

Vývoj krajiny zaznamenaný na povrchu zrn

Pohled do mikrosvěta otevírá zcela nečekané obzory. Obyčejné a známé objekty, jako například křemenná zrna, se pod elektronovým mikroskopem ukazují jako zcela nové světy. Jaké je však překvapení, když zjistíme, že i v tomto mikrosvětě platí obdobné principy jako v našem „makrosvětě“ a že jsme schopni najít mezi těmito dvěma světy odlišných měřítek vzájemné vztahy a paralely. V článku se dozvíte, jak pomocí textur vzniklých na povrchu křemenných zrn určit způsob, jakým se zrna pohybovala, zda byla unášena větrem, ledovcem či řekou atd. Ukážeme si, jak se dá analýza povrchu zrn využít při rekonstrukci vývoje krajiny včetně zkoumání přírodních katastrof.

Geomorfologie začínala jako věda studující reliéf Země. Po zahájení kosmického výzkumu pomocí sond ve druhé polovině 20. století se objekt zájmu geomorfologie rozšířil na veškerá terestrická tělesa, tedy tělesa, která mají pevný povrch. Dnes se geomorfologii opět otevírá další oblast působnosti. A opět za ní stojí technologický pokrok. Tentokrát novou oblastí, kterou geomorfologie dobývá, je mikrosvět a technologií, která to umožňuje, je elektronový mikroskop. I když byl tento přístroj vyvinut už ve 30. letech 20. století, v geovědách začal být postupně využíván až od 70. let minulého století. Mnohým přírodním vědám pomohl odpovědět na zásadní otázky těchto oborů a stal se

důležitou součástí jejich výzkumu.

Stejná cesta se nabízí i geomorfologii v podobě studia a ohodnocení povrchu zrn, která tvoří sedimenty různých akumulacích tvarů. Už na prvních snímcích povrchů zrn se ukázaly struktury a tvary, které měly svoji obdobu ve světě našich měřítek. Navíc při pohledu na zvětšené zrno by nebylo obtížné uvěřit tomu, že se jedná o nasnímaný povrch nějaké planety či planetky. Logickým se jeví srovnání: „Pokud ve světě našich měřítek vznikají některé tvary reliéfu působením konkrétních, jasně určitelných geomorfologických procesů (tj. dokážeme například odlišit, zda daný tvar vznikl působením horského ledovce, či tekoucí vody),

je možné i v mikrosvětě rovněž přiřadit daný tvar ke konkrétnímu přírodnímu procesu (a tedy určit genetického činitele, který stál za vznikem daného tvaru)?“ V případě kladné odpovědi na tuto otázku bychom získali další nástroj ke studování vývoje reliéfu a procesů, které v krajině působí. To by bylo cenné zejména v případech, kdy z reliktů reliéfu není možné určit genetický proces, který jej vytvořil. Řešení tohoto problému se stává aktuálním při sledování globálních změn souvisejících zejména se změnou klimatu nebo při studiu přírodních rizik.

V následujícím textu se pokusíme na výše položenou otázku odpovědět, tj. pokusíme se definovat základní principy a možnosti ohodnocení mikromorfologie křemenných zrn a na konkrétním případě porovnání dvou geneticky odlišných zrn ukázat rozdíly základních mikrotextr.

