

# SROVNÁVACÍ STUDIE POVRCHU KŘEMENNÝCH ZRN NA LOKALITÁCH JIŽNÍ A JIHOVÝCHODNÍ MORAVY

The comparative study of the surface of the quartz grains at the south and southeast Moravia sites

Jana Šušolová<sup>1,4</sup>, Veronika Králová<sup>2</sup>, Roman Hadacz<sup>3</sup>, Peter Dundek<sup>4</sup>, Daniel Volařík<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Moravské zemské muzeum, Zelný trh 6, 659 37 Brno; e-mail: jsusolova@mzm.cz

<sup>2</sup> TESCAN, Libušina tř. 21, 623 00 Brno-Kohoutovice; e-mail: veronika.kralova@gmail.com

<sup>3</sup> Garmur.cz, s. r. o., Nebovidy 497, 664 48 Brno-venkov; e-mail: roman.hadacz@gmail.com

<sup>4</sup> Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno; e-mail: peter.dundek@gmail.com; daniel.volarik@seznam.cz

(34-24 Holič, 34-22 Hodonín, 24-42 Kojetín, 25-33 Uherské Hradiště, 34-11 Znojmo)

**Key words:** Mikulčice, Eolian Sediments, Fluvial Sediments, Exoscopy, SEM, NMDS

## Abstract

Between 2013–2014, archeological researches at the Mikulčice site were performed. During these researches, necessity of a quartz grains surface study in the Moravian Sahara arose. There is a significant archaeological monument situated near the village of Mikulčice – a Slavic settlement, whose youngest bedrock is formed by fluvial sediments of extinct riverarms of the river Morava, and sand dunes composed of wind-blown sands of the Moravian Sahara. On these sand dunes, the most important churches and palaces of the settlement are found. The sandy sediments can reach up to 30 m thickness in the area of the Moravian Sahara.

Samples of sandy sediments were taken from several locations of this site, and also from several other sites of south Moravia, which are sedimentary genetically different from the studied area. One sample of aeolian sand from the desert Rub-al Khali of Arabian Peninsula was provided for comparison.

After gathering this small collection of sand grain samples, they were individually modified to the required study form and analyzed according to the demands of the method of exoscopy. At first, one hundred quartzgrains were separated from each sample of the collection using a stereo microscope. After that a detailed study and imaging with the scanning electronmicroscope (SEM) followed. The collection of sands from Mikulčice of the same genetical origin was compared to other samples of genetically known origin (fluvial, eolian...). The final comparison of all samples was performed by the method of multivariate analysis with NMDS. The results show that development of sediments at the archeological site Mikulčice most probably took place in very similar sedimentary environment. In this environment, the eolian transport and the fluvial transport with lower kinetic energy played important role.

## Úvod

Slovanské Hradisko Mikulčice, vzdálené asi 3 km jv. od obce Mikulčice, je situované v údolní nivě řeky Moravy. Jeho nejvýznamnější kostely a paláce jsou lokalizovány na čtyřech dunách navátých písků. Významným morfoloogickým prvkem zde jsou říční ramena, která původně obtékala jednotlivé duny a další vyvýšeniny a oddělovala je od sebe. Hlavními zájmy studie bylo přiblížit genezi transportu písčitého zrn do této oblasti a porovnat mezi sebou jednotlivé vzorky z hlediska podobnosti. Pro tato zjištění byla zvolena metoda exoskopie a následně NMDS. Ke srovnání se vzorky z Mikulčic bylo vybráno několik lokalit převážně z Moravy a jedna z Arabského poloostrova. U vybraných lokalit, kde se předpokládal jasný geneticky sedimentární původ, se dalším pozorováním zjistilo, že tomu tak není (viz dále). Jedinou lokalitou s geneticky zřetelným sedimentárním původem je písčité duny z Arabského poloostrova.

## Geologie

Širší okolí Mikulčic náleží z hlediska orografického členění Dolnomoravskému úvalu. Geologicky jde o neogenní vídeňskou pánev, vyplněnou 5 000 až 5 500 m mocnými nepravidelně se střídajícími polohami miocenních jíílů, prachů, písků a štěrku s nepravidelnými vrstvy řasových vápenců. Ve svrchním miocénu se v této oblasti rozšířily plošně rozsáhlé bažiny, ve kterých se nahromadila uhelná

hmota tvořící lignitové sloje. Koncem neogénu, v pontu až pliocénu, se začaly ukládat jezerní, říční a další kontinentální sedimenty. V kvartérní historii se v okolí uložily fluvialní písky, písčité štěrky a naváté písky (Chlupáč et al. 2002; Havlíček 2006; Havlíček – Peška 1992).

Ve viselském glaciálu byly z miocenních mořských sedimentů a kvartérních teras řeky Moravy vyvátý jejich jemnější části a vznikla rozsáhlá oblast vátých písků, tzv. Moravská Sahara, na ploše cca 95 ha. Mocnost převládajících, dobře vytříbených písčitého uloženin akumulovaných západními a severozápadními větry se pohybuje v rozmezí mezi 2 až 20 m, výjimečně dosahuje až 30 m (Havlíček – Zeman 1986).

## Metodika

Metodika exoskopie, použitá v tomto výzkumu, byla převzata z publikace Křížová et al. (2011). Byly odebrány vzorky o hmotnosti 0,5 kg, které byly dále pomocí sít zrnitostně vytříbeny i na velikost 0,50–0,25 mm. Pro exoskopickou pozorování je doporučena velikost zrn 200 až 500  $\mu$  (Křížová et al. 2011). Sledovaná zrnitostní frakce byla po vařena s koncentrovanou HCl pro odstranění nežádoucích karbonátů, jíílů a organických materiálů. Dále byly vzorky propláchnuty, zneutralizovány destilovanou vodou a vysušeny. Tyto laboratorní práce byly provedeny na Ústavu geologie a pedologie Mendelovy univerzity v Brně.

Po důkladném makroskopickém studiu zrn pod stereomikroskopem OPTIKA LAB-2 bylo vyseparováno z každého vzorku 100 křemenných zrn, aby byl k dispozici dostatečně velký, statisticky hodnotitelný soubor dat pro studii povrchových tvarů, jejich četnosti a zastoupení na jednotlivých zrnech. Pro detailní analýzu zrn byl vybrán autoemisní elektronový mikroskop MIRA3 od firmy TESCAN, a. s., vybavený detektorem sekundárních elektronů typu Everhart-Thornley a energiově disperzním spektrometrem. Zrna byla na držák fixována pomocí uhlíkové pásky. Aby se předešlo nabíjení vzorku, na povrch zrn byla nanášena vrstva uhlíku o tloušťce 15 nm. Byly pořízeny detailní snímky zrn.

Dalším sledovaným texturním znakem klastických sedimentů byl stupeň zaoblení klastických částic. K odhadu zaoblení se použila vizuální škála uvedená v Návodu pro pojmenování a popis zemin (ČSN 72 1001, ČSN 73 1001).

Barva sedimentů jednotlivých frakcí se zjišťovala za sucha pomocí Munsellových tabulek barevnosti půd (MunsellColor 2000).

Pro statistické zpracování vzorků byla zvolena jako nejvhodnější metoda mnohorozměrné analýzy NMDS využívající euklidovských vzdáleností, kdy poloha znaků vyjadřuje polohu vektorů příslušných znaků. Díky této metodě zjistíme míru shody vzdáleností na ordinačním diagramu a původní hodnoty nepodobnosti jednotlivých vzorků.

