

LENKA KRÍŽOVÁ, MAREK KRÍŽEK, LENKA LISÁ

VÝZNAM POVRCHOVÉ ANALÝZY KŘEMENNÝCH ZRN PRO STUDIUM GENEZE NEZPEVNĚNÝCH SEDIMENTŮ

KRÍŽOVÁ, L., KRÍŽEK, M., LISÁ, L. (2011): Applicability of quartz grains surface analysis to the study of the genesis of unlithified sediments. *Geografie*, 116, No. 1, pp. 59–78. – This paper deals with genetic types of unlithified sediments and their characteristics with an emphasis on quartz grain surface microrelief. There are various physical-geographic agents in different sedimentary environments which play an important role in the origin of certain marks on the surface of sedimentary grains. As a result, studying the features of quartz grain surfaces enables us to determine the possible origin of sediments and landforms. Reference samples were chosen from geomorphological landforms of known origin: a moraine in the Labský Důl Valley, a debris flow in the Důl Bílého Labe Valley, a flood accumulation and deluvium from the Důl Bílého Labe Valley in the Krkonoše Mountains and eolian sediment from Klárov in Prague. Significant differences in surface micromorphology were found among these samples.

KEY WORDS: exoscopy – accumulation landforms – weathering – sediments.

Práce vznikla za podpory projektů GAAV KJB301110804 „Recentní aktivita strukturních půd ve vybraných oblastech střední Evropy“ a výzkumného záměru MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

1. Úvod

Nezpevněné sedimenty jsou tvořeny přemístěným a usazeným materiálem, který vznikl rozpadem hornin. Prostor mezi jednotlivými zrny není vyplněn tmelem, na rozdíl od zpevněných sedimentů (Kukal 1986). Nezpevněné sedimenty lze rozlišit podle genetického typu, tedy jejich původu a podmínek vzniku. Základní genetické skupiny kvartérních sedimentů vyskytujících se na území Česka jsou: fluviální, ledovcové, eolické, svahové, jezerní a jeskynní (Růžičková a kol. 2003). Smyslem jejich zkoumání je poznání vývoje a změn fyzikogeografických podmínek v čase. Jedním z hlavních úkolů geomorfologie je určení geneze reliéfu, což lze v některých případech odvodit ze znalosti charakteristik materiálu, který je tvoří. Jednou z metod, která umožňuje odpovědět na otázky geneze sedimentů a tedy i tvarů jimi tvořených, je exoskopie neboli studium povrchových textur na křemenných zrnech (Margolis, Krinsley 1971; Fitzpatrick, Summerson 1971; Halley, Krinsley 1974; Le Ribault 1975; Cremer, Legigan 1989; Mahaney 2002). Tato metoda má potenciál, aby byla v budoucnosti více používána v geomorfologickém výzkumu. Jedním z cílů článku je představit tuto metodu, její možnosti a zejména etablovat českou terminologii, která do dnešní doby buď neexistuje anebo není díky dílčím studiím ujednocena. Dalším cílem je na vzorových příkladech (morény z údolí Labe; mury, povodňových sedimentů a deluvia z údolí Bílého Labe a eolického

sedimentu z pražského Klárova) demonstrovat, do jaké míry lze exoskopickou metodou odlišit sedimenty různé geneze.

2. Povrch klastických zrn

Metodu exoskopické analýzy uvedl v roce 1935 André Cailleux pod názvem morfoskopie písku. Princip metody spočívá ve studiu křemenných zrn, která během transportu prodělala signifikantní změny na svém povrchu. Typ fluida, rychlost a délka transportu určuje množství vzniklých texturních prvků a zároveň interpretovatelnost procesů, jimiž křemenná zrna během transportu prošla (Le Ribault 2003a). Povrch křemenných zrn je pozorován pod binokulárním a následně elektronovým mikroskopem při vícenásobném zvětšení. Ideální velikostní frakce zrn pro tuto analýzu je 300 až 500 μm , protože na zrnech této velikosti se nejlépe projevují mechanické i chemické vlivy (Le Ribault 1975; Censier, Tourenq 1986; Cremer, Legigan 1989), jejichž procentuální zastoupení u jemnozrnných sedimentů není zcela jasné (Lisá 2004).

Na povrchu zrn se setkáváme se znaky mechanického nebo chemického původu. Lze rozlišit stupeň lesklosti (lesklý až matný) a skulpturní znaky (rýhování, poškrábání, nárazová deprese, vtisky aj.). Matný povrch křemenných zrn písčité frakce bývá většinou spojován s eolickými pochody, lesklý vzniká nejčastěji dlouhým transportem ve vodním prostředí řek, nebo vývojem v mořském prostředí. V pouštních podmínkách je lesklý povrch vysvětlován tenkým povlakem pouštního laku chemogenního původu (Petránek 1963, Le Ribault 2003b).

3. Mikrotextury podle geneze

Geneze sedimentů určovaná metodou exoskopie odvisí od výskytu charakteristických mikrotextur (viz tab. 1, obr. 1–5) či jejich souborů na povrchu zrn (sensu Le Ribault 1975). Jedná se o takové mikrotextury, které vznikly při zvětvávání, transportu a sedimentaci materiálu a jejichž procentuální zastoupení většinou nepřevyšuje 60 % (Mahaney, Stewart, Kalm 2001). V rámci jednoho prostředí mohou být křemenná zrna ovlivněna několika geneticky odlišnými procesy (Alkaseeva 2005), avšak nejzřetelnější tvary na křemenných zrnech jsou většinou takové, které vznikly během posledního transportu. Kromě procesu který se podílel na posledním typu transportu dokáže exoskopie odhalit na jediném zrně až 8 epizod vývoje (Le Ribault 1975).

Vztahy mezi eluviálními, fluviálními a eolickými prvky se mění se změnami klimatických podmínek. Vliv procesů na mikrorelief zrna závisí také na trvání transportu a energii transportního média. Intenzita chemické transformace povrchů křemenných zrn je závislá na době působení chemických procesů, klimatu, textuře sedimentů, velikosti zrn minerálů a na pozici v půdním profilu a v reliéfu (Alkaseeva 2005). Při zkoumání vzorků je třeba mít na zřeteli, že zrna různých genetických typů mohla být během svého transportu smíchána (Mahaney, Kalm 2000).

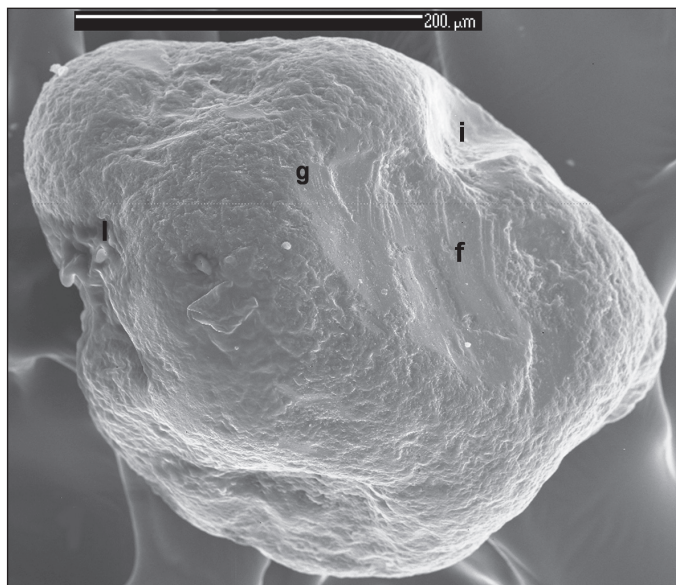
Tab. 1 – Základní mikrotextury křemenných zrn