Vybrané mikrotextrury a jejich základní charakteristiky

Mikrotextrura	Anglický název	Charakteristika
Mikrotextrury mechanického původu		
stupně	steps	Stupňovité tvary mohou být rovné i zakřivené (tzv. obloukové). Zpravidla tvoří hranice mezi lomovými plochami. Stupně mohou být uspořádány v soustavách a tvořit tzv. lasturnatý lom. Vznikají především při rozpadu sedimentární částice vlivem nárazu.
puklinové plochy	fracture faces	Velké, hladké, občas lehce zakřivené plochy. Mohou je překrývat jiné mikrotextrury. Vznikají převážně při mechanickém zvětrávání a při pohybech hmot na svazích.
přilnavé částice	adhering particles	Malé ploché křemenné částice přichycené k povrchu zrna elektromagnetickou silou. Typické pro gravitační a svahové prostředí.
tvary vzniklé drčením	grinding features	Kruhové hluboké stopy s koncentrickými tvary vzniklé drčením.
brázdy	grooves	Jsou způsobené rytím. Běžně jsou spojovány s činností ledovců, vznikají však i při gravitačních procesech.
jamky	pits	Impaktní tvary vzniklé nárazem menších částic na povrch zrna. Mohou mít tvar mísovitý, srpkovitý, nebo do V. Vznikají ve všech typech prostředí za vyšší kinetické energie, avšak pro každý typ prostředí je typický jiný poměr složení druhů jamek.
mikrobloky	microblocks	Rozvolněné částice rozpadajícího se zrna, které drží stále pohromadě. Vznikají při mrazovém zvětrávání.
Mikrotextrury chemického původu		
tečkování	pitting	Shluky velmi malých jamek. Iniciální jamky jsou malé a postupně se zvětšují a splývají. Vzniká rozpouštěním křemene, ke kterému dochází krátce po vytvoření puklinové plochy, jež se dostane do kontaktu s vodou.
křemičité sraženiny	silica precipitation	Vysrážené křemičitany se vyskytují ve formě skrvky nebo globulí. Překrýváním mohou vytvořit křemičitý povlak, který může zakrýt mikrotextrury vzniklé dříve. Vznikají ve vlhkém prostředí s nižší rychlostí transportu.
nárůsty křemenných krystalů	quartz crystal overgrowths	Původně malé orientované výčnělky se spojují ve zřetelné facety, až nakonec obrostou celé zrno a vzniká křemenný krystal. Formují se ve vlhkém prostředí.