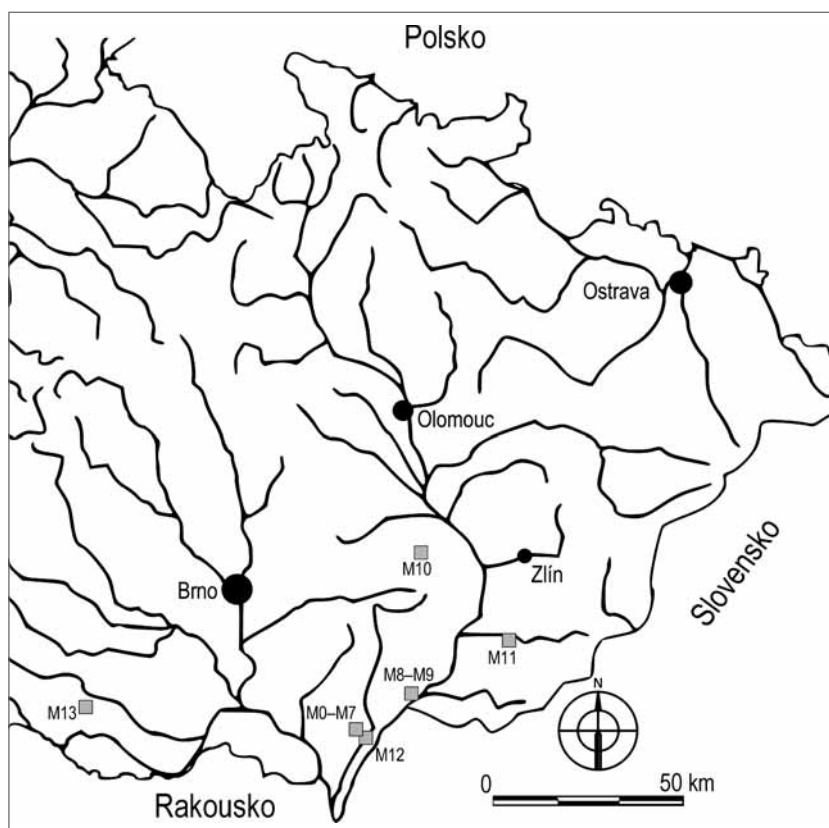
### Lokalizace odběrů

Pro exoskopické analýzy bylo odebráno 14 vzorků psamitů z několika lokalit (obr. 1). Vzorky M0–M7 byly odebrány z oblasti Mikulčice-Trapíkov a Mikulčice-Hradisko a vzorky M8–M14 z různých sedimentárně genetických lokalit:

- Vzorek M0 byl odebrán z předpokládané duny v době výzkumu v Trapíkově před postavením centra Archeologického ústavu AV ČR. Hloubka odběru byla 50 cm.
- Vzorek M1 byl odebrán z předpokládané duny. Odběr byl proveden u silnice mezi stromy před novým centrem Archeologického ústavu AV ČR, oblast Trapíkova. Hloubka odběru byla 50 cm.
- Vzorek M2 byl odebrán z předpokládané duny, Mikulčice-Hradisko. Odběr byl proveden u chodníku pro návštěvníky areálu. Hloubka odběru byla 50 cm, kde se již objevil písek, nad ním se vyskytuje jílovitější tužší sediment (hodnoceno za mokra).
- Vzorek M3 byl odebrán z předpokládané duny, Mikulčice-

-Hradisko. Odběr byl proveden na valu vedle kostela, v hloubce 230–290 cm.

- Vzorek M4 byl odebrán z předpokládané přeplavené duny, Mikulčice-Hradisko. Odběr byl proveden ze svahu vedle kostela, v hloubce 280–320 cm.
- Vzorek M5 byl odebrán z předpokládané duny na louce pod valem, Mikulčice-Hradisko, v hloubce 100–200 cm.
- Vzorek M7 byl odebrán jako předpokládaný říční písek v sondě, Mikulčice-Hradisko, z hloubky cca 100 cm.
- Vzorek M8 byl odebrán na lokalitě Osypané břehy nedaleko Strážnice z hloubky 2 m pod povrchem z odkrytého profilu s eolickými, eolickofluviálními a lakustrinními sedimenty.
- Vzorek M9 byl odebrán na lokalitě Osypané břehy nedaleko Strážnice z hloubky 8 m pod povrchem z odkrytého profilu s eolickými, eolickofluviálními a lakustrinními sedimenty.
- Vzorek M10 byl odebrán z pískovny mezi obcemi Litenčice a Nítkovice. Jedná se o terciérní mořské sedimenty karpátu.
- Vzorek M11 byl odebrán ze sedimentů středního toku řeky Olšavy. Řeka v místě odběru protéká sprašovými sedimenty.
- Vzorek M12 byl odebrán z břehu řeky Moravy (střední tok) nedaleko Mikulčic.
- Vzorek M13 byl odebrán ze středního toku řeky Jevišovky v obci Plaveč.



Obr. 1: Mapa s vyznačeným odběrem vzorků (upraveno podle <http://www.zemepis-vorlicek.estranky.cz/file/39/cr-vodstvo.jpg>)

Fig. 1: The map showing the sampling (adapted from <http://www.zemepis-vorlicek.estranky.cz/file/39/cr-vodstvo.jpg>).

- Vzorek M14 byl odebrán z duny na poušti Rub' al-Khali, patřící do Spojených arabských emirátů, mezi městy Dubai a Al Ain.

**Výsledky pozorování**

Odebrali jsme vzorky písků z předpokládaných geneticky odlišných prostředí lokalit Trapíkov a Hradisko v Mikulčicích. Některé vzorky byly z místa duny (M0, M1, M2, M3, M5), tedy eolické sedimenty. Další byly z místa, kde je přeplavená duna (M4) a jeden vzorek (M7) přímo z místa, kde v minulosti řeka obtékala dunu, tedy teoreticky fluviální sediment.

Barva sedimentů byla určena za sucha podle Munsellových tabulek barevnosti půd (tab. 1). Odstíny se pohybují od žlutohnědých po hnědé. Z hlediska barevnosti zrn se vyskytovala zrna čirá, mléčně bílá, nažloutlá a narezivělá u všech vzorků. Zrnitost byla provedena pomocí sítování a pipetovací metodou z navážky 20 g podle Jandák et al. (2009). U vzorků převažuje písčité frakce s jemnou příměsí prachu a jílu (tab. 1).

U vzorků bylo sledováno 28 vlastností (tab. 2), z nichž byl dále proveden kvantitativní součet.

Ordinační diagram znázorňuje zkoumané vzorky (M0–M14) promítnuté do dvourozměrného prostoru na základě podobnosti/nepodobnosti četnosti výskytu jednotlivých typů mikrotextur (obr. 2). Vzorky podobné z hlediska četnosti výskytu jednotlivých mikrotextur leží v grafu blízko sebe, nepodobné naopak daleko od sebe (obr. 3). Ukázky mikrotextur jsou zachyceny na obrázcích 4, 5 a 6.

Tab. 1: Zrnitost a barva odebraných vzorků (dle Munsellových tabulek barevnosti půd 2000).

Tab. 1: The granularity and colour of the samples (according to Munsell Soil Color Charts 2000).

č. vzorku	< 0,004 [mm]	0,004–0,063 [mm]	0,063–2,000 [mm]	barva
M0	4,1	3,6	92,3	10 YR 6/4
M1	3,4	3,7	92,9	10 YR 5/3
M2	4,6	8,0	87,4	10 YR 5/4
M3	3,1	4,4	92,4	10 YR 5/4
M4	6,6	5,7	87,7	10 YR 5/4
M5	4,1	4,2	91,7	10 YR 5/4
M7	1,2	0,5	98,3	10 YR 6/3
M8	5,2	1,8	93,0	10 YR 6/4
M9	5,5	0,9	93,6	10 YR 6/4
M10	5,8	7,6	86,6	2,5 Y 6/4
M11	6,0	10,2	83,8	2,5 Y 5/3
M12	11,8	37,7	50,5	2,5 Y 5/3
M13	6,6	10,5	82,9	10 YR 5/3
M14	0,2	0,5	99,3	10 YR 8/1

Tab. 2: Četnost mikrotextur u jednotlivých vzorků.

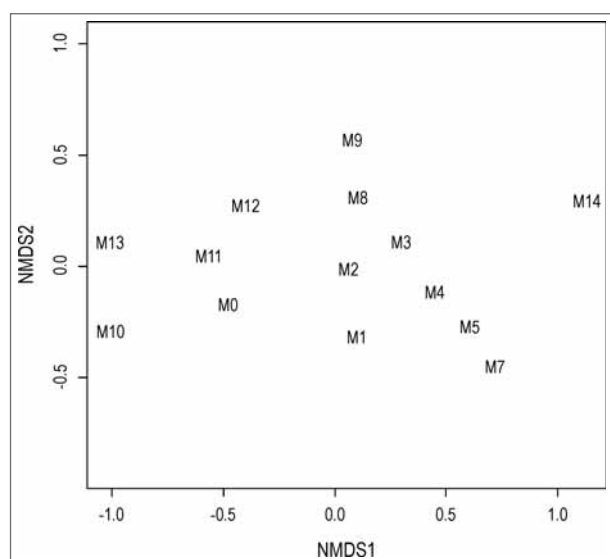
Tab. 2: The frequencies of microtextures of samples.