Mikrotextura	Anglický název	Charakteristika	Podmínky vzniku	Literatura	Obr.
Mikrotextury mechanického původu:					
a	Lasturnatý lom <i>conchoidal fracture</i>	Jemné zakřivené lomové plochy s žebrováním vzhledem.	Vznikají při odlamování od horniny vlivem nárazu. Odpovídají zvláště glaciálním a periglaciálním podmínkám.	1, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 17, 19, 20, 21	2, 5
	Lineární subparalelní lomy <i>subparallel linear fractures</i>	Paralelně seskupené stupně s výraznější morfologií než mají lasturnaté lomy.		2, 4, 6, 12, 14, 17, 19	
b	Rovné stupně <i>straight steps</i>	Podobné lasturnatým lomům, ale strmější, s větší hloubkou a rozestupy. Zpravidla tvoří hranice mezi lomovými plochami.		2, 6, 12, 14, 15, 17, 21, 22	4
c	Obloukové stupně <i>arc-steps, arcuate steps</i>			2, 6, 12, 14, 17, 18, 20, 21, 22	4, 5
	Paprscité lomy <i>radial fractures</i>	Lineární lomy vyběhající ze středu místa, kde došlo k nárazu. S rostoucí silou nárazu se poloměr středu zmenšuje.	Vzniká při nárazu horniny, zvláště v glaciálním a periglaciálním prostředí.	13	
d	Puklinové plochy <i>fracture faces</i>	Velké, hladké a čisté plochy přes 25 % povrchu zrna. Mohou být lehce zakřivené, občas se na nich vyskytují lasturnaté lomy.	Vznikají převážně při mechanickém zvětrávání a v glaciálních podmínkách.	8, 13	2
	Abraze hran <i>edge abrasion</i>	Obroušení hran vlivem transportu. Čím delší transport, tím rozsáhlejší abraze.	Nejvýraznější u eolického a sva-hového materiálu.		
e	Klíkaté hřbítky <i>meandering ridges</i>	Jsou tvořeny křemičitými sraženinami, které kopírují poruchy nebo lomy na povrchu zrna.	Vznikají v periglaciálních a fluvialních podmínkách za nízké kinetické energie.	13	3
f	Paralelní rýhy <i>parallel striations</i>	Paralelně vedoucí brázdy v povrchu zrn.	Typické pro glaciální prostředí.	3, 5, 6, 13, 14, 15, 16	1

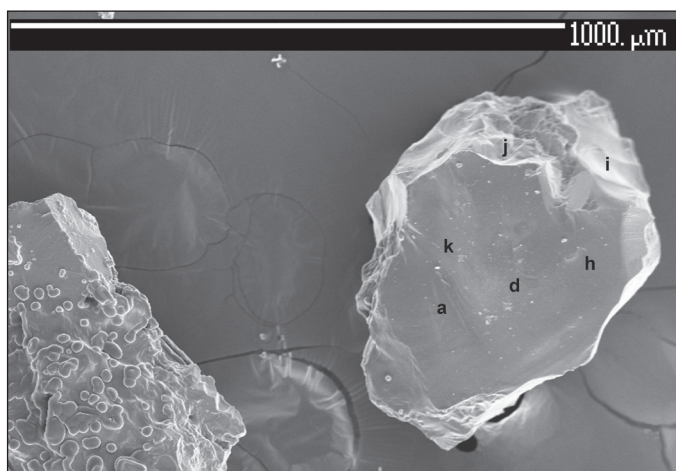
Mikrotextura	Anglický název	Charakteristika	Podmínky vzniku	Literatura	Obr.
g V-jamky	<i>V-shaped pits</i>	Drobný impaktní tvar s bočním profilem ve tvaru V.	Glaciální a eolické prostředí o nízké kinetické energii, fluviaální prostředí o průměrné kinetické energii.	2, 3, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16	1
Mísovitě jamky	<i>dish-shaped breakage concavities</i>	Deprese mísovitého tvaru, které dosahují oproti jiným impaktům větších velikostí.	Glaciální, fluviaální a eolické prostředí o vysoké kinetické energii.	2, 4, 5, 8, 9, 11	
h Srpkovité tvary	<i>crenate-shaped features</i>	Srpkovité tvary vznikající narázem čepelovitých částic na povrch zrn.	Glaciální a eolický transport o průměrné kinetické energii, fluviaální transport o vysoké kinetické energii.	4, 5, 9, 12, 13, 14, 19	2
i Rovné brázdy	<i>straight grooves</i>	Abradované mikroprvky způsobené rytím. Rovné brázdy odpovídají často větší síle a menšímu napětí.	Běžně spojovány s činností ledovců, vznikají však i při gravitačních pochodech.	2, 3, 8, 10, 12, 13, 16	1, 2
j Obloukové brázdy	<i>curved grooves</i>			2, 8, 13, 19, 21	2
Tvary vzniklé drcením	<i>grinding features</i>	Kruhové, hluboké stopy s koncentrickými tvary. Mohou být napojeny na brázdy menších rozměrů.	Glaciální prostředí a gravitační pochody.	5, 8, 11	
Štěpné plátky	<i>cleavage plates, upturned plates</i>	Tenké plátky vystupující z povrchu křemenných zrn. Nejsnáze jsou pozorovatelné na hranách zrn.	Vzniká při odlamování od horniny, výskyt je spojován hlavně s glaciálními podmínkami.	8, 10, 13, 15, 21, 22	
l Přilnavé částice	<i>adhering particles</i>	Malé, ploché křemenné částice přichycené k povrchu zrna elektromagnetickou silou. Po uložení zrna se na nich usazují křemíčitě sraženiny.	Glaciální prostředí, gravitační pochody. Na zaoblených zrnech se nevyskytují.	1, 2, 4, 8, 9, 13, 15, 16, 18, 20, 21	2, 4

Mikrotextura	Anglický název	Charakteristika	Podmínky vzniku	Literatura	Obr.
Mikrotextury chemického původu:					
Tečkování	<i>pitting</i>	Shluky velmi malých jamek, které jsou spolehlivěji pozorovatelné při vyšším rozlišení snímků. Inicialní jamky jsou malé a postupně se zvětšují a splývají.	Může být způsobeno omezenou expozicí zrn vůči tající vodě ledovců mírného pásu. Významnou roli hraje pH prostředí, rozpuštěnost křemene rychle narůstá při $\text{pH} > 9,0$.	1, 4, 6, 8, 11, 13	
Orientované vy-leptané jamky	<i>oriented etched pits</i>	Jamky triangulárního tvaru se stejným usměrněním, mohou se velikostně lišit.		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 22	
Křemičité globule	<i>silica globules</i>	Vysrážené křemičitany pokrývající povrch zrna mají formu skrývky nebo globulí. Když se tyto textury spojí nebo překryjí, utvoří se tenký až silný křemičitý povlak, který může zakrýt tvary vzniklé v předchozích prostředích. Ve vodním prostředí o vysoké kinetické energii může být obroušen a zakřivené tvary se mohou opět objevit. Souhrně jsou tyto tvary označovány jako <i>křemičité sraženiny</i> .	Vznikají ve vlhkém prostředí s nižší rychlostí transportu a vyskytují se na starších glaciálních uloženinách.	2, 3, 4, 5, 9, 20	
l	<i>silica capping</i>			2, 7	1, 3
m	<i>silica pellicle</i>			2, 4, 5, 8, 9, 13, 20, 21	3
Nárůsty křemenných krystalů	<i>quartz crystal overgrowths</i>	Mají 3 stadia vývoje: 1. vytvoří se malé orientované výčnělky, 2. ty se spojí a vzniknou zřetelné facety, 3. růst končí obrostlým zrnem se vzhledem křemenného krystalu.	Vznikají ve fluviálních podmínkách s nízkou rychlostí proudění.	5, 6, 8, 18, 22	
Textury vzniklé tlakovým roz-pouštěním	<i>pressure-solution features</i>	Velmi hluboké, polokruhové deprese s oblými výčnělky.	Glaciální prostředí.	5, 20, 22	

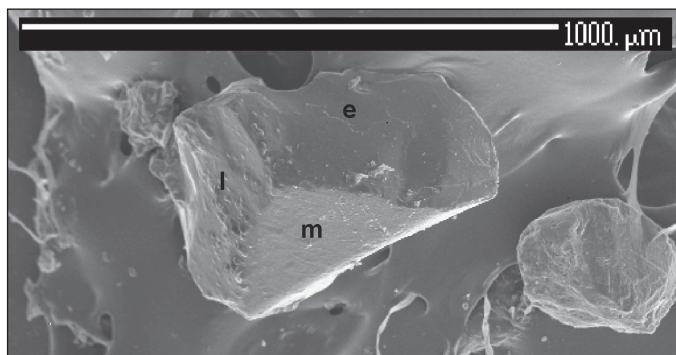
Citované zdroje: 1 – Alkaseeva 2005; 2 – Cater 1984; 3 – Censier, Tourenq 1986; 4 – Clochiatti, Le Ribault, Rodrigo 1978; 5 – Cremer, Legigan 1989; 6 – Fitzpatrick, Summerson 1971; 7 – Hellad, Juany, Diffendal 1997; 8 – Krinsley, Doornkamp 1973; 9 – Le Ribault 1975; 10 – Lindé, Mycielska, Dowgiało 1980; 11 – Lisa 2004; 12 – Mahaney 1995; 13 – Mahaney 2002; 14 – Mahaney, Andres 1991; 15 – Mahaney, Kalm 2000; 16 – Mahaney, Stewart, Kalm 2001; 17 – Mahaney, Vortisch, Julig 1988; 18 – Mellor 1986; 19 – Strand, Passchier, Näsi 2003; 20 – Whalley 1982; 21 – Halley, Krinsley 1974; 22 – Wilson 1978.



