají. Uzamčený písek se přednostně eroduje tam, kde je malý tlak mezi zrny písku. Vyšší tlak mezi zrny vede k vyššímu tření a pro erozi je pak obtížnější nebo i nemožné zrnka písku ze stlačené struktury uvolnit. V tíhovém poli Země na sebe všechna zrnka tlačí tím silněji, čím mocnější je nad nimi nadloží, a tlak je proto přítomen v každé hornině. Je to právě horninový tlak, který propojuje všechna zrna do jediného celku.

*Pokusy s uzamčeným pískem ukázaly, že **skalní brána** vzniká tehdy, když je skalní masiv porušen vodorovnou nebo šikmou puklinou nebo jinou diskontinuitou (nespojností), přes kterou se tlak nemůže šířit (např. vrstvou jílu). Tlak se vyhýbá diskontinuitě a napospas erozi tím ponechává i pískovec v okolí diskontinuity, který je málo stlačený. Nad diskontinuitou se vytváří stlačený oblouk, který je základem budoucí brány a eroze tento tlakový oblouk vlastně z horniny vypreparuje.*

## Sand as A KEY TO DISCOVERIES: on the origin of natural arches and other spectacular rock formations

Sand differs from sandstone in having no cement which would tie individual sand grains together. There is, however, peculiar material lying at the transition between sand and sandstone in its mechanical properties: **locked sand**. Quartz grains of locked sand fit well into one another, which gives locked sand a great resistance to pressure. On the other hand, the absence of cement among the grains permits a very easy detachment of the grains from one another. As a result, a 10-centimetre cube of locked sand can be loaded by a passenger car without getting fractured (pressure loading) but the same cube disintegrates spontaneously in standing water. In the quarry at Střeleč, locked sand was previously mined by water jet from a fire hosepipe. Now that water is not longer used for the mining, explosives must be applied.

**Miniatures of rock formations** known from sandstone national parks all over the world, like arches, pillars, mushroom rocks and towers, can form in locked sand within minutes only. The origin of these rock formations can be explained based on observation of locked sand. The erosion of locked sand proceeds preferentially at places with low pressure among sand grains. Higher pressure among sand grains results in higher friction, which makes it much more difficult or even impossible for erosion to release the grains from the compressed structure. In the gravity field of the Earth, all grains push harder against one another as the thickness of the overburden increases. Pressure is therefore present in each rock. And it is precisely the rock pressure which integrates all grains into a single system.

*Experiments with locked sand have shown that **natural arches** are formed if the rock massif is cross-cut by a horizontal or inclined joint or other discontinuity which prevents pressure to be transmitted (e.g., a clay bed). If so, pressure avoids the discontinuity, allowing*





**Skalní hřib** bývá tvořen tenkou nohou chráněnou mohutnějším a pevnějším kloboukem. Jak ale může vzniknout tak perfektně vyvážený skalní útvar? Proč se během vývoje nezřítí? Erozi zde opět řídí tlak. Jak eroze postupuje z určité strany rychleji k těžišti vznikajícího hříbu, masa hříbu se mírně na tuto stranu naklání a tím stlačuje materiál na nejvíce erodované straně, což zpomaluje erozi. Hřib je ve výsledku proto erodován z různých stran rovnoměrně.

Skalní brány, skalní hříby a jiné útvary v pískovcích tedy nevznikají jako pouhá náhodná hříčka okolností. Naopak jsou **vytvářeny zákonitou souhrou mezi tlakovým polem v pískovci, které ovlivňuje tření mezi zrnky horniny, a erozními činiteli**, které jsou tím účinnější, čím je tlak a tedy i tření nižší. Pokusy ukázaly, že nezáleží na typu zvětrání či eroze. Mráz, solné zvětrání, tekoucí voda, mohou vytvořit stejný útvar. Je to rozložení tlaku v hornině dané původním tvarem horniny a poruch v ní, co řídí výsledný tvar.