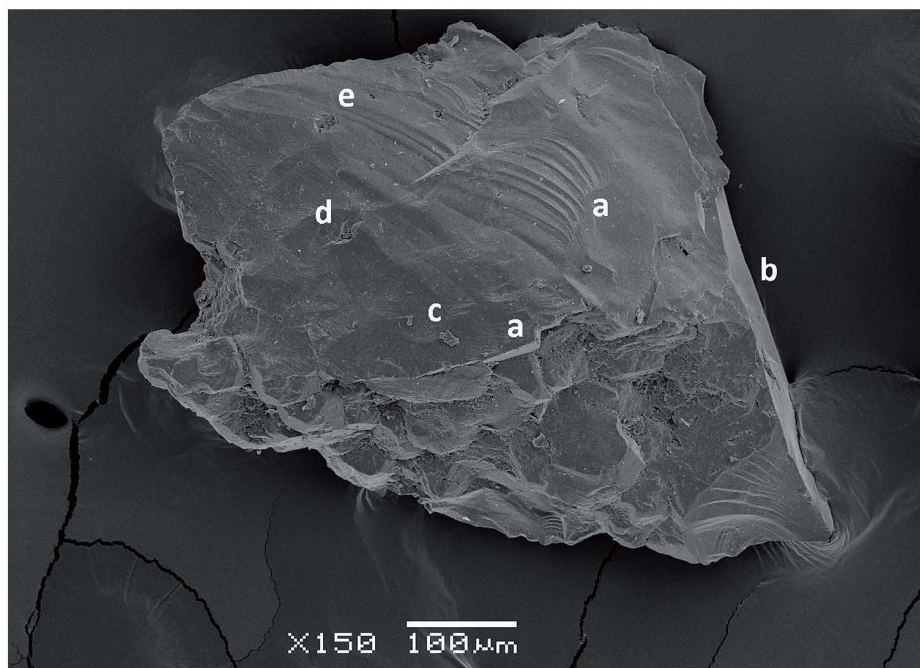
Mikromorfologické znaky zrn

Pro potřeby exoskopie (tj. pro ohodnocení mikromorfologie) jsou převážně vybírána křemenná zrna, protože křemen je dostatečně tvrdý na to, aby se na jeho povrchu zachovala většina tvarů, a zároveň je velmi rozšířený (Mahaney, 2002), takže se tato metoda dá použít téměř kdekoli na světě. Chybou by bylo porovnávat mezi sebou zrna různě odolná, např. křemen s kalcitem, jelikož jejich rozdílná tvrdost (tvrdost křemene je 7, pro kalcit je 3) způsobuje, že na kalcitu vznikají různé tvary snadněji a rychleji. Stejně tak srovnání tvarů na těchto minerálech brání jejich odlišné chemické složení (křemen – SiO_2 , kalcit – CaCO_3), a tedy i rozdílná kvalita a intenzita chemických procesů, které působí na povrch zrn. Zrna jsou hodnocena podle stupně zaoblení, výšky reliéfu a následně podle tvarů vyskytujících se na zrně, tzv. mikrotextr (tabulka). Tyto mikrotextrury vznikají buď mechanickým působením okolí, anebo chemickou cestou – rozpouštěním, srážením a krystalizací. Mechanické mikrotextrury vznikají na zrnech nejčastěji při transportu (Le Ribault, 2003), kdy dochází k nárazům, tření či drcení zrn o podloží a o sebe navzájem. Kromě toho další mechanické mikrotextrury vznikají i pukáním v důsledku účinku mrazu (Mahaney a kol., 1988). Obecně platí, že skupina mikrotextrur vznikajících mechanickým způsobem je podstatně rozmanitější než skupina chemických mikrotextrur.

V ZORNÉM POLI GEOGRAFŮ

Proměnlivost mikrotextr v závislosti na prostředí

Přírodní prostředí krajiny je velmi proměnlivé. Obecně je tato variabilita dána dvěma základními faktory: zonálností a výškovou stupňovitostí. Výsledná různorodost krajiny a jejích částí je však odrazem i dalších specifických podmínek, například podloží, expozici, členitosti reliéfu, lokálním větrným prouděním atd. Soubor všech těchto specifických podmínek pak prostřednictvím zpětných vazeb ovlivňuje živou (biotickou) a neživou (abiotickou) složku krajiny. Lze říci, že v odpovídajících si typech krajiny probíhá do jisté míry obdobný způsob a intenzita zvětrávání. Je zřejmé, že podobnost zvětrávacích procesů, ale i způsobu transportu sedimentů narůstá se zvětšující se shodou mezi podmínkami, které ve srovnávaných krajinách působí. V některých krajinách převládá transport materiálu prostřednictvím tekoucí vody, jinde je hlavním unášecím médiem vítr či ledovec nebo se pohyb sedimentů uskutečňuje prostřednictvím svahových procesů či v důsledku příboje nebo dokonce i tsunami atd. Každé unášecí médium se vyznačuje vlastní specifickou mechanikou transportu, která zanechává na pohyblivých se znech sedimentů charakteristický systém znaků – mikrotextr (Mahaney, 2002). Z charakteru vzniklých mikrotextr, ať už mechanických, nebo chemických, je možné zpětně vyčíst nejen to, jakým způsobem vznikly, ale také jaká byla intenzita procesů, které je vytvořily (Le Ribault, 2003). Jinými slovy lze prostřednictvím analýzy povrchu zrna určit genezi sedimentů, a tedy i tvarů reliéfu, které tyto sedimenty vytvářejí (Křížová a kol., 2011). Avšak velmi často se stává, že dané zrna prodělá celou sérii různých druhů transportu, například může být nejdříve unášeno ledovcem, pak je transportováno tekoucí vodou a nakonec před konečnou sedimentací je unášeno větrem. Každý způsob transportu zpravidla zanechá na zrna nějaké stopy, a tak je možné zjistit jednotlivé epizody transportu, kterými zrna prošla, přičemž nejzřetelnější



Obr. 2: Zrna ze střední morény Aletschského ledovce (Alpy). Na povrchu zrna jsou dobře pozorovatelné zejména výrazné stupně (a), puklinové plochy (b), přilnavé částice (c) a tvary vzniklé drčením (d). Na snímku je dobře patrná jamka vzniklá rozpouštěním křemene (e). Při dostatečném zvětšení snímku jsou patrné rovněž křemenné sraženiny, malé mikrobloky a velmi drobné brázdy.