Obr. 1 – Nejčastější tvary vyskytující se na povrchu zrna:
f – paralelní rýhy,
g – V-jamky, i – rovné
brázdy, l – křemičité
skrvčky. Vzorek
eolického sedimentu;
Praha-Klárov.

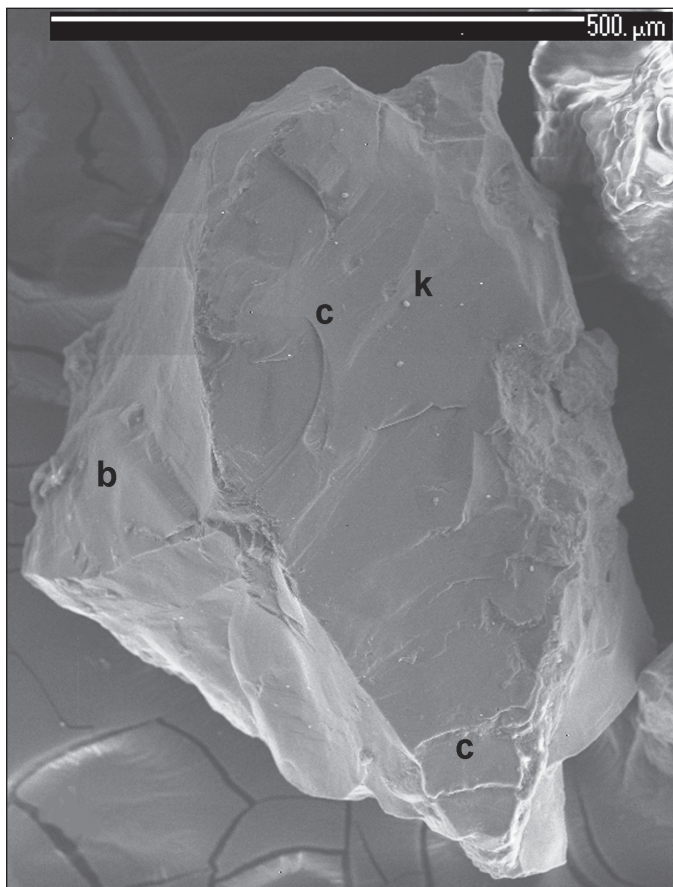


Obr. 2 – Nejčastější tvary vyskytující se na povrchu zrna:
a – lasturnatý lom,
d – puklinové plochy,
h – srpkovité tvary,
i – rovné brázdy,
j – obloukové brázdy,
k – přilnavé částice.
Vzorek sedimentu
mury; údolí Bílého
Labe, Krkonoše.

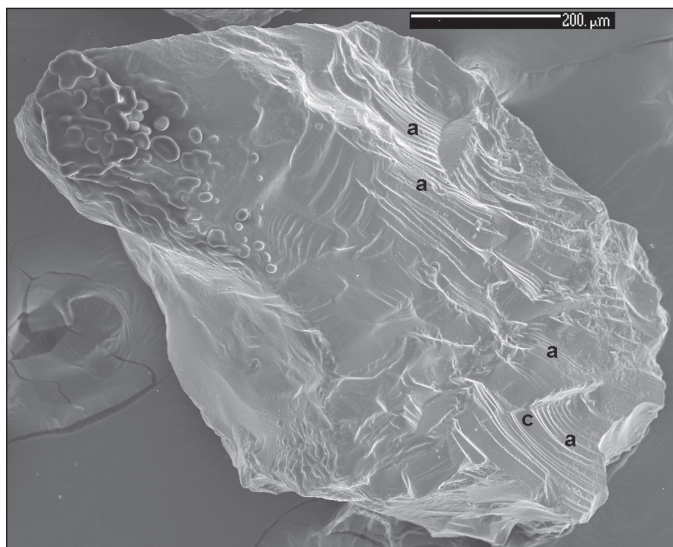


Obr. 3 – Nejčastější tvary vyskytující se na povrchu zrna:
e – klikaté hřbítky,
l – křemičité skrvčky,
m – křemičitý povlak.
Vzorek fluvialního
sedimentu; údolí
Bílého Labe, Krkonoše.

Obr. 4 – Nejčastější tvary vyskytující se na povrchu zrna: b – rovné stupně, c – obloukové stupně, k – přilnavé částice. Vzorek deluvia; údolí Bílého Labe, Krkonoše.



Obr. 5 – Nejčastější tvary vyskytující se na povrchu zrna: a – lasturnatý lom, c – obloukové stupně. Vzorek glaciálního sedimentu; Labské údolí, Krkonoše.



3.1. Eolické sedimenty

Tato genetická třída sedimentů je pro exoskopický popis nevhodnější. Eolická zrna mají zpravidla nízký, dobře zaoblený reliéf (Mahaney, Stewart, Kalm 2001), jsou matná (Le Ribault 2003b) a lépe zaoblená než fluviální zrna (Lindé, Mycielska-Dowgiało 1980). Stupeň zaoblení klesá (zrna jsou nepravidelnější) s jejich rostoucí velikostí, což je způsobeno pravděpodobně tím, že klesá i jejich hybnost (Mahaney 2002).

Mikrotextury pozorované na eolických písečných zrnech jsou štěpné plátky, brázdy přibližně 0,5–10 μm velké, prodloužené prohlubně (Mahaney 2002), srpkovité tvary, V-jamky, mísovité jamky, přilnavé částice (Lindé, Mycielska-Dowgiało 1980), tečkování (Lisá 2004), křemičitý povlak (Le Ribault 2003b). Naopak lineární paralelní lomy a lasturnaté lomy se vyskytují jen minimálně (Mahaney, Stewart, Kalm 2001).

Některé z impaktních tvarů jsou nalézány pouze na větších písečných zrnech. Tyto tvary jsou křehké a obvykle byly odstraněny během eolické abraze a chemického zvětrávání (v horkých pouštních oblastech může pouštní rosa, která je nasycena CO_2 , proniknout až do hloubky 2–3 cm; Mahaney 2002). Nejmarkantnějším znakem jsou srpkovité tvary, které jsou tím více uhlazeny, čím jsou starší. Eolickými procesy vznikají na křemenných zrnech také V-jamky a mísovité jamky.

3.2. Glaciální sedimenty

Na subglaciálních zrnech vznikají tvary způsobené drcením ve vlhkém prostředí, ale křemičité sraženiny se vyskytují jen vzácně. Tato zrna bývají nejvíce náchylná k porušení na svých hranách a rozích, zatímco plochy jsou zasazeny méně (Halley, Krinsley 1974). Co se týká písků, předpokládá se, že na těchto zrnech se nalézají pouze zděděné texturní znaky (např. pokud se zrna v ledovci navzájem nedotýkala kvůli jejich menšímu množství), protože zvětráváním se zrna pouze uvolnila a dále byla jen pasivně transportována na povrchu ledovce (Mahaney, Stewart, Kalm 2001). Většina těchto zrn má vysokou sféricitu a ostrohrannost. Typické jsou pro ně štěpné vločky a přilnavé částice, ale pozorovány byly také obloukové stupně a lineární i obloukové brázdy (Halley, Krinsley 1974).

Z exoskopického pohledu jsou glacienní zrna ostrohranná, nenesou známky uhlazení ani zaoblení, pokud nedošlo k chemickému nebo mechanickému přetvoření, a jejich povrch může být jak matný, tak lesklý (Le Ribault 2003b). Reliéf zrn je proměnlivě hladký (Fitzpatrick, Summerson 1971) až drsný (Le Ribault 2003b) a relativně vysoký, zvláště oproti zrnům pobřežního a eolického prostředí (Krinsley, Doornkamp 1973). Na povrchu glacienních zrn je možné nalézt nejvyšší počet mikrotextur ve srovnání se zrny, na která působily jiné geomorfologické procesy (Mahaney 2002). Zatímco na zrnech eolického a fluviálního prostředí existují podobné mělké, lasturnaté a lineární paralelní lomy, jejich hranaté tvary, hluboké zasazení do povrchu zrn a časté usměrnění je jedinečným znakem pro zrna glacienního původu (Mahaney, Kalm 2000). Zrna vlečená na bázi ledovce jsou však pravděpodobně méně ostrohranná a texturovaná než částice pohybující se s ledovcem na jeho povrchu či uvnitř

(Dowdeswell 1982). To samé platí pro zrna glaciárního původu (Strand, Passchier, Näsi 2003). Všeobecně je mezi englaciálními a supraglaciálními zrny jen málo rozpoznatelný rozdíl (Halley, Krinsley 1974).

