

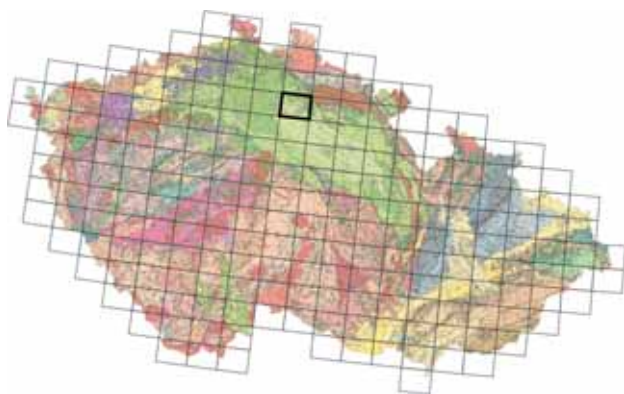
## Šikmé zvrstvení a erozní plochy v pískovcích Příhrazských skal v Českém ráji

### Cross-bedding and erosion surfaces/reactivation surfaces in the sandstones of the Příhrazské skály Cliffs (Bohemian Paradise)

JAROSLAV VALEČKA

Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; jaroslav.valecka@geology.cz

(03-34 Sobotka)



Obr. 1. Mezi planárně šikmo zvrstvené polohy s laminami ukloněnými od 10° do 20° a stejnosměrně orientovanými k VSV se vkládají drobné jednotky se žlabovitým šikmým zvrstvením; mocnost spodní polohy je 65 cm; d. b. CV 036 Srbsko, 1,6 km sv. od středu obce. Foto J. Valečka.

**Key words:** quartzose sandstones, Teplice Formation, Bohemian Cretaceous Basin, Bohemian Paradise (NE Bohemia), cross-bedded units, erosional surfaces, current system

**Abstract:** The quartzose sandstone body forming the Příhrazské skály Cliffs in the Bohemian Paradise area was deposited in the NE part of the shallow-marine Bohemian Cretaceous Basin. The 90–100 m thick body is homogeneous in its lithology, with no intercalations of other lithotypes. Cross-bedding is the main sedimentary structure, forming sets several centimetres to 6 m thick. One set attains the thickness of 25–30 m. Variable orientations of the foreset laminae indicate an interaction of tidal currents, wind-driven currents, storm-induced currents and semipermanent currents. The cross-bedded units are comparable with ripples and sand dunes occurring in modern shelf seas and straits.

Příhrazské skály v Českém ráji jsou denudačním reliktem rozsáhlého, 90–100 m mocného pískovcového tělesa, které je stratigraficky řazeno do teplického souvrství české křídové pánve (ústní sdělení S. Čecha z ČGS). Ukládá se na vápnnité jílovce či na flyšoidní facii (vápnnité jílovce s složkami pískovců) spodní části teplického souvrství, na jeho strop ostře nasedají vápnnité jílovce odpovídající rohateckým vrstvám až březenskému souvrství. Nadložní jílovce nad pískovci jsou kolem vrchu Mužský (k. 463) zachované v mocnosti asi 50 m. Těleso pískovců deskovitého tvaru se formovalo nejméně 20 km na JZ od březní linie české křídové pánve. Je litologicky homogenní, tvoří jej výhradně křemenné pískovce, většinou středně zrnité s kolísavým obsahem hrubozrnné frakce, a podřadně i hrubozrnné s příměsí křemenného štěrčíku. Méně časté jsou jemnozrnné pískovce, a to hlavně v max. 8 m mocné sekvenci, která se nachází uvnitř hruběji zrnitých pískovců ve v. okrajové části skal (tato sekvence byla kartograficky vymezena). Příhrazské skály morfologicky tvoří plošinu rozčleněnou hustou sítí roklí a soutěsek. To umožňuje trojrozměrné sledování proudových a jiných textur, včetně měření textur orientovaných. O sedimentačním prostředí mocných pískovcových těles v české křídové pánvi včetně těch, které se nacházejí v Českém ráji, byly vysloveny dva názory. Valečka (1979), Skoček a Valečka (1983), byť bez jasné definice předpokládají vznik na pískové pláni v mělkém šelfovém protředí, kde se písek díky silnému proudění pohyboval často ve formě různě velkých (vysokých) dun. Uličný (2001) a Uličný, Laurin a Čech (2009) je interpretují jako hrubozrnné delty gilbertovského typu. Za klíč k určení sedimentačního prostředí těles pískovců považujeme definici sedimentárních textur, především proudových, a jejich interpretaci založenou na porovnání s texturami, resp. pískovými útvary v recentním mělkovodním marinním prostředí. Další text uvádí první výsledky výzkumu

šikmého zvrstvení a erozních ploch v Příhrazských skalách, zatím bez statistického zhodnocení jejich rozměrů, orientace spádnic šikmých lamin aj.