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
ostrohranné	15	4	2	1	1	1	5	1	0	58	23	13	34	0
polostrohranné	33	26	19	15	26	17	19	10	11	26	38	27	50	4
polooválné	30	30	35	47	36	36	30	49	44	14	26	31	15	30
oválné	22	36	41	37	35	46	46	40	45	2	13	29	1	52
dokonale oválné	0	4	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	14
nízký reliéf	25	28	45	53	67	74	68	55	57	5	20	40	9	77
střední reliéf	54	43	38	41	29	24	31	44	43	41	67	55	73	23
vysoký reliéf	21	28	17	6	4	2	1	1	0	54	12	5	18	0
lasturnatý lom	10	14	12	18	25	23	30	3	5	25	19	12	23	16
rovné stupně	36	25	24	19	24	24	36	14	10	46	42	23	58	18
obloukové stupně	65	35	35	13	37	43	45	49	59	69	64	48	68	37
abraze hran	34	37	27	26	17	16	18	4	2	30	30	15	37	2
V - jamky	44	61	65	81	62	70	72	58	44	26	35	46	24	96
mísovitě jamky	31	62	62	33	42	35	34	47	30	5	14	25	16	45
srpkovité tvary	1	8	5	12	0	8	7	0	0	0	0	0	1	21
klikaté hřbítky	52	24	36	53	56	45	37	43	26	35	42	69	58	4
paralelní rýhy	3	2	2	7	4	1	4	0	0	0	0	0	3	6
rovné brázdy	42	62	44	49	55	60	57	48	46	8	32	23	24	41
obloukové brázdy	1	13	5	4	6	13	7	3	7	6	2	3	4	1
štěpné plátky	20	3	5	1	1	0	0	0	1	1	1	1	2	7
tečkování	27	41	50	66	64	78	78	78	89	29	41	44	12	97
orientované vyleptané jamky	12	2	2	1	3	2	1	0	1	1	2	0	0	0
nárůsty krystalů	0	4	17	19	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
přilnavé částice	81	68	63	58	34	59	34	80	73	72	79	95	97	37
křemičité globule	76	35	68	55	32	22	11	76	93	78	84	99	98	4
křemičité skrývky	30	80	78	62	94	90	69	54	37	39	61	81	64	12
křemičité povlaky	34	25	19	10	26	59	76	2	0	0	10	1	1	18
puklinové plochy	28	12	7	4	10	18	14	4	4	20	12	13	5	2

Srovnáme-li jednotlivé vzorky M0–M7 mezi sebou (obr. 3 a tab. 2), zjistíme, že u všech je minimální zastoupení ostrohranných a dokonale oválných zrn, která u některých vzorků i zcela chybí. Nejvíce ostrohranných zrn má vzorek M0 (obr. 7A, B). U všech vzorků je největší zastoupení oválných a polooválných zrn. U většiny vzorků převládá nízký a střední reliéf. Vzorky M0 a M1 mají nejméně zrn s nízkým reliéfem a nejvyšší počet zrn s vysokým reliéfem. Největší množství zrn s nízkým reliéfem má vzorek M5 a M7 (obr. 8B, C, D), které mají zároveň i nejméně zrn s vysokým reliéfem a největší množství oválných zrn. Nejvíce zastoupenými mikrotextrami jsou křemičité skrývky, V – jamky a tečkování. Mezi dalšími mikrotextrami převládají rovné brázdy, přilnavé částice, mísovité jamky, klikaté hřbítky, křemičité globule a povlaky a obloukové stupně. Celkově je u všech vzorků velké zastoupení nárůstových křemičitých mikrotextr. Nejmenší je výskyt štěpných plátek, orientovaných vyleptaných jamek, paralelních rýh a srpkovitých tvarů.

Z hlediska četnosti jednotlivých mikrotextr jsou si velmi podobné vzorky M5 a M7. Vzorky M4, M5 a M7 mají velmi shodné zastoupení nejčetnějších mikrotextr (nízký reliéf, V – jamky, klikaté hřbítky, rovné brázdy, tečkování, přilnavé částice, křemičité skrývky). Podle Euklidovských vzdáleností je vzorek M0 nejpodobnější vzorku M2, vzorek M1 vzorku M2, vzorek M3 vzorku M2, vzorek M4 vzorku M5, vzorek M5 vzorkům M7 a M4 a vzorek M7 je nejpodobnější vzorku M5. Naopak nejvíce se od sebe odlišuje vzorek M0 a vzorek M7.

Vzorky M8 a M9 byly odebrány ze stejného profilu, z různých hloubek, mají podobné zastoupení převládajících mikrotextr i těch s téměř nulovým výskytem.



Obr. 2: Ordinační diagram vytvořený metodou NMDS na základě euklidovských vzdáleností vzorků mezi sebou (viz tab. 3).

Fig. 2: Ordination diagram of NMDS analysis based on the Euclidean distance among individual samples (see Tab. 3).

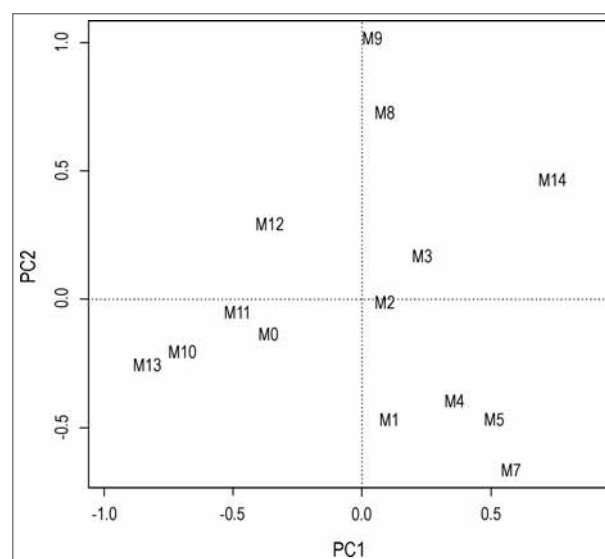
Tab 3: Euklidovské vzdálenosti (nepodobnosti) jednotlivých vzorků mezi sebou. Tab. 3: The Euclidean distance (dissimilarity) among individual samples.

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14
M0	0	0,98	0,93	1,11	1,25	1,34	1,38	1,02	1,09	0,94	0,61	0,87	0,88	1,66
M1	0,98	0	0,51	0,81	0,80	0,90	1,02	0,95	1,19	1,39	1,03	1,11	1,39	1,35
M2	0,93	0,51	0	0,57	0,69	0,89	1,06	0,65	0,91	1,38	0,95	0,84	1,34	1,30
M3	1,11	0,81	0,57	0	0,67	0,86	1,01	0,68	0,93	1,54	1,11	0,97	1,53	1,13
M4	1,25	0,80	0,69	0,67	0	0,53	0,70	0,92	1,16	1,64	1,23	1,15	1,64	1,22
M5	1,34	0,90	0,89	0,86	0,53	0	0,44	1,02	1,22	1,80	1,40	1,32	1,83	1,15
M7	1,38	1,02	1,06	1,01	0,70	0,44	0	1,22	1,37	1,82	1,48	1,54	1,92	1,05
M8	1,02	0,95	0,65	0,68	0,92	1,02	1,22	0	0,42	1,47	0,99	0,79	1,43	1,22
M9	1,09	1,19	0,91	0,93	1,16	1,22	1,37	0,42	0	1,45	1,03	0,94	1,49	1,27
M10	0,94	1,39	1,38	1,54	1,64	1,80	1,82	1,47	1,45	0	0,78	1,16	0,82	1,99
M11	0,61	1,03	0,95	1,11	1,23	1,40	1,48	0,99	1,03	0,78	0	0,63	0,55	1,77
M12	0,87	1,11	0,84	0,97	1,15	1,32	1,54	0,79	0,94	1,16	0,63	0	0,88	1,80
M13	0,88	1,39	1,34	1,53	1,64	1,83	1,92	1,43	1,49	0,82	0,55	0,88	0	2,23
M14	1,66	1,35	1,30	1,13	1,22	1,15	1,05	1,22	1,27	1,99	1,77	1,80	2,23	0

Z hlediska Euklidovských vzdáleností jsou si velmi blízké. Vzorek M8 (obr. 8E) je trochu více podobný vzorkům z lokality Mikulčice, než vzorek M9. Oba tyto vzorky, M8 i M9, jsou však více podobné vzorkům M0–M7 než zbývající vzorky M10–M14. Vzorek M10 je charakterem svých mikrotextr nejvíce podobný vzorku M11, M13 a M0, nejméně je podobný vzorku M14. Vzorku M11 je velmi podobný vzorek M13, M0 a M12 a nejvíce od něj odlišný je M14 a M7.