Uzamčený písek se těží v pískovně Střeleč v Českém ráji a tvoří části některých skalních měst, např. Apoleny nedaleko hradu Trosky. V uzamčeném písku byly v minulosti motykou vyhloubeny velké podzemní chodby při těžbě kaolínu (Orty u Českých Budějovic a dnes zpřístupněné podzemní dobývky u Nevřeneš na Plzeňsku). Překvapivá stabilita těchto ručně kopaných prostor je dána právě zvláštními mechanickými vlastnostmi uzamčeného písku. V uzamčeném písku byly hloubeny i jedny z prvních dolů na světě, staroegyptské doly na měď v údolí Timna nedaleko Ejlatu v Izraeli.



„Zázračný“ střelečský pískovec: 1) výsledek experimentu: stabilní „pískovcové okénko“ vzniklo samovolně ponořením vodorovně naříznutého plátku pískovce do vody (mf); 2) malé skalní arkády vzniklé samovolně oplachováním původně hladké stěny s horizontální vrstevnatostí; 3) skalní arkádky vzniklé na břehu jezírka opakovaným zatápěním vlivem kolísající hladiny; 4) dokonalá skalní branka vzniklá zaplavováním skalního výčnělku; 5) skalní brána v kýblu vytvořená zatopením pískovcového kvádrů podloženého pouze na dvou koncích; 6) výplavový kužel v „největší přírodní laboratoři na výzkum pískovce“ – lomu Střeleč (mf)

*erosion to remove the weakly compressed sandstone in its vicinity. A compressed arch is formed above the discontinuity as a basis for the future rock arch. The pressure arch actually becomes exhumed from the rock by erosion.*

**Mushroom rocks** consist of a narrow pillar protected by a more robust, harder head. What actually stands behind the origin of such a perfectly balanced rock formation? What does it prevent from collapsing during its evolution? In this case, erosion is controlled by pressure again. As erosion proceeds faster from a certain direction to the centre of gravity of the emerging mushroom rock, the mass of the mushroom rock slightly tilts into this direction, thereby compressing material on the most rapidly eroded side. This, in turn, slows down erosion. As a result, the mushroom rock becomes eroded proportionally from different sides.

Arches, mushroom rocks and other sandstone monuments thus do not develop as a mere haphazard freak of nature. To the contrary, they are **shaped by imperative interplay between the stress field in sandstone, which controls friction among individual grains in the rock, and erosion agents**. The effectiveness of erosion agents increases with a decreasing pressure hence also a decreasing friction. As revealed by the experiments, this happens regardless of the type of weathering or erosion. Frost, salt weathering, or running water can all produce the same landform. The key to the resulting geometry is the pressure, distribution, given by the original shape of the rock and the presence of fractures.

Locked sand is mined at the Střeleč sand pit in the Bohemian Paradise. It also forms parts of some rock cities, such as Apolena near the Trosky Castle. Large underground corridors were hand-dug in locked sand during kaolin exploitation in the past (Orty near České Budějovice, and underground mines at Nevřeň near Plzeň now open to the public). It is the specific mechanical properties of locked sand which explain the striking stability of these manually excavated spaces. Locked sands also host some of the earliest mines in the world: Ancient Egyptian copper mines in the Timna Valley near Eilat in Israel.



“Miraculous” Střeleč sandstone: 1) result of an experiment: a stable “sandstone window” was spontaneously formed by immersing a horizontally incised sandstone slab into water (mf); 2) small arcades spontaneously formed by washing of a smooth, horizontally stratified rock face; 3) arcades formed on a lakeshore by repeated flooding by water; 4) a perfect rock arch produced by repeated flooding of a rock spur; 5) an arch in a bucket formed by immersion of a sandstone cube supported at two endpoints only; 6) an outwash fan in the “largest natural laboratory for sandstone studies” – the Střeleč Quarry (mf)



## Krajina z PÍSKU zrozená

**Českosaské Švýcarsko (Labské pískovce)** se řadí mezi území, jejichž geologická stavba je jednoznačně určována pískovci. Stejně jako mnoho jiných pískovcových oblastí střední Evropy vděčí za svůj vznik mělkému moři, které zalévalo oblast od Saska po jižní Moravu po dobu asi deseti milionů let v druhohorách, v období *svrchní křídy* (před cca 90 mil. let). Krátce nato se písek usazený v příbřežní zóně mořské pánve změnil na **pískovec** působením tlaku nadložních souvrství a stmelení křemenných zrn jinými minerály. Svým složením, mechanickou odolností, ale i nerovnoměrnou intenzitou rozpukání dnes křemenné pískovce výrazně ovlivňují tvářnost zemského povrchu.