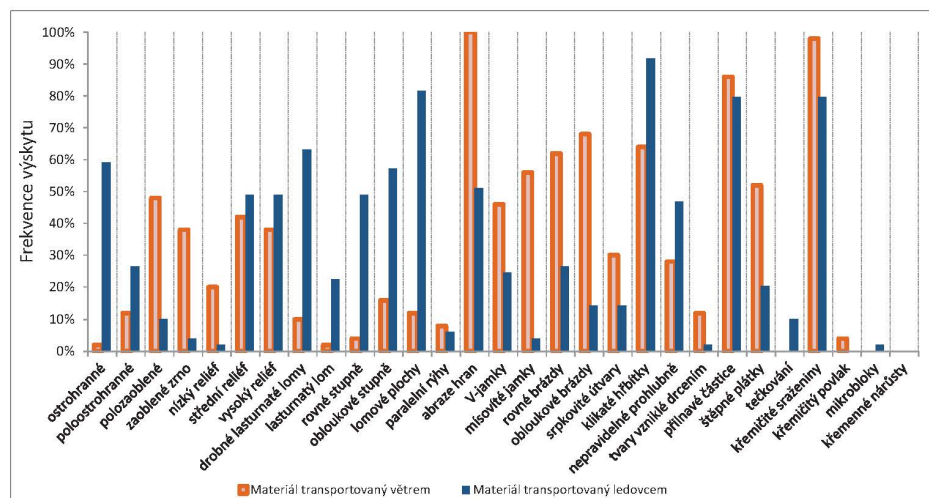
tvary na jeho povrchu jsou většinou ty, které vznikly jako poslední (Aleksieva, 2005). Změna způsobu transportu zrna může být způsobena nejen tím, že zrna je daným médiem přeneseno z jednoho typu prostředí do druhého, ale i samotnou proměnou prostředí v dané lokalitě.

V průběhu kvartéru došlo mnohokrát k výrazným změnám klimatu (Křížek, 2004), a tedy i prostředí. Tyto změny měly za následek, že na kvartérní sedimenty působila proměnlivost prostředí v čase. Například v současné době na našem území nedochází k významnější eolické činnosti, tj. současné vegetace a spolu s ní i malá síla větrů zabráňují přesunu sedimentů, přesto u nás nalezneme eolické sedimenty (tj. sedimenty, které byly transportovány větrem), které dokonce vytvořily duny. Tyto eolické

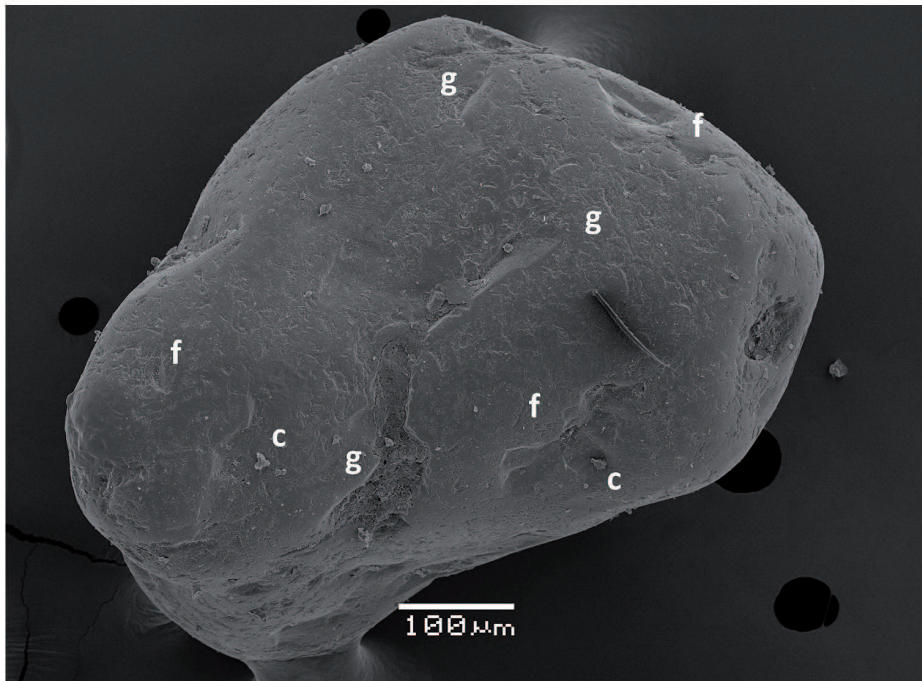
sedimenty, a tedy i duny pocházejí z chladných epoch pleistocénu (tzv. dob ledových) (Czudek, 2005), kdy vegetace byla velice sporná a role větru jako transportního média byla na rozdíl od současných podmínek velmi významná. Stejně tak se v současné době na našem území nenacházejí ledovce, přesto nalezneme na našem území nejen tvary reliéfu, ale i sedimenty horského i pevninského zalednění (Engel, 2004). Proto můžeme mikrotextru na zrnech v určitých případech považovat rovněž za doklad vývoje klimatu a lze je i z tohoto hlediska použít pro potřeby relativního datování sedimentů.