Vzorek M12 je nejbliže podobný vzorku M11 a nejvzdálenější je vzorku M14 (obr. 9). Vzorek M13 je nejbliže podobný vzorku M11 a nejvzdálenější vzorku M14. Vzorek M14 má největší zastoupení dokonale oválných zrn. Nejvíce je podobný vzorku M7, nejméně pak vzorku M13.

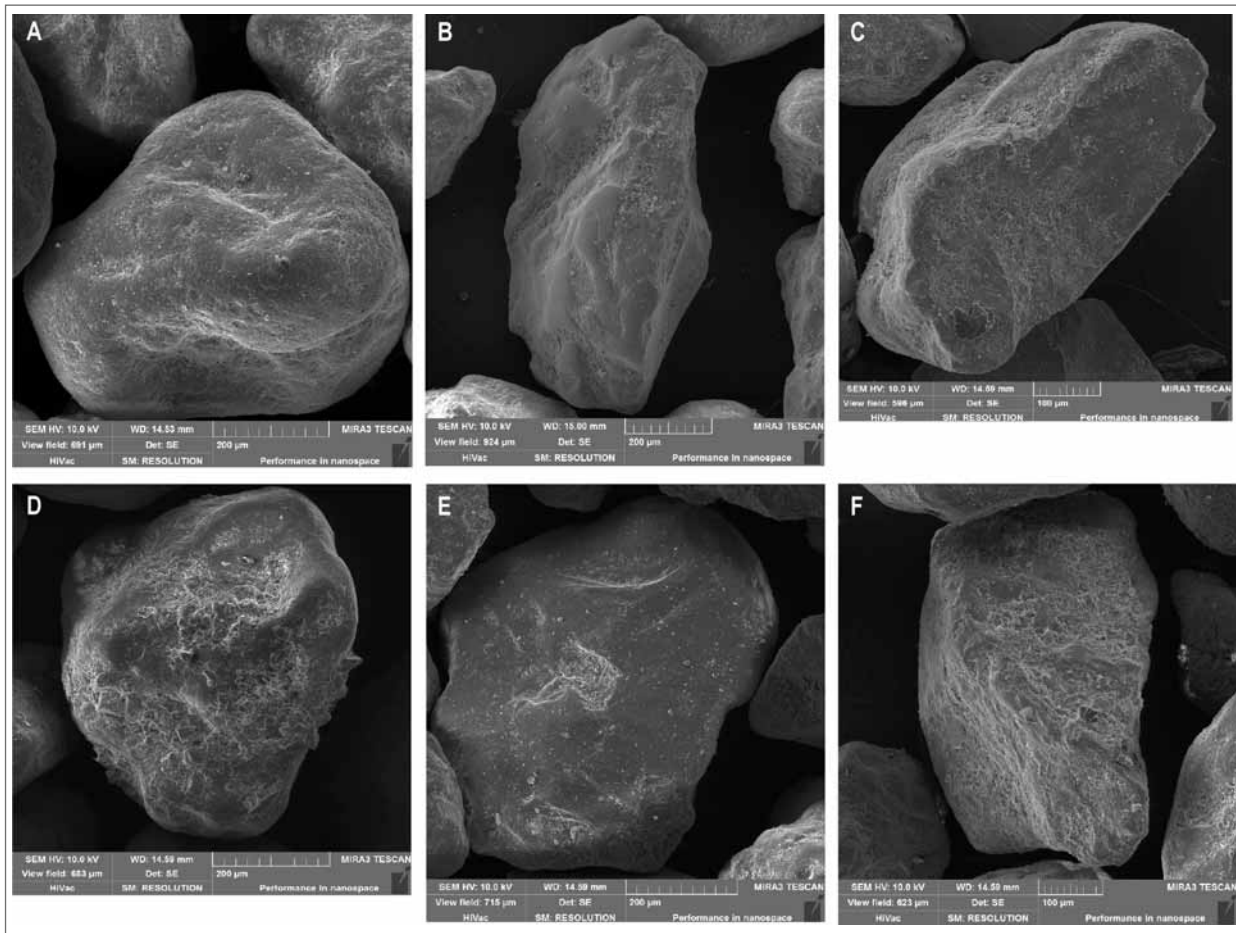
Pozorováním pod stereomikroskopem jsme zjistili, že téměř u všech těchto vzorků se na zrnech vyskytují povlaky rezivé barvy. Tyto byly podrobněji zkoumány pod elektronovým mikroskopem. Pomocí detektoru firmy Bruker byla vykreslena mapa prvků těchto povlaků.



Obr. 3: Podobnosti vzorků na základě euklidovských vzdáleností mezi sebou.

Fig. 3: The similarity of samples based on the Euclidean distance among individual samples.





Obr. 4: A – Vzorek M1, tečkování a ohlazené V – jamky, obloukové stupně a přilnavé částice; B – vzorek M1, ohlazený povrch, rovná brázda, přilnavé částice a křemičité skryvky; C – detail křemenného zrna u vzorku M1, rovné stupně, přilnavé částice, křemičité globule a skryvky, lasturnatý lom a tečkování; D – vzorek M2, velmi výrazné křemičité skryvky až nárůsty krystalů, tečkování; E – vzorek M2, vyhlazený povrch s lasturnatým lomem, obloukovými stupni a přilnavými částicemi; F – Vzorek M2, výrazné křemičité skryvky a globule (autor Králová).

Fig. 4: A – Sample M1, pitting and smoothed V-shaped pits, arcuate steps and adhering particles; B – Sample M1, smoothed surface, straight grooves, adhering particles and silica capping; C – Sample M1, detail of the quartz grain, straight steps, adhering particles, silica globules and capping, conchoidal fracture and pitting; D – Sample M2, very significant silica capping up to quartz crystal overgrowths, pitting; E – Sample M2, smoothed surface with conchoidal fracture, arcuate steps and adhering particles; F – Sample M2, significant silica capping and globules (author Králová).

Složením se jedná o dále neurčovanou formu  $\text{SiO}_2$ , tvořící na zrnech povlaky.

### Diskuze

Pozorováním a porovnáváním zrn ve vzorcích se zjistilo, že prakticky ve všech vzorcích převažovala zrna matná a pololesklá nad lesklými. Lesklá zrna byla většinou ta rozlomená s puklinovými plochami a lasturnatým lomem. Matnost zrn způsobilo ořukání a vznik impaktních struktur (např. Lisá 2004). Zaoblením se zrna jevila spíše jako poloostrohranná, polooválná a oválná. Oválná zrna měla u některých vzorků tvar spíše pravidelné kuličky (M2, M4, M5) a u některých spíše tvar protažený (M1, M7).