Na stupeň poškození zrn má také vliv mocnost ledovce, kterým jsou zrna unášena, a délka jejich transportu. U ledovců o mocnosti mezi 200–800 m (horské ledovce) je výskyt lomů a poruch na povrchu zrna menší (20–30 % zrn ve vzorku), zatímco u kontinentálních ledovců (mocnost větší než 1 000 m) je větší. Postupné zvyšování mocnosti ledovce tedy způsobuje větší stupeň poškozování křemenných zrn. Vznikají častěji paralelní hřbítky, lasturnatý lom, obloukové stupně, srpkovité tvary a hluboké brázdy a povrch zrn je značně ostrohranný. Stupeň poškození záleží také na pozici vůči ledovci (od nejmenšího stupně poškození po nejvyšší to jsou zrna supraglaciální, englaciální a bazální) a zda-li má ledovec chladnou (suchou) nebo teplou (vlhkou) bázi, kde u suché báze převažuje křehký smyk a u vlhké báze plastický až plasticko-křehký smyk (Mahaney, Andres 1991; Mahaney 1995).

Za reprezentativní mikrotextury pro glaciální transport jsou považovány lasturnatý lom, lineární subparalelní lomy, rovné a obloukové stupně a hluboké brázdy, tvary vzniklé drčením a tlakovým rozpouštěním, paralelní rýhy a hřbítky, přilnavé částice a štěpné vločky. Vyskytovat se mohou také srpkovité tvary, štěpné plátky, V-jamky a křemičité povlaky. Pro větší zrna je typický lasturnatý lom, zatímco pro malá zrna to jsou štěpné plátky a puklinové plochy podél některých lasturnatých lomů. Pokud byla zrna vystavena drčení, potom je u nich větší variabilita ve velikosti a rozsahu lasturnatých lomů a štěpných plátek, než by bylo normální u nezvětralých zrn (Krinsley, Doornkamp 1973; Mahaney, Vortisch, Julig 1988). Dále se na většině glaciálně transformovaných zrn běžně vyskytují lineární paralelní lomy, přilnavé částice a V-jamky. V-jamky mohou vznikat kolizemi ve vodním prostředí, ale jejich velký rozměr (50 μm) ukazuje spíše na glaciální transport (fluvioglaciální zrna jich mají více) (Mahaney, Kalm 2000).

Z chemických mikrotetur charakteristických pro glaciální sedimenty to jsou tvary vzniklé vyrážením, jako např. vyleptané orientované jamky a tečkování.

3.3. Fluviální sedimenty

V důsledku vodního transportu se povrch zrn zaobluje a reliéf je relativně nízký (Helland, Huang, Diffendal 1997; Mahaney, Stewart, Kalm 2001), přičemž vodní toky s nízkou kinetickou energií ztelně nepřetvářejí povrch transportovaných zrn. Ta se tak podobají více tillům (Mahaney 2002). Málo obroušená zrna se také nacházejí v chráněných místech toku (Censier, Tourenq 1986).

Známkami vodního transportu jsou V-jamky. Čím vyšší energie toku, tím vyšší frekvence výskytu mikrotetur. V systémech horních toků jsou vysoké rychlosti a V-jamky a různé impakty se stávají výrazně velkými a frekventovanými (Mahaney 2002). Mezi další impaktní tvary patří např. mísovité jamky (Clocchiatti, Le Ribault, Rodrigo 1978) a mechanické rýhy (Cater 1984, Lisá 2004). Ve vodním prostředí o vysoké energii je křemičitý povlak na nechráněných částech zrn slabě až silně obroušen (Cremer, Legigan 1989). Při střední

energii toku jsou impaktní tvary zahlazovány (Le Ribault 1975; Censier, Tourenq 1986). V oblasti dolního toku řek se mohou vyskytovat zrna jiných genetických typů, např. glacienního apod., která sem byla dopravena z horních částí povodí. V tomto prostředí o nízké energii se tvoří křemičité sraženiny, orientované vyleptané jamky, nárůsty křemenných krystalů (Cremer, Legigan 1989) a také drobné impaktní tvary vzniklé třením mezi zrny. Ohlazená, lesklá zrna mají silně zhlazené hrany, zatímco místa v dutinách jsou silně zkorodovaná (Censier, Tourenq 1986). Chybí zde brázdy a stupně (Mahaney, Stewart, Kalm 2001).

3.4. Svahové sedimenty

Zkoumání mikroreliefu křemenných zrn svahových sedimentů metodou exoskopie je nejméně probádanou oblastí. Rychlost pohybů je velmi variabilní (od milimetrů za rok po několik stovek metrů za sekundu) a podle toho se také odvíjí výskyt mikrotextr (Mahaney 2002). Z dostupných dat se zdá, že zvětvávání podloží příliš neovlivňuje povrch zrn (Mahaney 2002).

Na zrnech byly pozorovány mikrotextrury, které nebyly v jiných prostředích zatím zaznamenány. Jedná se o hluboké paralelní brázdy s krátkými rozestupy a radiální brázdy. Mimo jiné se hojně objevují puklinové plochy a „mikrofraktury“, které je možné považovat za charakteristické (Mahaney 2002). Důležitým znakem je také výskyt mechanické abraze hran, kterým se svahové sedimenty liší od eluvia.

3.5. Jezerní sedimenty

Rybníky a jezera představují prostředí o nízké kinetické energii fluida, které unáší a zejména ukládá zrna, jež proto nejsou promíchávána a příliš porušována, ale jsou pokryta jílem (Le Ribault 2003b). Zrna si zanechávají na svém povrchu tvary, které se utvořily během předešlého transportu k jezeru. Na povrchu zrn ležících ve vodě se však mohou utvářet křemičité sraženiny a povlaky (Mathur, Mishra, Singh 2009).

4. Metodika

Kopanými sondami byly získány sedimenty z vybraných geneticky různorodých skupin tvarů, tj. z glacienních, fluviálních, svahových a eolických (tab. 2). Byla snaha provést odběr na relativně malé ploše s obdobnými geologickými a fyzickogeografickými podmínkami i s podobnou historií vývoje reliéfu. Výjimku tvoří jen eolické sedimenty, které se v Krkonoších nenacházejí a pro jejichž odběr byla vybrána poloha eolických sedimentů na pražském Klárově.

Zrna každého ze studovaných vzorků byla rozdělena plavením na velikostní frakci 250–500 μm . Jednotlivé vzorky byly dále vyvařeny v koncentrované HCl, promyty destilovanou vodou a vysušeny. Z takto připraveného vzorku bylo pod binokulárním mikroskopem vybráno 50 křemenných zrn, která byla

Tab. 2 – Charakteristika odebraných vzorků

Genetický typ sedimentu / <i>Místo odběru</i>	Stručná charakteristika tvaru a odběrového místa
Moréna / <i>Labské údolí, Krkonoše</i>	Lokalita (50°44'53,6" s. š., 15°37'24,9" v. d.) se nachází v nadmořské výšce 828 m na pravém okraji údolního dna Labe. Sedimenty pocházejí z přirozeného odkryvu 8 metrů vysoké proříznuté čelní würmské morény, kterou popsal již Vításek (1923). Na základě studia sedimentů v Labském dole (Engel a kol. 2005) se podařilo zjistit, že již na konci MIS 3 nebyl ledovec přítomen v karu Labského dolu (Engel a kol. 2010).
Mura / <i>Údolí Bílého Labe, Krkonoše</i>	Odběrová lokalita (50°44'13,7" s. š., 15°39'27,8" v. d., 1 110 m n. m.) se nachází v dolní části k severu orientovaného levého svahu údolí Bílého Labe. Zde byl materiál odebrán z bočního valu mury (vzniklé v roce 1994) nad turistickým chodníkem vedoucím na Bílou louku.
Fluviální sediment / <i>Údolí Bílého Labe, Krkonoše</i>	Fluviální sediment byl odebrán (50°44'53,6" s. š., 15°37'24,9" v. d., 857 m n. m.) z povodňových akumulací nacházejících se uvnitř koryta a vzniklých v roce 2006.
Deluvium / <i>Údolí Bílého Labe, Krkonoše</i>	Deluviální sedimenty byly odebrány z jámy po vývratu v dolní části pravého údolního svahu (sklon 20°) Dolu Bílého Labe (50°46'8,4" s. š., 15°37'9,1" v. d.). Lokalita se nachází 5 metrů nad úroveň současného dna.
Eolický sediment / <i>Praha-Klárov</i>	Eolické sedimenty byly odebrány z východně orientovaného svahu vltavského údolí na pražském Klárově (50°5'34,0" s. š., 14°24'33,8" v. d.), kde se dochovaly jejich zbytky v podobě závějí eolik (Kovanda et al. 2001) na letenském souvrství (Chlupáč 1999).

následně připevněna na uhlíkovou pásku a pozlacená a vyfotografována pod elektronovým mikroskopem Cemea SX 100.