*Pozorný návštěvník nalezne při výletech krajinou Českosaského Švýcarska nejenom pozůstatky po ukládání písku na původním mořském dně (zkamenělé čeříny, vodorovné laminy či šikmé zvrstvení) a otisky druhohorního života (fosilie a ichnofosilie), ale i roztodivné tvary povrchu, vzniklé postupnou erozí a zvětváním pískovce, od drobných voštin zdobících skalní stěny, přes skalní okna, hojné převisy až po monumentální pískovcové věže.*

V mnoha ohledech se Českosaské Švýcarsko podobá jiným regionům pískovcových skalních měst. Jeho výjimečnost ale spočívá ve velmi dynamickém vývoji reliéfu v mladších třetihorách a čtvrtohorách, především v rychlém zahloubení *labského kaňonu*. Pravobřežní přítoky Labe tak mnohdy překonávají převýšení několika set metrů. Výsledkem jsou stometrové skalní srázy, jaké jinde v evropských pískovcích nenajdeme. Ty lemují i samotný labský kaňon a na nesčetných vyhlídkových bodech nabízejí pozorovateli nezvyklou kombinaci pískovcového a říčního fenoménu. Význam pískovců podtrhuje jejich podíl na utváření krajinných dominant symbolizujících tuto krajinu, jako je *Pravčická brána* a *Jetřichovické stěny* na české, nebo stolová hora *Lilienstein* na saské straně. Ukázkově vyvinuté skalní město reprezentují *Tiské stěny*. Jádrová část Českosaského Švýcarska je chráněna jako **přeshraniční národní park**, jako malý kout divočiny v zalidněném srdci Evropy.



## Landscape born of SAND

**Bohemian-Saxonian Switzerland (Elbe Sandstones)** is among the territories whose geological setting is undoubtedly controlled by sandstone. Much like many other sandstone regions in central Europe, it owes its origin to a shallow sea which spread across the area between Saxony and southern Moravia for a period of about ten million years in the Mesozoic Era, in the *Late Cretaceous* (some 90 million years ago). Loading by the overlying formations and cementation of quartz grains by other minerals turned all sand deposited in the nearshore zone of the sea basin into **sandstone** shortly after its deposition. In their composition, mechanical resistance but also the irregular intensity of their fracturing, quartzose sandstones now have a profound effect on the shaping of land relief.

*During their trips to the land of Bohemian-Saxonian Switzerland, attentive visitors can find not only traces after sand deposition on an ancient sea bottom (petrified ripples, horizontal laminae or cross bedding) and imprints of Mesozoic life (fossils and ichnofossils) but also a variety of landforms generated by progressive erosion and sandstone weathering. These landforms range from tiny honeycomb decorations on cliff faces, across rock windows and numerous rock shelters, to monumental sandstone pillars.*

Bohemian-Saxonian Switzerland parallels other areas of sandstone rock cities in many aspects. What makes it unique, however, is the very dynamic relief evolution in the Late Tertiary and Quaternary, especially the very rapid incision of the *Elbe River canyon*. Right tributaries of the Elbe River must therefore traverse an elevation difference of several hundred metres. This creates cliff faces a hundred metres high, unparalleled elsewhere in European sandstones. Such cliffs line the Elbe River canyon itself, providing the visitor with an extraordinary combination of the sandstone phenomenon and river phenomenon at a number of viewpoints. The significance of sandstone is also underlined by its contribution to the origin of landmarks symbolizing this landscape, such as the *Pravčická brána Arch* and *Jetřichovické stěny Cliffs* on the Czech side or *Lilienstein table mountain* on the Saxonian side. *Tiské stěny Cliffs* are a perfect example of a rock city.

Core part of the Bohemian-Saxonian Switzerland is protected as a **transboundary national park**, as a small haven of wilderness in the crowded heart of Europe.