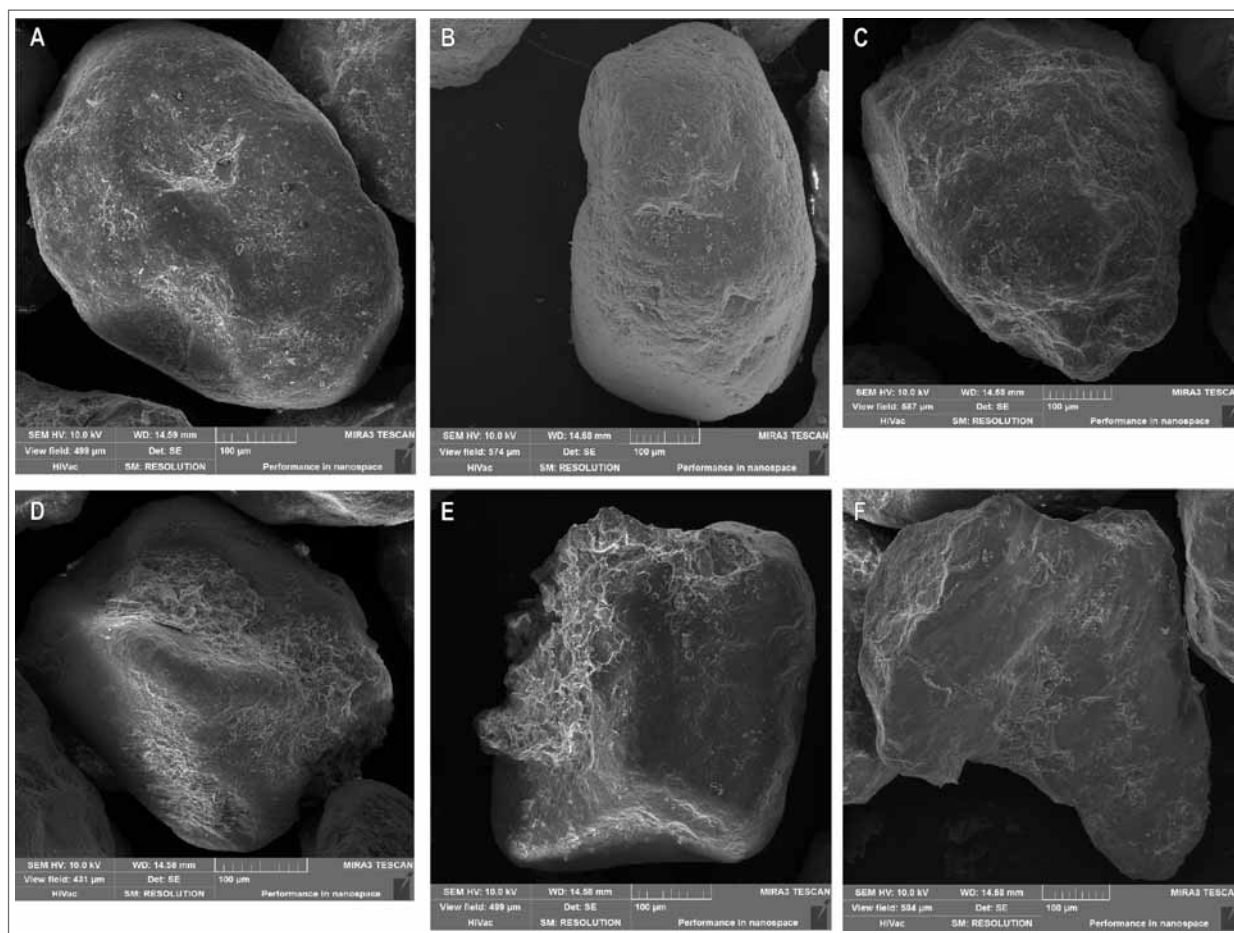
Další patrnou mikrotextrou u zrn byly křemičité povlaky, ty souvisí se sedimentací ve stojatém vodním prostředí (např. Baron et al. 2011), ale jsou pozorované i na eolických písčných zrnech (Le Ribault 2003).

Srovnáním jednotlivých vzorků z Mikulčic mezi sebou se zjistilo, že u všech vzorků je minimální zastou-

pení ostrohranných zrn a dokonale oválných zrn, která u některých vzorků zcela chybí. U všech vzorků je největší zastoupení oválných a polooválných zrn. Tento jev je typický pro eolické sedimenty (např. Křížová et al. 2011; Krinsley – Trusty 1985). U většiny vzorků převládá nízký a střední reliéf, což rovněž svědčí pro eolický transport (např. Křížová et al. 2011; Baron et al. 2011).

Vzorky M0 a M1 mají nejnižší zastoupení zrn s nízkým reliéfem a nejvyšší počet zrn s vysokým reliéfem (obr. 7A, B, C). Těmito znaky by spíše odpovídaly fluvialním sedimentům (Křížová et al. 2011; Zaghloul et al. 2009). Zároveň mají tyto vzorky ale poměrně vysoké zastoupení brázd i stupňů, čímž by odpovídaly spíše eolickým sedimentům (např. Křížová et al. 2011; Baron et al. 2011).

Největší množství zrn s nízkým reliéfem mají vzorky M5 a M7, které mají zároveň i nejméně zrn s vysokým reliéfem (obr. 8B, C, D). Podobnost těchto vzorků byla pozorována již stereomikroskopem. Mají ze zkoumaných vzorků nejvíce mikrotextru inklinujících k eolickým



Obr. 5: A – vzorek M2, oválné zrno, tečkování, V – jamky, přilnavé částice, křemičité skrývky; B – vzorek M3, oválné zrno, výrazné V – jamky a tečkování, přilnavé částice a křemičité povlaky; C – vzorek M3, poloostrohranné zrno, rovné a obloukové stupně, mísovitě jamky, přilnavé částice, křemičité globule a skrývky; D – vzorek M4, oválné zrno s výraznými křemičitými skrývkami, povlaky a tečkováním; E – vzorek M4, oválné zrno s výraznými křemičitými skrývkami, povlaky, mísovitými jamkami a tečkováním; F – vzorek M4, rozlomené ostrohranné zrno, abraze hran, lasturnatý lom, přilnavé částice, křemičité skrývky (autor Králová).

Fig. 5: A – Sample M2, rounded outline, pitting, V-shaped pits, adhering particles, silica capping; B – Sample M3, rounded outline, significant V-shaped pits and pitting, adhering particles and silica pellicle; C – Sample M3, subangular outline, straight and arcuate steps, dish-shaped breakage concavities, adhering particles, silica globules and capping; D – Sample M4, rounded outline with a significant silica capping, pellicle and pitting; E – Sample M4, rounded outline with the significant silica capping, pellicle, dish-shaped breakage concavities and pitting; F – Sample M4, broken high relief grain, edge abrasion, conchoidal fracture, adhering particles, silica capping (author Králová).

sedimentům. Křemičité nárůsty u těchto vzorků nejsou až tak výrazné v porovnání s ostatními. U vzorku M7 lze ojediněle pozorovat rozpraskání povlaků, které může být znakem pro zvětrávání sedimentu.

Nejvíce zastoupenými mikrotextrurami jsou u vzorků M0 – M7 křemičité skrývky, V – jamky a tečkování (obr. 4, 5, 6). Křemičité skrývky jsou mikrotextrurou vznikající ve vodním prostředí o nízké kinetické energii (Křížová et al. 2011). Nacházíme se v oblasti dolního toku Moravy a lze tedy předpokládat nižší energii toku, případně až možnou stagnaci v pozdním pleistocénu (Kadlec et al. 2011). Celkově je u všech vzorků velké zastoupení nárůstových křemičitých mikrotextrur.

Použijeme-li ke srovnání vzorky z moravských lokalit, zjistíme následující. Vzorek M0 je nejbližší vzorkům M11, M12 a M13 (obr. 9), které odpovídají střednímu toku řek. Tento vzorek tedy spíše inklinuje k fluvialním sedimentům. Jedná se o vzorek, který je nejvíce odlišný od vzorků

z Míkulčic. Vzorek M1 (obr. 4A, B, C) je nejbližší vzorku M8 (obr. 8E), který odpovídá eolickým, eolickofluviálním a lakustrinním sedimentům. Vzorek M2 (obr. 4D, E, F) se rovněž nejvíce podobá vzorkům M8 a M12, tedy eolickým, eolickofluviálním a lakustrinním sedimentům. Vzorek M3 (obr. 5B, C) se nejvíce podobá vzorku M8 a M9. Stejně tak i vzorek M4 (obr. 5D, E, F) a M5 jsou nejvíce podobné vzorku M8 (obr. 8E). Vzorek M7 (obr. 6A, B) je rovněž podobný vzorku M8 a nejvíce ze všech vzorků z Míkulčic vzorku M14, tedy eolickému pouštnímu písku (obr. 6C, D).