Pro zhodnocení výsledků exoskopie jsou používány statistické testy (např. Mahaney 2002). Jedním ze základních prostředků sumarizování dat o mikrotexturách je zakreslování histogramů nebo sloupcových grafů, které znázorňují frekvenci výskytu jednotlivých mikrotextr na každém zrně. Jednou z metod, jak analyzovat sloupcové grafy součtů (rozdělení frekvencí výskytu) pozorovaných mikrotextr na sedimentárních zrnech, je kvantifikace podobných a odlišných znaků mezi porovnávanými vzorky. Pro porovnání podobnosti zrn byl použit koeficient vzdálenosti d (sensu Mahaney 2002):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2},$$

kde d_{ij} je koeficient vzdálenosti mezi dvěma prostředními (i, j), měřenými na dvojicích hodnot frekvence výskytu každého znaku x ze dvou srovnávaných vzorků (prostředí). Pořadí srovnávaných znaků začíná $k = 1$ (první dvojice) a končí $k = p$ (poslední dvojice). Čím je hodnota d menší, tím jsou si zrna podobnější.

5. Výsledky

Za referenční vzorky byly vybrány sedimenty pocházející z geomorfologických tvarů známé geneze (viz tab. 2): moréna v údolí Labe, mura v údolí Bílého Labe, povodňové sedimenty a deluvium z údolí Bílého Labe a eolický sediment z pražského Klárova.

Fluviální sedimenty se vyznačovaly nižší četností výskytu mikrotextr ve srovnání s jinými typy sedimentů, čímž je lze snadno odlišit od ostatních studovaných vzorků genetických typů sedimentů (obr. 6). Nejcharakterističtějšími znaky fluviálních zrn se ukázaly křemičité sraženiny a povlaky, které vznikají ve vlhkém nebo vodním prostředí, a to v závislosti na energii toku. Opracovanost zrn rostla s délkou transportu. Lasturnatý lom, štěpné plátky a brázdy se vyskytovaly minimálně.

Pro eolickým způsobem transportovaná zrna se ukázal typický výskyt V-jamek a mísovitých jamek, nepravidelných prohlubní a dalších impaktních tvarů (obr. 6). Četnost výskytu V-jamek a mísovitých jamek byla ve studovaných vzorcích 50 %. Tyto mikrotextury měly ovšem nižší procentuální zastoupení, než obloukové stupně, brázdy a abraze hran.

Zrna glaciálních sedimentů byla charakteristická vysokou četností lasturnatého lomu, rovných i zaoblených stupňů a brázd, paralelních rýh a puklinových ploch (obr. 6). S nižším procentuálním výskytem jsou význačné štěpné plátky (> 40 %) a přilnavé částice (> 50 %).

Zrna svahových sedimentů včetně mury pokrývají nejvíce stupňovité textury, lasturnatý lom a brázdy. Ve srovnání s ostatními zrny je výraznější abraze hran a vyskytují se klikaté hřbítky. Reliéf zrn svahové akumulace je vysoký a poloostrohranný, občas s tečkováním, u mury je střední a ostrohranný, navíc obsahuje křemičité sraženiny.

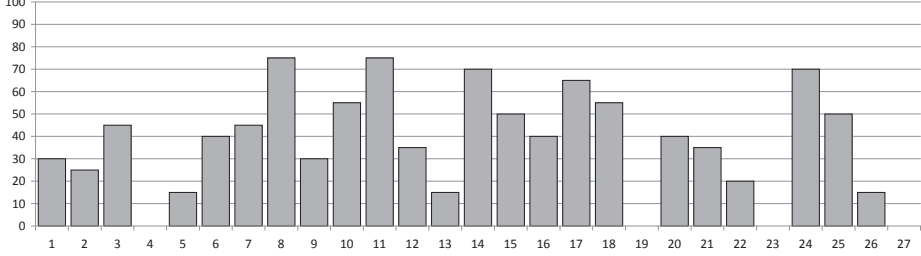
Z hlediska vyhodnocení koeficientů vzdáleností d (sensu Mahaney 2002) mezi zrny jednotlivých studovaných genetických skupin sedimentů (tab. 3),

Tab. 3 – Koeficienty vzdálenosti d (Mahaney 2002) mezi studovanými vzorky

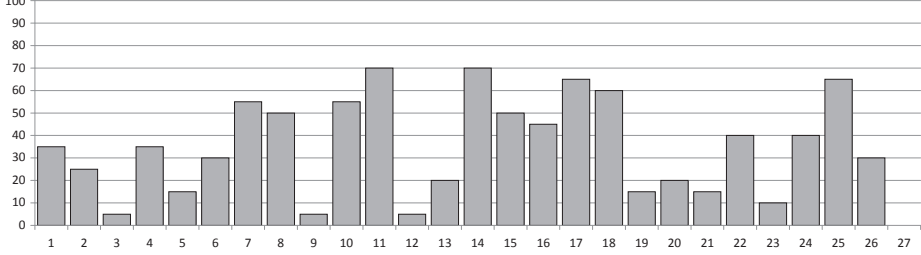
Vzorky	Fluviální sediment	Moréna Labe	Svahový sediment	Mura	Eolický sediment
Fluviální sediment	0,00				
Labská moréna	1,38	0,00			
Svahový sediment	1,40	0,80	0,00		
Mura	1,24	1,13	1,00	0,00	
Eolický sediment	1,31	0,93	0,89	1,05	0,00

Obr. 6 (na str. 71) – Grafy četností mikrotextr jednotlivých genetických typů sedimentů (Labská moréna, eolické sedimenty, svahové sedimenty – deluvium, murové sedimenty, fluviální sedimenty). 1 – ostrohranné zrnó, 2 – poloostrohranné zrnó, 3 – polozaoblené zrnó, 4 – zaoblené zrnó, 5 – nízký reliéf, 6 – střední reliéf, 7 – vysoký reliéf, 8 – malý lasturnatý lom, 9 – velký lasturnatý lom, 10 – rovné stupně, 11 – obloukové stupně, 12 – velké puklinové plochy, 13 – paralelní rýhy, 14 – abraze hran, 15 – V-jamky, 16 – mísovité jamky, 17 – rovné brázdy, 18 – obloukové brázdy, 19 – klikaté hřbítky, 20 – nepravidelné prohlubně, 21 – štěpné plátky, 22 – tečkování, 23 – orientované vyleptané jamky, 24 – přilnavé částice, 25 – omezené křemičité sraženiny, 26 – rozsáhlé křemičité sraženiny, 27 – nárůsty krystalů.