Co předchází exoskopické analýze – odběr a příprava vzorku

Především kapitola ukazuje, co všechno lze z povrchu křemenných zrn vyčíst, jakými změnami prostředí může zrna projít, ale abychom mohli skutečnou historii zrna odhalit, je třeba sedimenty správně odebrat a připravit pro exoskopickou analýzu. Velikou pozornost je třeba věnovat zejména místu odběru, které má být vybráno tak, aby se minimalizovalo riziko kontaminace vzorků sedimenty jiné geneze. Proto je třeba se seznámit s celkovou geomorfologickou situací a vývojem reliéfu v širším okolí odběrových míst. Například sedimenty morén je nutné odebírat v těch místech, kde nehrozí, že by se mohly smíchat se svahovinami, anebo kde nebyly přeplaveny vodou. Samotný odběr sedimentů probíhá podle standardního postupu, kdy se odebírá jemnozrnná složka tak, aby z ní mohla být vybrána zrnitostní frakce v rozsahu 0,250 až 0,500 mm. Zrna této velikosti mají na svém povrchu vyvinuty ve vyváženém poměru jak mechanické



Obr. 1: Srovnání výskytu mikrotextr na křemenných zrnech transportovaných větrem (eolické sedimenty odebrané na Ostrém vrchu, Osoblažsko) a ledovcem (glaciální sedimenty morény Aletschského ledovce, Alpy).



Obr. 3: Křemenné zrnó ze spraší u Ostré hory na Osoblašsku. Nejvýraznějšími mikrotextrami na povrchu tohoto zrna jsou jamky (f) a brázdy (g) různých forem a velikostí. Na zrně se vyskytují také dobře viditelné přilnavé částice (c).

ké, tak chemické mikrotextrury (Cremer & Legigan, 1989), proto jsou pro exoskopii nejvhodnější. Jinak u menších zrn zpravidla převládají chemické mikrotextrury a u větší frakce převládají mechanické mikrotextrury. Poté se vzorek vysuší a vyvaří v koncentrované kyselině chlorovodíkové (HCl), aby se z povrchu zrn odstranily karbonáty. Z takto očištěného vzorku se po jeho vysušení vybere pod binokulárním mikroskopem 25–50 křemenných zrn, která se následně nalepí na uhlíkovou pásku připevněnou na nosiči. Pak se vzorek pokoví a tím je připraven na snímání pod skenovacím elektronovým mikroskopem.

Hodnocení vzorků

Hodnocení mikromorfologie vzorku je založeno na schopnosti najít a rozlišit cca 29 základních mikrotextrur (Mahaney, 2002; Křížová a kol., 2011), které se mohou vyskytovat na povrchu křemenných zrn. Na zrnech daného vzorku se zjišťuje, zda se na nich daná mikrotextrura vyskytuje, či nikoliv. Tyto informace se za všechna zrna daného vzorku vynesou do grafu, který ukazuje zastoupení všech mikrotextrur na zkoumaných zrnech (obr. 1). Rozhodně se nedá říci, že četnější výskyt některého tvaru na zrnech daného vzorku znamená větší významnost tohoto znaku pro odlišení vzorku. Je tomu spíše na-

opak a pro odlišení dvou vzorků hrají primární roli mikrotextrury méně časté.

Jako ukázkou mikromorfologického (exoskopického) hodnocení uvedme srovnání dvou zrn pocházejících ze dvou naprosto odlišných prostředí, z glaciálního a eolického. První hodnocené křemenné zrnó (obr. 2) pochází ze střední morény Aletchského ledovce v Alpách. Toto zrnó je ostrohranné, se střední výškou reliéfu. Druhé křemenné zrnó (obr. 3) pochází ze spraší nacházejících se na Ostré hoře na Osoblašsku. Bylo transportováno větrem a jeho povrch je zaoblený a reliéf nízký.