V – jamky jsou mikrotextrurou typickou pro eolické sedimenty. Mohou se vyskytovat i u fluvialních sedimentů, v případě vysoké energie toku. V – jamky i jiné impaktní struktury u fluvialních sedimentů pak bývají výrazně větší a hlubší, což není případ námi studovaných vzorků. Tečkování je mikrotextrurou typickou pro eolické sedimenty (Lisá 2004).

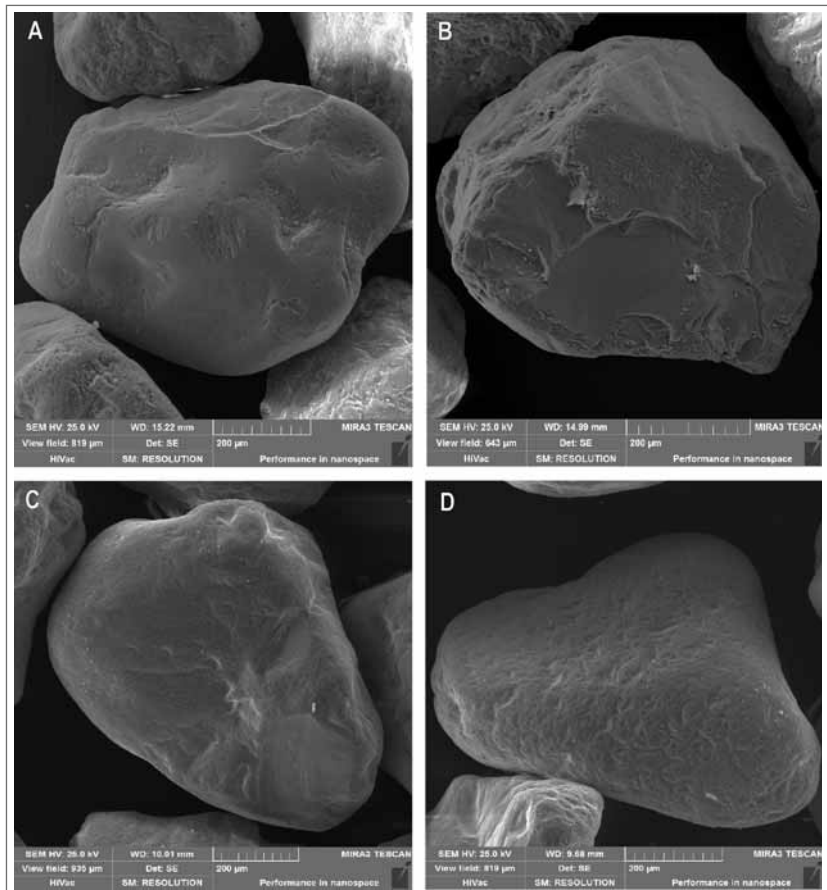
Mezi dalšími mikrotextrami převládají rovné brázdy, přilnavé částice, mísovitě jamky, klikaté hřbítky, křemičité globule a povlaky a obloukové stupně. Jedná se o mikrotextru vyskytující se u eolických sedimentů (Křížová et al. 2011).

Už i při malé délce transportu vznikají na zrnech impaktní struktury. Ke vzniku dun v údolní nivě Dyje i Moravy dochází vyvátím z podložních svrchnopleistocenních fluvialních štěrků (Nehyba – Havlíček 2001; Havlíček 2006). Jejich sedimentace, s různě dlouhými hiáty pokračovala až do spodního a středního holocénu. Ukládaly se vždy jen na povrchu fluvialních písčitých štěrků, ne na povodňových hlínách (Havlíček 2006). Při povodních docházelo i k částečnému či úplnému rozplavení navátých písků a ukládaly se povodňové hlíny (Adamová – Havlíček 2002). Podle Nehyby – Havlíčka (2001) byly duny částečně připoutané (adheze) a jejich migrace byla málo výrazná. Tento jev byl způsoben periodickým kolísáním hladiny podzemní vody. Tito autoři uvádí průměrnou velikost zrn 0,3–0,7 mm, kdy již dochází k pohybu částic většinou povrchovým krípem, přičemž nejsnadněji se při větrném proudění pohybují saltací písčinná zrna o průměru 0,1–0,3 mm. Costa et al. (2013) srovnávají křemenná zrna opracovávaná v experimentálním tunelu s eolickými zrny křemene z pobřežní duny. Přicházejí na to, že i poměrně malá vzdálenost transportu v poměrně malém časovém úseku, zanechává na zrnech výrazné mikrotextru. Křemenná zrna z portugalského pobřeží ukazují typické mikrotextrní znaky, jako silné zaoblení, zakulacené hrany, silné rozpouštění (naleptání), nárazové deprese a přítomnost četných přilnavých částic.

V roce 2012 byla provedena srovnávací studie povrchu křemenných zrn na lokalitách pouští Gobi a Rub 'al-Khali (Šušolová et al. 2013). Zrna z pouště Rub 'al-Khali jsou matná, případně pololesklá a převládají polooválná až oválná zrna. Srovnáme-li vzorky z Mikulčické duny se vzorky typické duny z pouště Rub 'al-Khali, nalezneme četné rozdíly. U vzorků z pouště Rub 'al-Khali se prakticky vůbec nevyskytují křemičité nárůsty, zato převládají V – jamky, tečkování, rovné brázdy a mísovitě jamky.

**Závěr**

Odebrané vzorky písků z geneticky odlišných prostředí lokality Mikulčice byly podrobeny studiu nejprve