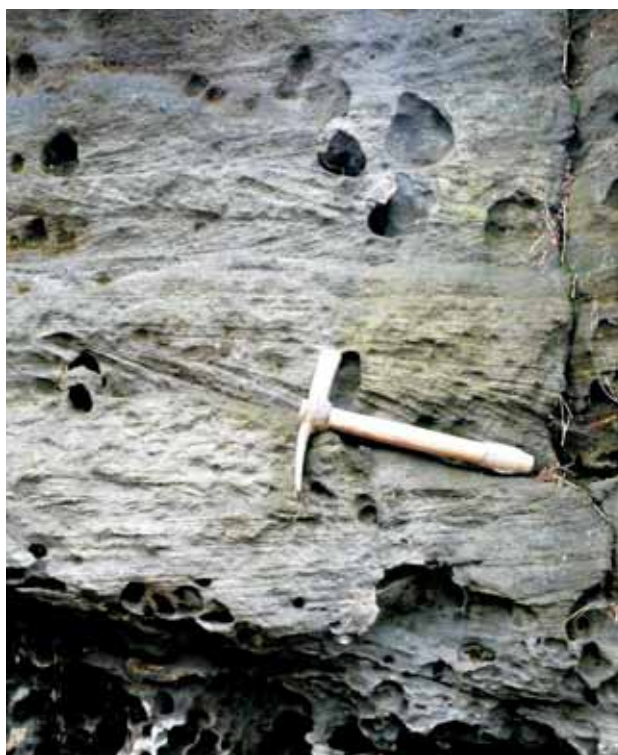
### Šikmo zvrstvené polohy

V Příhrazských skalách jsou dominantní texturou vrstevní jednotky se šikmými laminami. Tyto šikmo zvrstvené polohy jsou obecně interpretovány jako fosilní záznam asymetrických morfologických útvarů, které jsou formovány jednosměrným prouděním a vystupují nad okolní mořské dno (angl. bedforms, BF, např. Mellere – Steel 1996). Tyto útvary migrující ve směru proudění jsou klasifikovány podle výšky, délky hřbetu (orientovaného generálně kolmo k proudění) a vzdálenosti mezi hřbety sousedních útvarů („spacing“).

Šikmo zvrstvené polohy se v Příhrazských skalách vyznačují variabilními rozměry, z nichž lze vždy určit výšku (mocnost) a v případě mocných poloh ojediněle rovněž stabilitu ve směru kolmém k proudění, tj. délku původního hřbetu. Na větších výchozech lze u menších poloh určit i laterální stabilitu; ta je ve fosilním záznamu hodnotou související s délkou migrace, nikoli se vzdáleností hřbetů. Horní hranice poloh byly většinou seřiznuty erozí předcházející uložení nadložní polohy ať již s masivní texturou nebo opět šikmo zvrstvené. Původní hodnoty výšky i laterální stability proto byly větší. Mocnost poloh je velmi variabilní, nejčastěji se pohybuje v několika decimetrech (obr. 1), běžné jsou polohy mocné 1–6 m (obr. 2), resp. jen několik centimetrů. Ojedinělá poloha v údolí Plakánku dosahuje mocnosti 25–30 m (obr. 7). Šikmo zvrstvené polohy se někdy vyskytují izolovaně, vložené do poloh s masivní texturou, častěji je několik poloh naloženo na sebe. Nejvíce naložených poloh bylo zjištěno v 25,5 m mocném profilu 1, 8 km jjv. od Žehrova. (obr. 1). Profil tvoří 27 šikmo zvrstvených poloh, mocných od 10 cm do 2, 5 m, proložených jen dvěma vrstvami decimetrových mocností s masivní texturou. Podle velikosti se pro BF v recentních i fosilních uloženíích užívají značně libovolně různé termíny a klasifikace (z nich nejčastěji klasifikace Ashleyho 1990). Pro naše účely vymezíme termíny čeřiny pro jednotky mocné do 10 cm, velké čeřiny pro jednotky 0,1–1 m mocné, duny pro mocnosti 1–10 m a obří duny pro jednotky s mocností převyšující 10 m. Zjištěné úklony lamin jsou variabilní, nejčastěji se pohybují mezi 10 a 20°, naměřené maximum je 30° v hrubozrnných pískovcích (obr. 2), minima v rozmezí 6–8° jsou v jemně až středně zrnitých pískovcích (obr. 3). Šikmé laminy jsou přímé, méně i tangenciální. Z hlediska tvaru je přítomno planární a výmolové (žlabovité či korytovité) zvrstvení (obr. 1). V současné literatuře je první typ označován jako 2-D bedforms, druhý typ jako 3-D bedforms. Na přechod D-2 BF do D-3 BF má vliv kolísání v množství transportovaného písku, zatímco velikost forem a síla proudění přechody mezi formami neovlivňují (Venditti et al. 2005). Zatím naměřené směry spádnic šikmých lamin ukazují na variabilitu směru proudění. Velká část hodnot je orientována do směru k J až JJV, méně často SSV až V. Vyskytují se i směry k JJZ a k S. Důležité je zjištění, že proměnlivost směrů je zřejmá u téže velikostní



Obr. 2. Šikmo zvrstvená poloha v hrubozrnných, slabě štěrkovitých pískovcích, mocná 1,4 m; spádnice šikmých lamin s úklonem 30° směřují k SSV; d. b. CV 067 Pohorí, 0,2 km sv. od středu obce. Foto J. Valečka.