Glaciální zrnó neurazilo zdaleka takovou vzdálenost jako zrnó eolické, proto jeho hrany nejsou tolik zaoblené. Toto zrnó také podléhalo mnohem většímu tlaku okolního materiálu, protože se pohybovalo uvnitř ledovce, kde na něj intenzivně působila hmota ledu a ostatních sedimentárních částic. V důsledku toho jsou mikrotextrury na jeho povrchu mnohem výraznější a hlubší a zrnó bylo vystaveno větší destrukci než zrnó přenášené větrem.

Závěr

Mikromorfologická analýza povrchu křemenných zrn je novou metodou geomorfologického výzkumu, která dokáže stanovit způsob a intenzitu transportu sedimentů a zhodnotit vývoj prostředí, ve kterém se sedimenty nacházely. To umožňuje použít výsledky exoskopické analýzy pro stanovení původu akumulárních tvarů a rekonstrukci vývoje reliéfu a krajiny vůbec. Nakládání mikrotextrur na sebe navíc umožňuje sestavit pořadí působení jednotlivých procesů a využít tuto metodu pro relativní datování.

Marek Křížek, Lenka Křížová,
PřF UK v Praze
krizek@natur.cuni.cz

Landscape Change as Recorded on Surface Grains. This article describes the use of micromorphology of quartz grains (exoscopy) to study landscape development. It presents the basic principles of exoscopy including a discussion of methodology. The article describes basic microtextures of quartz grains and their formation. Differences in microtexture proportion are described by evaluating examples of glacial and eolian grains.

APLIKACE DO VÝUKY:

1. Ověřte, zda principy exoskopie jsou univerzální a nezávislé na měřítku. Ve svém okolí najděte potok a porovnejte tvar valounů na horním, středním a dolním toku. Odeberte písčnatá zrna v horní, střední a dolní části nějakého potoka a zhodnoťte jejich zaoblenost pod lupou či optickým mikroskopem.
2. V aplikaci Google Earth se podívejte na reliéf norského pobřeží (modelace ledovcem), ergů na Saará (modelace větrem), Grand Canyonu (modelace tekoucí vodou) a Crater Lake (vznik dopadem mimozemského tělesa). Zhodnoťte, jak se reliéf těchto oblastí s odlišnou genezí liší. Lze hledat souvislost mezi hlavním modelačním činitelem a typem reliéfu?

LITERATURA A ZDROJE DAT:

- ALEKSEEVA, V. S. (2005): Micromorphology of Quartz Grains Surface as Indicator of Glacial Sedimentation Conditions: Evidence from the Protva River Basin. *Lithology and Mineral Resources*, 40, č. 5, s. 420–428.
- CREMER, M., LEGIGAN, P. (1989): Morphology and surface texture of quartz grains from ODP site 654, Baffin Bay. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 105, s. 21–28.
- CZUDEK, T. (2005): Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. *Moravské zemské muzeum*, 238 s.
- ENGEL, Z. (2004): Pleistocenní ledovce na území Česka. *Geografické rozhledy*, 14, 2, s. 33.
- KŘÍŽEK, M. (2004): Pohyby Země a klima. *Geografické rozhledy*, 14, 2, s. 30–31.
- KŘÍŽOVÁ, L., KŘÍŽEK, M., LISÁ, L. (2011): Význam povrchové analýzy křemenných zrn pro studium geneze nepevných sedimentů. *Geografie*, 116, 1, s. 59–78.
- MAHANAY, W. C. (2002): Atlas of sand grain surface textures and application. Oxford University Press, New York, 237 s.
- MAHANAY, W. C., VORTISH, W., JULIG, P. (1988): Relative differences between glacially crushed quartz transported by mountain and continental ice – some examples from North America and East Africa. *American Journal of Science*, 288, s. 810–826.
- LE RIBAUT, L. (2003): LLR et le G5: Exoscopie – Définition scientifique. http://www.leribault.com/exo_definitionscientifique.php, cit. 2007-07-23.