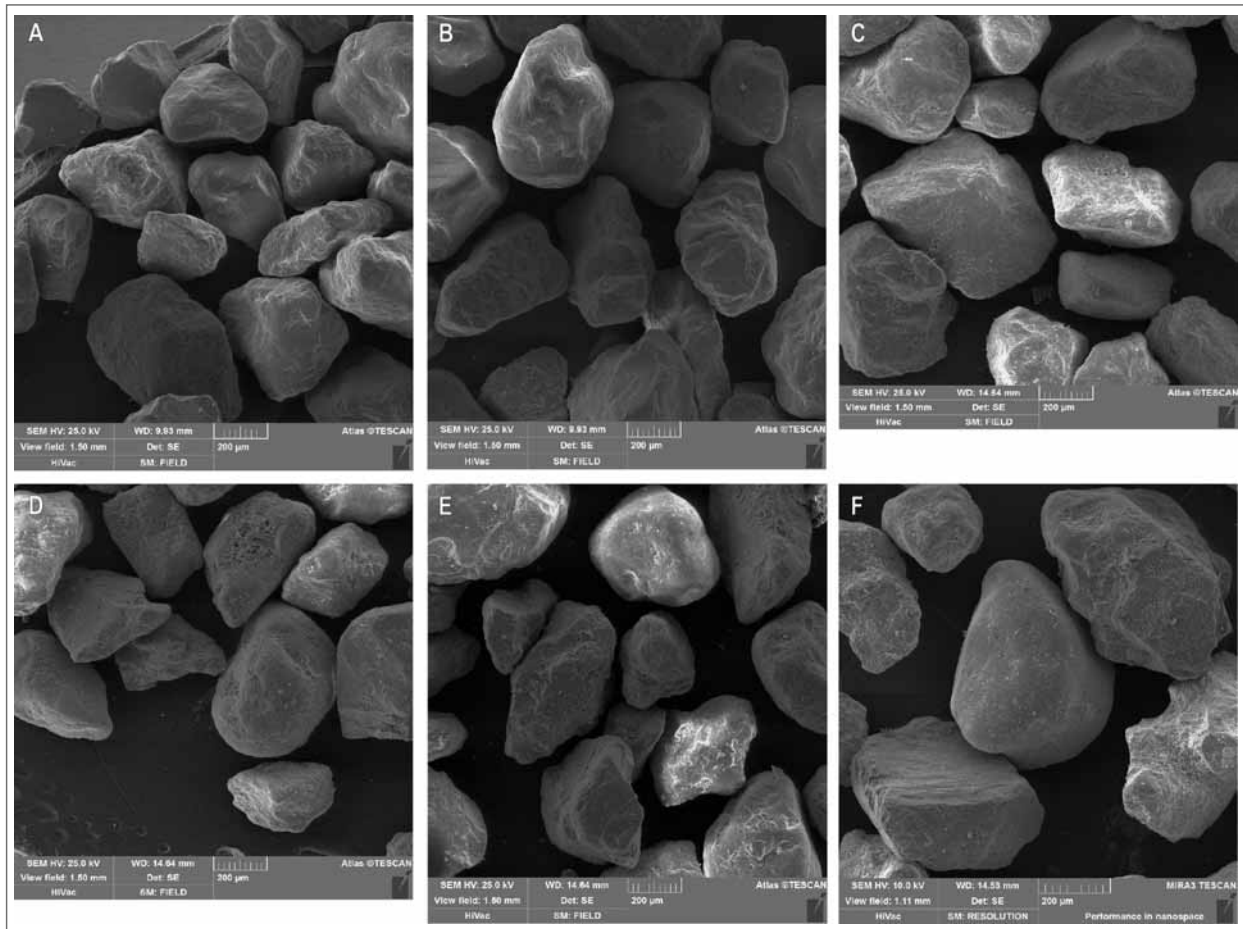


Obr. 6: A – Vzorek M7, oválné zrno, zčásti odlomené s lasturnatým lomem, V – jamky, srpkovité tvary, přilnavé částice, křemičitý povlak; B – vzorek M7, polooválné zrno, lasturnatý lom, rovné a obloukové stupně, přilnavé částice, křemičité globule, křemičitý povlak; C – vzorek M14, detail povrchu křemenného zrna z pouště Rub 'al-Khali: polooválné zrno, lasturnatý lom, V – jamky a tečkování; D – vzorek M14, detail povrchu křemenného zrna z pouště Rub 'al-Khali: dokonale oválné zrno, V – jamky, mísovitě jamky, tečkování a srpkovité tvary (autor Králová).

Fig. 6: A – Sample M7, rounded outline, partially broken with conchoidal fracture, V – shaped pits, crescent-shaped features, adhering particles, silica pellicle; B – Sample M7, subrounded outline, conchoidal fracture, straight and arcuate steps, adhering particles, silica globules, silica pellicle; C – Sample M14, detail of the quartz grain from the Rub 'al-Khali desert: subrounded outline, conchoidal fracture, V – shaped pits, pitting; D – Sample M14, detail of the quartz grain from the Rub 'al-Khali desert: perfectly rounded outline, V – shaped pits, dish-shaped breakage concavities, pitting, crescent-shaped features (author Králová).

pod stereomikroskopem a poté autoemisním elektro- novým mikroskopem MIRA3. Na zrnech lze pozorovat ohlazené V – jamky a impaktní struktury, u některých až hladký povrch. Lze pozorovat, že zrna prošla procesem, díky kterému se na nich objevily impaktní struktury, došlo k jejich rozlomení, vznikl lasturnatý lom či abraze hran atd., a poté byla zrna potažena křemičitými povlaky, skrývkami či u nich došlo k nárůstům krystalů, vyplňujících právě impaktní nerovnosti zrna. Na základě výsledků výzkumu je patrné, že vývoj sedimentů v rámci Slovanského Hradiště v Mikulčicích probíhal ve velmi podobném sedimentárním prostředí. V tomto prostředí hrál významnou roli eolický transport a důležitý byl rovněž i fluvialní transport o nižší kinetické energii. Psamitické sedimenty v této oblasti prošly vývojem v několika sedimentárních prostředích a nelze





Obr. 7: Detail křemenných zrn u vzorků: A, B/ M0 – Trapíkov; C/ M1 – Trapíkov; D/ M2 – Hradisko; E/ M3 – Hradisko; F/ M4 – Hradisko (autor Králová).

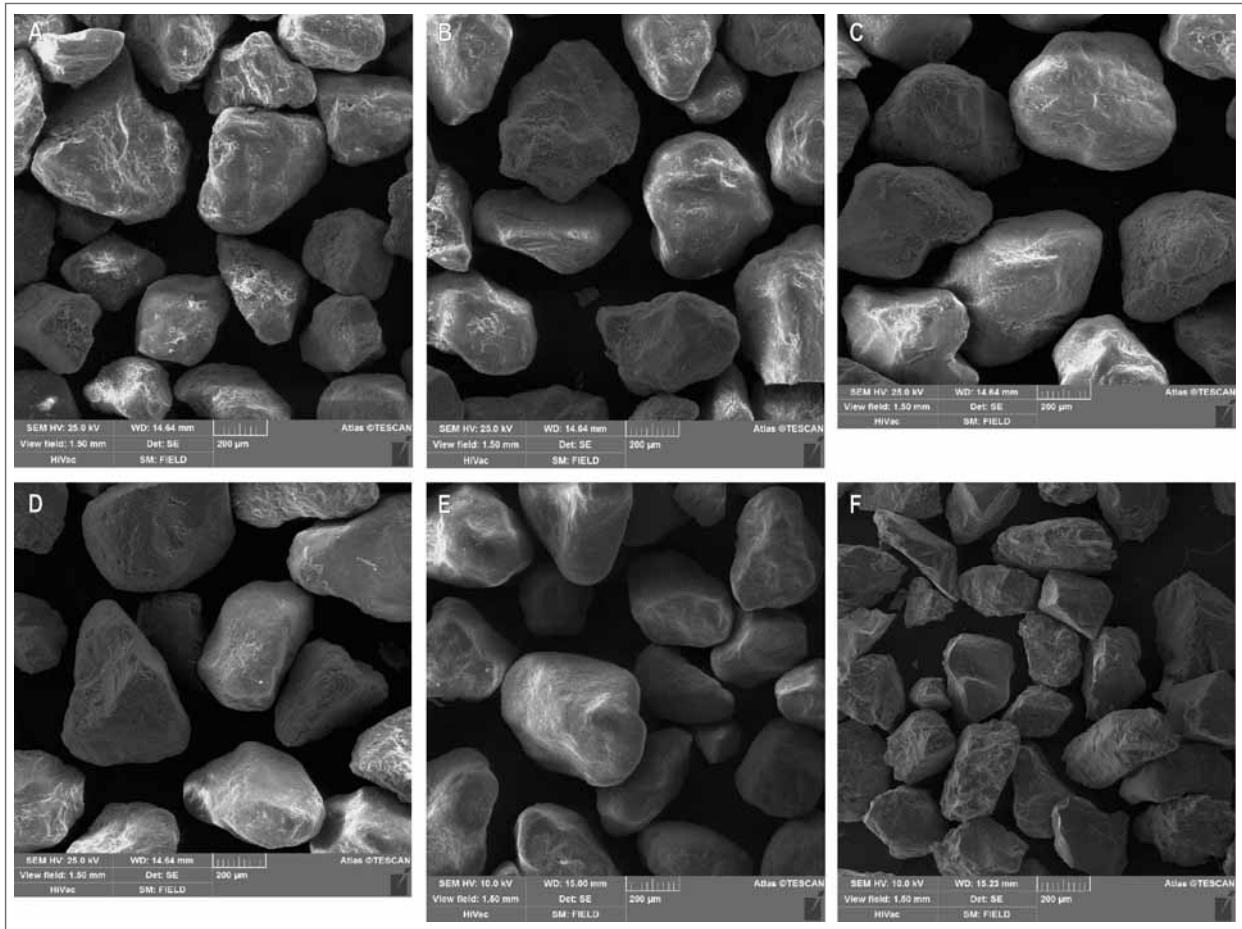
Fig. 7: Detail of the quartz grains from the samples: A, B/ M0 – Trapíkov; C/ M1 – Trapíkov; D/ M2 – Hradisko; E/ M3 – Hradisko; F/ M4 – Hradisko (author Králová).

je z hlediska původu přiřazovat k sedimentům jednoznačně geneticky daným.