4



5



6



7



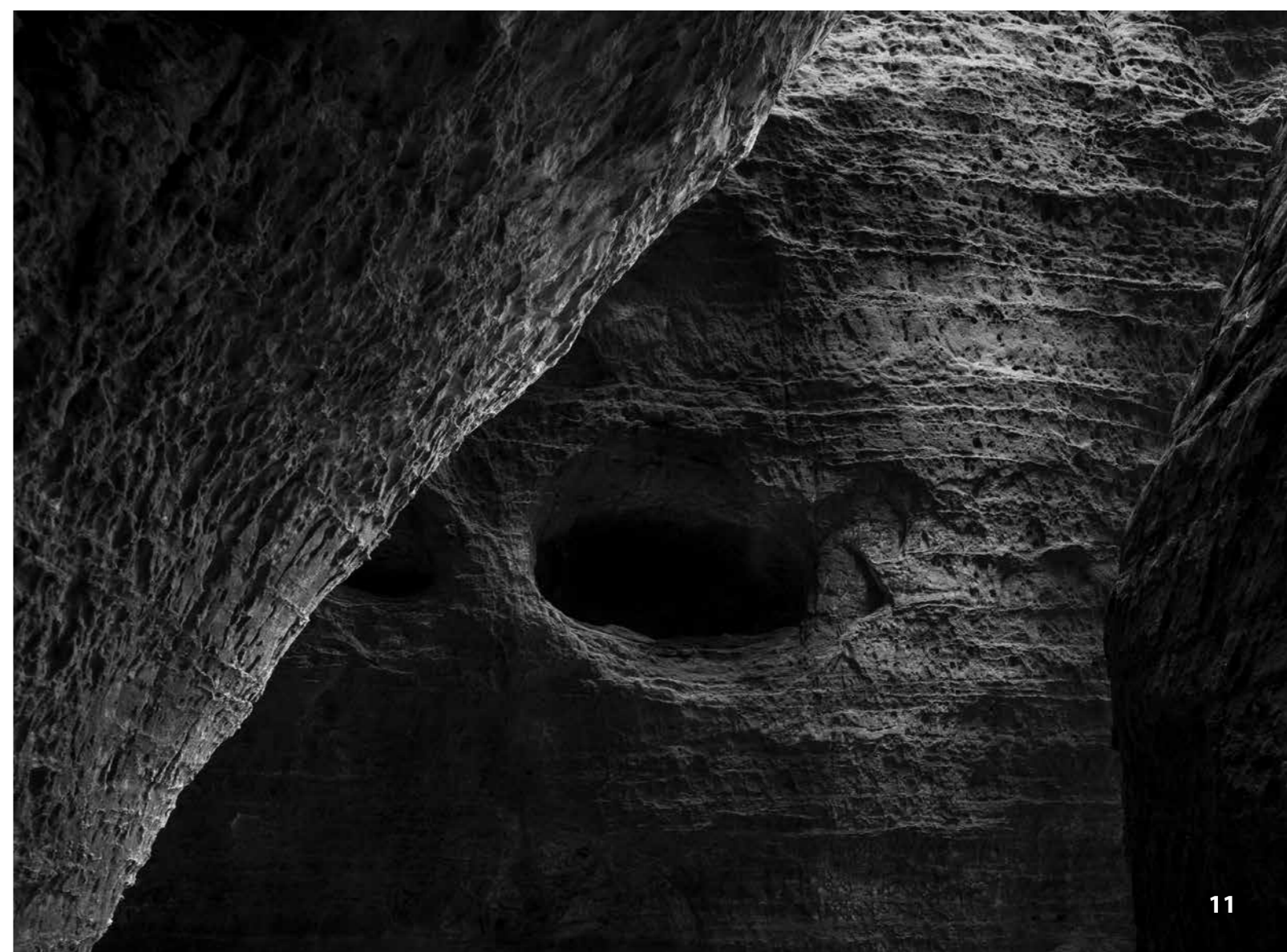
9



8



10



11

1) Pohled ze Stříbrných stěn na stolové hory v Sasku; 2) voštiny na Křídelních stěnách; 3) prozeleznění pískovce; 4) čeřiny v písku na dně potoka Jetřichovická Bělá; 5) detail zavěšení vrápence malého na pískovcové stěně; 6) plůdek lososa obecného; 7) schránky chrostíků v řece Kamenici; 8) zkamenělé čeřiny pod převisem; 9) larva mravkolva využívající důlky v písku k lovu mravenců; 10) Tetřeví stěny; 11) skalní dutina v Tiských stěnách (vs)