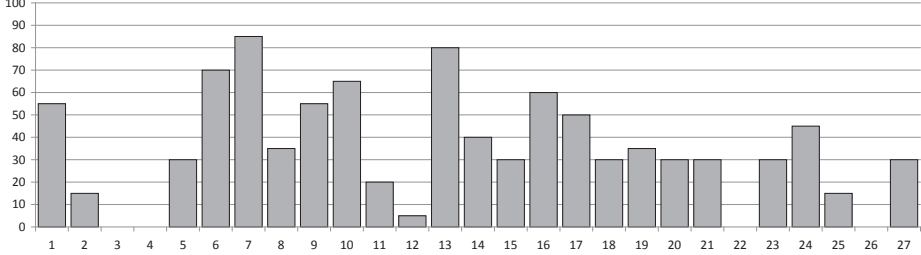
Labská moréna



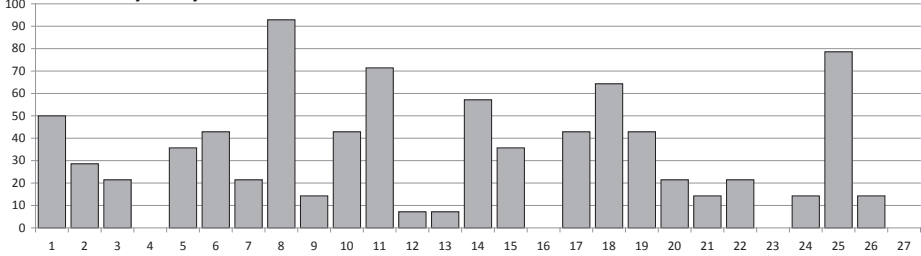
Eolické sedimenty



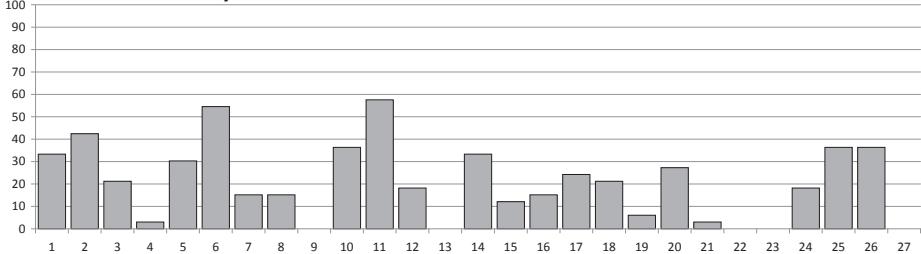
Svahové sedimenty



Sedimenty mury



Fluviální sedimenty



lze konstatovat, že nejvyšší odlišnost od ostatních vykazují zrna fluviálních sedimentů (průměrná hodnota d je 1,333). Následují zrna mury (průměrná hodnota d je 1,105), morény (průměrná hodnota d je 1,06), eolických sedimentů (průměrná hodnota d je 1,045) a svahovin (průměrná hodnota d je 1,023), které mají nejvyšší průměrnou podobnost s ostatními studovanými zrny. Vůbec nejvyšší vzájemnou odlišnost vykazují zrna fluviálních sedimentů a svahovin. Naopak nejbliže k sobě mají zrna svahovin a labské morény (tab. 3).

6. Diskuse

S pomocí exoskopie se ze skenovaných vzorků podařilo nejspolehlivěji odlišit fluviální sedimenty, které mají na rozdíl od ostatních studovaných vzorků sedimentů nižší četnosti výskytu všech mikrotextr. Méně zřejmé jsou rozdíly v morfologii zrn svahových a morénových sedimentů, kde je potřeba věnovat vyšší pozornost četnostem a kombinacím charakteristických mikrotextr. Některé genetické typy sedimentů již byly popsány v literatuře (Krinsley, Doornkamp 1973 a Mahaney 2002), dle které se dalo očekávat, že eolická a fluviální zrna se budou charakterem svého povrchu více odlišovat od glaciálních sedimentů. Zatím však v literatuře uvedené charakteristiky nejdou do velkých detailů. Na základě popisů v literatuře tedy nelze interpretovat jemné rozdíly v charakteru zrn patřícím odlišným geomorfologickým tvarům se stejnou genezí. Ukázalo se, že sedimenty, které byly přepracovány gravitačními procesy, nelze snadno odlišit od glaciálních sedimentů, protože mnoho tvarů vyvinutých na křemenných zrnech obou typů sedimentů jsou stejné.

Fluviální zrna se obecně vyznačují křemičitými povlaky (Le Ribault 1975), V-jamkami (Mahaney 2002) a mísovitými jamkami (Clocchiatti, Le Ribault, Rodrigo 1978), popř. nárůsty křemene (Cremer, Legigan 1989). Vzorek fluviálního sedimentu je svými charakteristikami poměrně vzdálen všem ostatním studovaným vzorkům. Na základě koeficientu vzdálenosti je nejpodobnější muře v údolí Bílého Labe, což může mít souvislost s dřívějším vývojem zrn, než začala být unášena vodou. V případě zkoumaných fluviálních zrn byly charakteristické křemičité sraženiny (zejména v podobě křemičitých globulí a skrývek v rozsáhlejší podobě), avšak ve srovnání s ostatními studovanými vzorky sedimentů byl absolutní výskyt tohoto znaku poměrně malý. To mohlo být způsobeno vysokou energií toku v jeho horní části, kde dochází k obrušování křemičitých povlaků, jak popsali Cremer, Legigan (1989). Také četnost výskytu V-jamek a mísovitých jamek nebyla příliš vysoká, zvláště ve srovnání s glaciálními a gravitačními sedimenty. Popisovaná nízká frekvence výskytu V-jamek a mísovitých jamek je v rozporu s tím, co uvádí Le Ribault (1975) pro systémy horních toků s vysokými rychlostmi. Vzhledem k poloze odebraného vzorku nelze očekávat ani dlouhý transport, během kterého by byla zrna více opracována. Stupňovité tvary spíše naznačují, že materiál je ještě poměrně mladý a mohlo jít o odnesené částice ze svahů, popř. morén.

Podobnost zrn svahových sedimentů a morén vyjádřená koeficientem d může být způsobena tím, že byl morénový materiál původně (před transportem ledovcem, který však nebyl velký) deluviem či jiným sedimentem, který vznikl gravitačními pochody. Pro zrna studovaných svahových sedimentů je

charakteristická abraze hran, výskyt brázd a puklinových ploch. U vzorku deluvia je abraze hran velmi četná (u 80 % zrn), avšak na zrnech není výrazná kvůli minimálnímu transportu. Výskyt dalších mikrotextur také potvrzuje charakteristiku tohoto genetického typu sedimentu, který prozatím nebyl v literatuře příliš zkoumán (zmiňuje se o něm pouze Mahaney 2002), totéž platí i pro mury. Výrazný je vysoký reliéf povrchu zrn deluvií, nízký reliéf se v tomto vzorku nenacházel vůbec. Příčinou je minimální transport deluvia od doby, kdy byl uvolněn od horniny. Tomu nasvědčuje i ostrohrannost zrn ve vzorku.

Zrna morény se obecně vyznačují výskytem štěpných plátek a přilnavých částic na svém povrchu (Krinsley, Doornkamp 1973; Halley, Krinsley 1974 aj.). Stejně je tomu i na zkoumaných zrnech morény Labe. Tyto znaky se pro ně stávají charakteristické zvláště po srovnání s ostatními vzorky z jiných prostředí. Charakteristické pro zrna labské morény jsou také paralelní rýhy a puklinové plochy. Další znaky rovněž odpovídají obecným popisům povrchů zrn morén, tj. výskyt lasturnatých lomů, stupňů a brázd (Whalley, Krinsley 1974 a Mahaney, Vaikmae, Vares 1991 vykládají genezi těchto mikrotextur odlišným způsobem), ačkoli frekvence výskytu lasturnatých lomů je v tomto případě vyšší u deluvia. Důvodem tohoto jevu může být mrazové zvětrávání, které se podílí na formování zdejších skalních výchozů, což lze dokladovat vznikem četných nových úlomků, které se pod výchozy nacházejí po jarní a zimní sezóně.

Mura je z pohledu geneze rovněž tvořena svahovými sedimenty, avšak významnou roli při jejich pohybu hraje voda, která, aby došlo k pohybu, musí nasytit deluvium. To má za následek, že abraze hran křemenných zrn není tak výrazná jako u deluvia. Zrna mury jsou nejméně podobná vzorku fluviálních sedimentů. Ačkoli během vzniku tohoto tvaru působila voda, její vliv byl velmi krátký na to, aby se vytvořily charakteristické znaky pro vodní prostředí. O působení vody vypovídá pouze poměrně velký výskyt omezených křemičitých sraženin na povrchu zrn vzorku, které se pravděpodobně utvářely během osychání jejich povrchu. V literatuře zmínky o exoskopii zrn mur, jakožto samostatného genetického typu, nejsou. Charakteristickými mikrotexturami pro zkoumaný vzorek byly lasturnaté lomy, stupňovité textury, abraze hran, V-jamky a obloukové brázd. Zároveň bylo pro tato zrna příznačné malé opracování zrn.

Eolický sediment je dle výsledků koeficientu d podobný deluviu a moréně Labe. Eolická zrna jsou charakteristická výskytem štěpných plátek, nepravidelných prohlubní a impaktních tvarů, jako jsou V-jamky a mísovité jamky (Lindé, Mycielska-Dowgiało 1980; Mahaney 2002 aj.). Zrna zkoumaného vzorku eolických sedimentů vykazují četnější výskyt jiných znaků, např. stupňovité textury a brázd, drobné lasturnaté lomy a abraze hran, které jsou charakteristické spíše pro gravitační pohyby. Po srovnání s ostatními vzorky se však jeví vysoká frekvence výskytu i u V-jamek a mísovitých jamek (cca 50 %), které jsou považovány za charakteristické mikrotextury eolických sedimentů. Dle Mahaneyho (2002) pro eolické sedimenty typické štěpné plátky a nepravidelné prohlubně se však ve zkoumaném vzorku jako charakteristické neprojevily, jelikož ve vysokých četnostech se vyskytují také na křemenných zrnech studovaných glacigenních sedimentů, svahových sedimentů a mur (štěpné plátky) a fluviálních sedimentů (nepravidelné prohlubně).