#### Poděkování

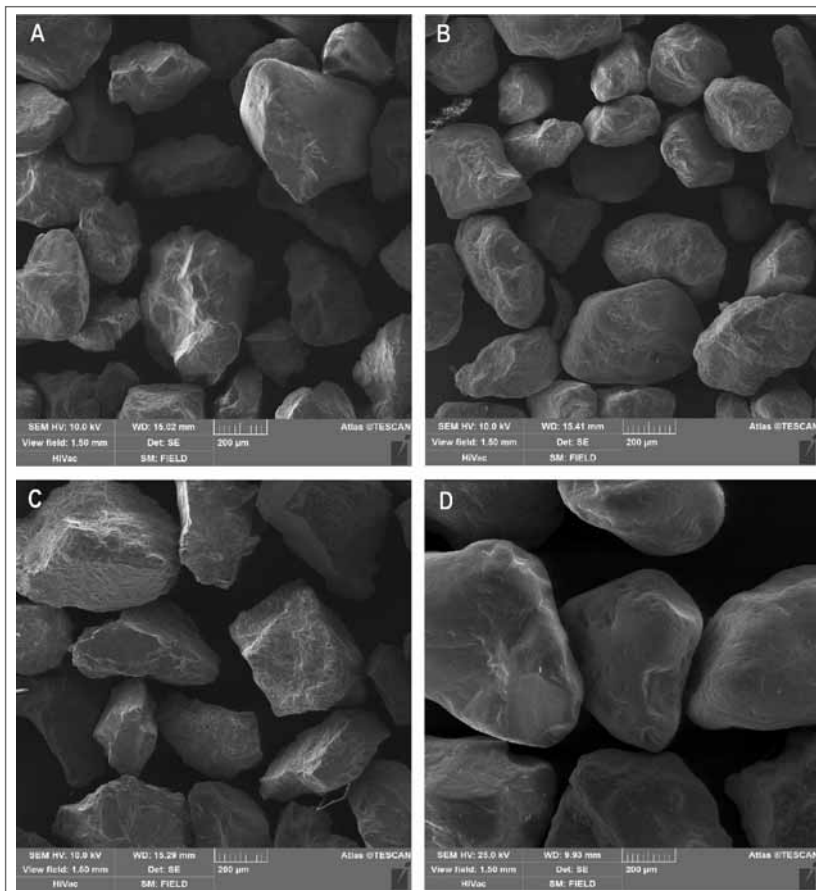
*Chtěli bychom poděkovat firmě Tescan za umožnění výzkumu na autoemisním elektronovém mikroskopu a Karlu Maroszovi za určení zrnitosti pipetovací metodou. Poděkování patří i recenzentům za podnětné připomínky a především finanční podpoře projektu Moravského zemského muzea. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862).*





Obr. 8: Detail křemenných zrn u vzorků: A/ M4 – Hradisko; B/ M5 – Hradisko; C, D/ M7 – Hradisko; E/ M8 – Osypané břehy A; F/ M10 – Litenčice (autor Králová).

Fig. 8: Detail of the quartz grains from the samples: A/ M4 – Hradisko; B/ M5 – Hradisko; C, D/ M7 – Hradisko; E/ M8 – Osypané břehy A; F/ M10 – Litenčice (author Králová).



Obr. 9: Detail křemenných zrn u vzorků: A/ M11 – Olšava; B/ M12 – Morava; C/ M13 – Jevišovka; D/ M14 – Rub´al-Khali (autor Králová).

Fig. 9: Detail of the quartz grains from the samples: A/ M11 – Olšava; B/ M12 – Morava; C/ M13 – Jevišovka; D/ M14 – Rub´al-Khali (author Králová).

## Literatura

- Adamová, M. – Havlíček, P. (2002): Geochemický výzkum subfosilní polygenetické pseudočernozemě a navátých písků při soutoku Dyje s Moravou („Barvinkův hrúd“). – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2001, 117–118.
- Atkinson, O. A. C. – Thomas, D. S. G. – Goudie, A. S. – Bailey, R. M. (2011): Late Quaternary chronology of major dune ridge development in the northeast Rub' al-Khali, United Arab Emirates. – *Quaternary Research*, 76, 93–105.
- Baron, J. C. – Grab, S. W. – Kuman, K. (2011): Surface texture analysis of southern Tuli Basin sediments: Implications for Limpopo Valley geoarchaeological contexts. – *Journal of African Earth Sciences*, 59, 384–394.
- Costa, P. J. M. – Andrade, C. – Mahaney, W. C. – Marques da Silva, F. – Freire, P. – Freitas, M. C. – Janardo, C. – Oliveira, M. A. – Silva, T. – Lopes, V. (2013): Aeolian Microtextures in Silica Spheres Induced in Wind Tunnel Experiment: Comparison with Aeolian Quartz. – *Geomorphology*, 180–181, 120–129.
- Havlíček, P. (2006): Přírodní park Niva Dyje (jižní část): geologie kvartérních sedimentů a vývoj údolní nivy. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2005, 71–73.
- Havlíček, P. – Peška, J. (1992): K osídlení dun v soutokové oblasti Moravy s Dyjí. – *Jižní Morava* 28, sv. 31, 239–249.
- Havlíček, P. – Zeman, A. (1986): Kvartérní sedimenty moravské části vídeňské pánve. – *Sborník geologických věd, Antropozoikum*, 17, 9–41.
- Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. – 436 s. Academia. Praha.
- Jandák, J. a kol. (2009): Cvičení z půdoznalství. – *Ediční středisko Mendelova univerzita v Brně*. Brno.
- Kadlec, J. a kol. (2011): Late Glacial lacustrine and fluvial processes in the Lower Moravian Basin (Czech Republic). – Poster z konference Reconciling modern and Quaternary rates of landscape evolution, 21. - 27. 7. 2011, Bern. (INQUA 2011: session on Quaternary Landscape Evolution)
- Krinsley, D. H. – Trusty, P. (1985): Environmental interpretation of quartz grain surface textures. – In: Zuffo, G. G. (ed.), *Provinces of Arenites*. D. Reidel Publishing Co., Boston, 213–229.
- Křížová, L. – Křížek, M. – Lisá, L. (2011): Význam povrchové analýzy křemenných zrn pro studium geneze nezpevněných sedimentů. – *Geografie*, 116, 1, 59–78.
- Le Ribault, L. (2003): LLR et le G5: Baladesur un grain de sable. – Dostupné na: [http://www.loic-le-ribault.ch/exo\\_balademicroscopique\\_p03.php](http://www.loic-le-ribault.ch/exo_balademicroscopique_p03.php), 10. 8. 2016
- Lisá, L. (2004): Exoscopy of Moravian eolian sediments. – *Bulletin of Geosciences*, 79, 3, 177–182.
- Nehyba, S. – Havlíček, P. (2001): Granulometrie kvartérních sedimentů v soutokové oblasti Moravy s Dyjí. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2000, 1, 84–87.
- Šušolová, J. – Dundek, P. – Hadacz, R. – Králová, V. – Kynický, J. (2013): Srovnávací studie povrchu křemenných zrn na lokalitách pouští Gobi a Rub' al-Khali. – In: Juříčka, D. – Jánošíková, L. – Cihlářová, H. – Brtnický, M. – Kynický, J. (2013): *Scientific research of Mongolia and Central Asia*. 1.vyd., 28–37. Brno.
- Zaghloul, M. N. – Reddad, H. – Critelli, S. (2009): Source-area controls on the composition of beach and fluvial sands on the southern side of the Gibraltar Strait and Western Alboran Sea (Flysch Basin, Internal and External, Domains, Northern Rif Chain). – *Journal of African Earth Sciences*, 55, 36–46.
- ČNI (1990): ČSN 72 1001, Pomenovanie a opis hornín v inžinierskej geológii. – Český normalizační institut. Praha.
- ČNI (1988): ČSN 73 1001, Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy. – Český normalizační institut. Praha.
- Munsell Color (2000): Munsell Soil Color Charts. Revised washable edition, 10 pp + charts, Gretag Macbeth, New Windsor, NY. <http://www.zemepis-vorliceck.estranky.cz/file/39/cr-vodstvo.jpg>, 10. 8. 2016.