1) A view of Saxonian table mountains from Stříbrné stěny; 2) honeycomb pits at Křídelní stěny; 3) sandstone ferruginization; 4) sand ripples on the bottom of the Jetřichovická Bělá Stream; 5) lesser horseshoe bat hanging on a sandstone cliff; 6) a young individual of the Atlantic salmon; 7) caddisfly casings in the Kamenice River; 8) fossil ripples under a rock shelter; 9) an ant-lion larva using pits in sand to prey for ants; 10) Tetřeví stěny Cliffs; 11) a rock cavity in Tiské stěny Cliffs (vs)

Pravčická brána, symbol Národního parku České Švýcarsko (vs)  
Pravčická brána Arch – a symbol of the Bohemian Switzerland National Park (vs)





1

1) Vodní eroze modelující pískovcovou krajinu současnosti, Pavlínino údolí (vs), 2) šikmé zvrstvení na skalní stěně (zv), 3) malé skalní hodiny s výraznou vodorovnou vrstevnatostí pískovce, labský kaňon (vs); 4) mnoho podob pískovce v Českém Švýcarsku (zv)

1) Stream erosion shaping the present-day sandstone landscape, Pavlínino údolí Valley (vs), 2) cross bedding on a cliff face (zv), 3) a small hourglass rock showing prominent horizontal stratification of sandstone, Elbe River canyon (vs); 4) many aspects of sandstone in the Bohemian Switzerland (zv)



2



3



4

# PÍSKY ZNÁMÉ I NEZNÁMÉ

## aneb fascinující svět obyčejného písku

Doprovodná publikace k výstavě v Muzeu města Ústí nad Labem  
Accompanying text to the exposition in the Municipal Museum of Ústí nad Labem

únor – srpen 2020 / February – August 2020

Exponáty (vzorky písků, pískovců a paleontologické nálezy):

Exhibits (samples of sands, sandstones and paleontological finds):

Muzeum města Ústí nad Labem, Národní muzeum, Moravské zemské muzeum,  
Správa Národního parku České Švýcarsko, Přírodovědecká fakulta UK, soukromá  
sbírka Catalina Stefana a Radka Mikuláše

Municipal Museum of Ústí nad Labem, National Museum, Moravian Museum,  
Bohemian Switzerland National Park Administration, Faculty of Science of Charles University,  
private collection of Catalin Stefan and Radek Mikuláš

### **Autoři textů / Authors of text:**

Zuzana Vařilová, Karel Martinek, Petr Jan Juračka, Radek Mikuláš, Jiří Bruthans

### **Autoři fotografií / Authors of photographs:**

Petr Jan Juračka (pjj), Václav Sojka (vs), Catalin Stefan (cs), Jiří Bálek (jb), Zuzana Vařilová (zv),  
Radek Mikuláš (rm), Michal Filippi (mf), Petr Antoš (pa), Petr Berounský (pb), Jiří Preclík (jp),  
Pixabay

### **Autoři mikroskopických fotografií / Authors of photomicrographs:**

Šárka Danačíková, Marie Bulínová, Petr Jan Juračka

**Obrazová paleorekonstrukce / Paleoreconstruction:** Petr Modlitba

Jazyková korektura / Proofreading: Ivana Bublíková

Anglický překlad / English translation: Jiří Adamovič

Grafická úprava a sazba / Graphics and typesetting: Zuzana Vařilová

Náklad / Print run: 500 výtisků

Tisk / Printing: Tisk Horák, a. s. Ústí nad Labem

Vydalo / Published by:

Muzeum města Ústí nad Labem v roce 2020 / Municipal Museum of Ústí nad Labem in 2020

ISBN: 978-80-86475-50-9





Muzeum města Ústí nad Labem  
Municipal Museum of Ústí nad Labem

2020