7. Závěr

Uvedená metoda exoskopie povrchu křemenných zrn umožňuje stanovit způsob transportu, a tedy i genezi sedimentu, respektive daného tvaru, který je jím budován. U vzorků pocházejících z velmi podobného prostředí však nemusejí být výsledky zcela jasné a je zapotřebí použít více vzorků. Také je nutné znát samotné prostředí, kde byl vzorek odebrán, včetně jeho okolí, aby byly procesy formující povrch zrn správně přiřazeny jednotlivým genetickým skupinám.

Pro rozlišení genetických typů sedimentů nelze vždy přesně určit sadu vyskytujících se mikrotextrur, spíše lze hovořit o určitých frekvencích výskytu, při kterých by se znak stal charakteristickým. Tyto frekvence výskytu by však nebyly pro všechny znaky stejné. Důležitou roli pro frekvenci výskytu představuje rychlost transportu v prostředí. Lasturnatý lom vzniká např. většinou po prudkých nárazech a odlomení částice od částice větší, což může nastat v kterémkoli prostředí, ale také může vzniknout mrazovým zvětráváním. Tyto nárazy jsou ale ve fluviálním prostředí tlumeny, charakteristická je tedy spíše nepřítomnost lasturnatého lomu pro fluviální sedimenty. Tilly jsou charakteristické naopak velmi vysokou četností lasturnatého lomu, což znamená, že tento znak se u nich vyskytuje alespoň ze cca 70 %. U jiných znaků však stačí menší procentuální podíl výskytu k tomu, aby byly označeny za charakteristické. Zdaleka ne vždy lze ale vysledovat toto přibližné hraniční procento a je potřeba počítat s polohou, s probíhajícími procesy v prostředí, ze kterého vzorky pochází, a nalezenými mikrotextrurami. Musíme např. uvažovat nad tím, zda sediment byl donesen z vyšších poloh a jaké procesy probíhaly v těchto vyšších polohách, protože zrno nese na svém povrchu v různé zachovalosti i ty tvary, které byly utvořeny v předešlých prostředích. Podobně i Mahaney (2002) a Le Ribault (1975) upozorňují na to, že zrna si nesou mikrotextrury z dřívějších prostředí. Ze znalosti prostředí (např. sklonitosti terénu) jsme schopni odhadnout, v jakých rychlostech zdejší procesy probíhají – v exoskopii např. V-jamky, srpkovité textury a mísovité jamky (Le Ribault 1975) vypovídají o rychlostech média, kterým je sediment unášen – a tím lépe pochopit výsledky exoskopie a určit, kde je přibližná hranice vysokého a nízkého výskytu jednotlivých mikrotextrur.

Křemenná zrna glacigenních sedimentů jsou charakteristická výskytem lasturnatých lomů (či štěpných plátek, které jsou typicky vyvinuté na menších zrnech), stupňovitých tvarů, puklinovými plochami a přilnavými částicemi. Eolické sedimenty jsou charakteristické výskytem V-jamek, mísovitých jamek a vyšším zaoblením zrn. Pro deluvium jsou typické lasturnaté lomy, stupňovité tvary, brázdy a zejména abraze hran. Křemenná zrna murových sedimentů byla charakteristická lasturnatými lomy, stupňovitými tvary, brázdami a křemičitými sraženinami. Fluviální sedimenty mají oproti ostatním vzorkům celkově nízkou četnost mikrotextrur a typický je pro ně nízký reliéf s vyšší zaobleností zrn a křemičité sraženiny, zvláště křemičité povlaky.

Literatura:

- AALKASEEVA, V. A. (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.
- CATER, J. M. (1984): An application of scanning electron microscopy of quartz sand surface textures to the environmental diagnosis of Neogene carbonate sediments, Finestrat Basin, south-east Spain. *Sedimentology*, 31, č. 5, s. 717–731.
- CENSIER, C., TOURENQ, J. (1986): Mise en évidence d'une extension occidentale des grès de Carnot (République Centrafricaine) par analyses sédimentologiques comparées de gisements alluvionnaires diamantifères. *Géodynamique*, 1, č. 1, s. 21–32.
- CHLUPÁČ, I. (1999): Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí. *Academia*, Praha, 280 s.
- CLOCCHIATTI, R., LE RIBAUT, L., RODRIGO, L. A. (1978): Endoscopie et exoscopie de grains de quartz des formations du pliocène et du quaternaire de La Paz (Bolivie). *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Géologie*, 10, č. 1, s. 127–143.
- CREMER, M., LEGIGAN, P. (1989): Morphology and Surface Texture of Quartz Grains from ODP site 645, Baffin Bay. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 105, s. 21–28.
- DOWDESWELL, J. A. (1982): Scanning electron micrographs of quartz sand grains from cold environments examined using Fourier shape analysis. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, č. 4, s. 1315–1323.
- ENGEL, Z., TREML, V., KRÍŽEK, M., JANKOVSKÁ, V. (2005): Lateglacial/Holocene sedimentary record from the Labe source area, the Krkonoše Mts. *AUC–Geographica*, XXXIX, č. 1, s. 73–88.
- ENGEL, Z., NÝVLT, D., KRÍŽEK, M., TREML, V., JANKOVSKÁ, V., LISÁ, L. (2010): Sedimentary evidence of landscape and climate history since the end of MIS 3 in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Quaternary Science Review*, 30, s. 1–15. doi:10.1016/j.physletb.2003.10.071
- FITZPATRICK, K. T., SUMMERSON, C. H. (1971): Some observations on electron micrographs of quartz sand grains. *The Ohio Journal of Science*, 71, č. 2, s. 106–117.
- HELLAND, P. E., HUANG, P. H., DIFFENDAL, R. F. (1997): SEM Analysis of Quartz Sand Grain Surface Textures Indicates Alluvial/Colluvial Origin of the Quaternary “Glacial” Boulder Clays at Huangshan (Yellow Mountain), East-Central China. *Quaternary Research*, 48, s. 177–186.
- KOVANDA, J. et al. (2001): Neživá příroda Prahy. *Academia, Český geologický ústav*, Praha, 215 s.
- KRÁLÍK, F., SEKYRA, J. (1969): Geomorfologický přehled Krkonoš. In: Fanta, J. et al. *Příroda Krkonošského národního parku*. SZN, Praha, s. 59–87.
- KRINSLEY, D. H., DOORNKAMP, J. C. (1973): *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge, Cambridge University, 91 s.
- KUKAL, Z. (1986): *Základy sedimentologie*. Academia, Praha, 466 s.
- LE RIBAUT, L. (1975): Application de l'exoscopie des quartz à quelques échantillons prélevés en Manche orientale. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, s. 279–288.
- LE RIBAUT, L. (2003a): LLR et le G5: Exoscopie – Définition scientifique. http://www.leribault.com/exo_definitionscientifique.php, cit. 2007-07-23.
- LE RIBAUT, L. (2003b): LLR et le G5: Balade sur un grain de sable. http://www.loic-leribault.ch/exo_balademicroscopique_p01.php.
- LINDÉ, K., MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO, E. (1980): Some experimentally produced microtextures on grain surfaces of quartz sand. *Geografiska Annaler A*, 62, č. 3–4, s. 171–184.
- LISÁ, L. (2004): Exoscopy of Moravian eolian sediments. *Bulletin of Geosciences*, 79, č. 3, s. 177–182.
- MAHANEY, W. C. (1995): Pleistocene and Holocene glacier thickness, transport histories and dynamics inferred from SEM microtextures on quartz particles. *Boreas*, 24, s. 293–304.
- MAHANEY, W. C. (2002): *Atlas of sand grain surface textures and application*. Oxford University Press, New York, 237 s.

- MAHANEY, W. C., ANDRES, W. (1991): Glacially crushed quartz grains in loess as indicators of long-distance transport from major European ice centers during the Pleistocene. *Boreas*, 20, s. 231–239.
- MAHANEY, W. C., CLARIDGE, G., CAMPBELL, I. (1996): Microtextures on quartz grains in tills from Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121, s. 89–103.
- MAHANEY, W. C., KALM, V. (2000): Comparative scanning electron microscopy study of oriented till blocks, glacial grains and Devonian sands in Estonia and Latvia. *Boreas*, 29, s. 35–51.
- MAHANEY, W. C., STEWART, A., KALM, V. (2001): Quantification of SEM microtextures useful in sedimentary environmental discrimination. *Boreas*, 30, s. 165–171.
- MAHANEY, W. C., VAIKMAE, R., VARES, K. (1991): Scanning electron microscopy of quartz grains in supraglacial debris, Adishy Glacier, Caucasus Mountains, USSR. *Boreas*, 20, s. 395–404.
- MAHANEY, W. C., VORTISCH, 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.
- MARGOLIS, S. V., KRINSLEY, H. (1971): Submicroscopic frosting on aeolian and subaqueous quartz sand grains. *Bull. Geol. Soc. Am.* B2, s. 3395–3406.
- MATHUR, A. K., MISHRA, V. P., SINGH, J. (2009): Study of quartz grain surface texture by electron microscopy – a tool in evaluating palaeoglacial sediments in Uttarakhand. *Current science*, 96, č. 10, s. 1377–1382.
- MELLOR, A. (1986): Textural and Scanning Electron Microscope Observations of Some Arctic-Alpine Soils Developed in Weichselian and Neoglacial Till Deposits in Southern Norway. *Arctic and Alpine Research*, 18, č. 3, s. 327–336.
- PETRÁNEK, J. (1963): Usazené horniny: Jejich složení, vznik a ložiska. Nakladatelství ČSAV, Praha, 720 s.
- RŮŽIČKOVÁ, E., RŮŽIČKA, M., ZEMAN, A., KADLEC, J. (2003): Kvartérní klastické sedimenty České republiky. Česká geologická služba, Praha, 160 s.
- STRAND, K., PASSCHIER, S., NASI, J. (2003): Implication of quartz grain microtextures for onset Eocene/Oligocene glaciation in Prydz Bay, ODP Site 1166, Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 198, s. 101–111.
- VITÁSEK, F. (1923): O starých ledovcích na Krkonoších. *Geografie (Sborník ČSZ)*, 29, č. 4, s. 196–199.
- WHALLEY, W. B. (1982): A preliminary scanning electron microscope study of quartz grains from a dirt band in the Tuto ice tunnel, Northwest Greenland. *Arctic and Alpine Research*, 14, č. 4, s. 355–360.
- WHALLEY, W. B., KRINSLEY, D. H. (1974): A scanning electron microscope study of surface textures of quartz grains from glacial environments. *Sedimentology*, 21, s. 87–105.
- WILSON, P. (1978): A scanning electron microscope examination of quartz grain surface textures from the weathered Millstone Grit (carboniferous) of the Southern Pennines, England: A preliminary report. In: *Scanning Electron Microscopy in the Study of Sediments*. Univ. East Anglia, Norwich, s. 307–318.

S u m m a r y

APPLICABILITY OF QUARTZ GRAINS SURFACE ANALYSIS TO THE STUDY OF THE GENESIS OF UNLITHIFIED SEDIMENTS

Unconsolidated sediments are formed from redeposited and sedimented material, originating from broken rocks. No cement is involved, in contrast with consolidated sediments (Kukal 1986). We distinguish certain genetic types of loose sediments, which give evidence regarding their origin and the conditions of their formation.

There are several basic genetic groups of quaternary sediments that occur in Czechia: fluvial, glacial, eolian, gravitational and lacustrine. Research of these types of sediments aids in explaining the evolution and change of physical-geographic conditions over time.

One of the aims of geomorphology is to determine the origin of a relief. In some cases this can be deduced from relief material knowledge. Exoscropy is a method used to determine

sediment origin based on an understanding of microscopic surface textures on quartz sand grains (Margolis, Krinsley 1971; Fitzpatrick, Summerson 1971; Whalley, Krinsley 1974; Le Ribault 1975; Cremer, Legigan 1989; Mahaney 2002). We assume that this method will be used more frequently in Czech and Slovak geomorphological work, in the future. Therefore, one of the objectives of this article is to introduce this method and its potential and to establish Czech terminology that either does not exist or is inconsistent. The secondary objective of the article is to illustrate the extent, to which it is possible to distinguish different sediment origins using exoscopy.

Reference samples were chosen from geomorphological landforms of known origin (see Table 2): a moraine in the Labský Důl Valley, a debris flow in the Důl Bílého Labe Valley, flood accumulation and deluvium from a slope in the Důl Bílého Labe Valley in the Krkonoše Mountains and eolian sediment from Klárov in Prague.

The exoscopy method determines sediments' movements and thus their origin as well as the origin of landforms built by these sediments. However, results of samples originating from a very similar environment may not be sufficiently clear. Consequently, it is necessary to use multiple samples of a given landform. To ensure that processes forming the surface of grains are correctly assigned to genetic groups, it is also important to know the environment, from which a sample was taken.

Results suggest that it is not always possible to define an appropriate set of occurring microtextures in order to determine the genetic groups of sediments. Microtextures are characterized by certain occurrence frequencies. These frequencies are different for each microtexture and, so far, no frequencies have been set. Velocity of movement in different environmental conditions plays an important role in the frequencies.

Nonetheless, it is not always possible to observe the approximate characteristic percentages of occurrence in microtextures and it is important to consider connections between sediments and their location, ongoing processes in the local environment and the enumeration of observed microtextures. For example, one must consider the possibility that a sediment might have been moved from higher positions in the terrain and the processes that were occurring in those higher positions. Mahaney (2002) and Le Ribault (1975) also point out that the grains might have microtextures from previous environments.

With a knowledge of slope inclination, we are able to estimate the velocities of local geomorphological processes; for example V-shaped pits, crescent-shaped features and dish-shaped breakage concavities provide evidence concerning the velocity of transport medium (Le Ribault 1975). This can lead to a better understanding of exoscopy results and aid in establishing the approximate boundaries of the high and low occurrence of single microtextures.

Conchoidal fractures (or upturned plates on smaller grains), step forms, fracture faces and adhering particles are typical microstructures in quartz grains from glacial sediments. The occurrence of V-shaped pits, dish-shaped breakage concavities and a rather subrounded to rounded grain profile are typical for eolian sediments. Conchoidal fractures, step forms, grooves and especially edge abrasion are typical for deluvium sediments. The sample of debris flow sediment was characterized by the occurrence of conchoidal fractures, step forms, grooves and silica precipitation. Fluvial sediments generally have the lowest occurrence percentage of all microtextures in comparison with other samples and their characteristic forms are silica precipitations, especially silica pellicle and low relief with lower outline.

Fig. 1 – Most frequent forms present on surfaces of quartz grains: f – parallel striations, g – V-shaped pits, i – straight grooves, l – silica capping. A sample of eolian sediment; Prague-Klárov.

Fig. 2 – Most frequent forms present on surfaces of quartz grains: a – conchoidal fracture, d – fracture faces, h – crescent-shaped features, i – straight grooves, j – curved grooves, k – adhering particles. A sample of debris flow sediment; Důl Bílého Labe Valley, Krkonoše Mountains.

Fig. 3 – Most frequent forms present on surfaces of quartz grains: e – meandering ridges, l – silica capping, m – silica pellicle. A sample of fluvial sediment; Důl Bílého Labe Valley, Krkonoše Mountains.

Fig. 4 – Most frequent forms present on surfaces of quartz grains: b – straight steps, c – arcuate steps, k – adhering particles. A sample of deluvium; Důl Bílého Labe Valley, Krkonoše Mountains.

Fig. 5 – Most frequent forms present on surfaces of quartz grains: a – conchoidal fracture, c – arc-steps. A sample of glacial sediment; Labský Důl Valley, Krkonoše Mountains.

Fig. 6 – Graphs showing the frequencies of microtextures in the studied genetic types of sediments (moraine, eolian sediments, colluvium, debris flow, flood /fluvial/ sediments). 1 – angular outline, 2 – subangular outline, 3 – subrounded outline, 4 – rounded outline, 5 – low relief, 6 – medium relief, 7 – high relief, 8 – small conchoidal fracture, 9 – large conchoidal fracture, 10 – straight steps, 11 – arcuate steps, 12 – large fracture faces, 13 – parallel striations, 14 – edge abrasion, 15 – V-shaped pits, 16 – dish shaped concavities, 17 – straight grooves, 18 – curved grooves, 19 – meandering ridges, 20 – irregular depressions, 21 – upturned plates, 22 – pitting, 23 – oriented etched pits, 24 – adhering particles, 25 – limited silica precipitation, 26 – extensive silica precipitation, 27 – quartz crystal overgrowths.

Pracoviště autorů: L. Křížová a M. Křížek: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: krizova@natur.cuni.cz, krizekma@natur.cuni.cz. L. Lisá: Geologický ústav, AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6; e-mail: lisa@gli.cas.cz.

Do redakce došlo 3. 2. 2010; do tisku bylo přijato 6. 2. 2011.

Citační vzor:

KŘÍŽOVÁ, L., KŘÍŽEK, M., LISÁ, L. (2011): Význam povrchové analýzy křemenných zrn pro studium geneze nezápných sedimentů. *Geografie*, 116, č. 1, s. 59–78.