Obr. 3. Šikmo zvrstvené polohy s laminami ukloněnými od 6° do 26° k VSV, resp. k JJZ až JZ, v horní části snímku zřetelně protisměrně uspořádané; d. b. CV 077 Dobšice, 1,6 km ssz. od středu obce. Foto J. Valečka.

kategorie zvrstvených poloh, někdy naložených na sebe (obr. 3 a 4). Směry tak ukazují na složitý proudový systém, resp. interakci více systémů. Vyskytují se i případy, kdy mezi šikmé laminy větší formy – velké čeřiny či duny – je vložena podstatně menší forma (čeřina) s odlišnou orientací. To nasvědčuje dočasné imobilizaci duny, přes jejíž strmější část migrovala („šplhala“) čeřina v směru opačném (kosém) proti směru pohybu duny. Pohyb velké duny se poté obnovil v původním směru. Migrace malých BF přes velké BF je běžně uváděna v recentu (Dyer – Huntley 1999, Barrie et al. 2009). Zjištěno bylo protisměrné zvrstvení („herringbone bedding“), které se využívá pro indikaci výčasných proudů (obr. 3). Typické na sebe naložené „šplhající“ čeřiny zatím





Obr. 4. Na šikmo zvrstvenou polohu, se spádníci lamin směřující k JJZ, se ukládají polohy se spádníci orientovanými k VJV; d. b. CV 104 Zako-paná, 0,7 km ssv. od středu obce. Foto J. Valečka.



Obr. 5. Na zvlněnou erozní plochu seřezávající šikmo zvrstvenou polohu nasedají hrubozrnné pískovce s masivní texturou; d. b. CV 101 Srbsko, 0,4 km zsz. od středu obce. Foto J. Valečka.

nalezeny nebyly. Bezpečně nebylo prokázáno hřbítkové („boulovitě“) zvrstvení („hummocky cross-stratification“) a mísovitě zvrstvení („swaley cross-stratification“). Tyto typy zvrstvení vznikající při silných bouřích zůstávají na místě a nemigrují (Swift et al. 1983).

### Erozní plochy

Erozní plochy (označované též jako „reactivation surfaces“ či „ravinement surfaces“) jsou velmi běžné, nejlépe patrné

jako seřezávání horní části šikmo zvrstvených poloh. Jsou většinou subhorizontální, méně šikmé a někdy zvlněné (obr. 5). Hloubka seříznutí zvrstvených i masivních poloh u šikmých a zvlněných erozních ploch dosahuje běžně několika decimetrů, s maximy kolem 1 m. Erozní plochy většinou nevykazují znaky delší existence, v několika případech ale zůstaly nezakryté delší dobu, což umožnilo jejich osídlení organismy, projevující se stopami po lezení organismů na erozní ploše (obr. 6) a bioturbacemi pronikajícími až 1 m pod plochu. To dokládá, že transport písku nebyl v určitém momentu stálý v celém areálu Příhraszkých skal; zóny zasažené silným prouděním, které erodovalo dno nebo transportovalo písek, sousedily se zónami, kde bylo proudění slabé a kde mohlo být dno (erozní plocha) kolonizováno organismy.

### Interpretace šikmo zvrstvených poloh

Šikmo zvrstvené polohy v Příhraszkých skalách všemi parametry – zrnitostí, velikostí (výškou), tvarem, uspořádáním šikmých lamin a jejich úklony – korespondují s BF popisovanými v dnešních mělkých šelfových mořích a v úžinách v mírném, subtropickém i tropickém pásu. BF jsou tvořeny středně až hrubě zrnitým pískem i drobným štěrčikem. Malé čeřiny se nacházejí i ve velmi mělkém prostředí (hloubky do několika málo metrů), duny se vyskytují v hloubkách od 17 m (Kubicki 2008) do nejméně 210 m (Barrie et al. 2009) a běžně se koncentrují do dunových polí o rozloze až v desítkách km<sup>2</sup> (Barrie et al. 2009). Úklony strmějších svahů čeřin a dun jsou udávány od 7 do 31° (Dalrymple – Rhodes 1995, Fenster et al. 2006). Výška čeřin a dun se pohybuje od několika centimetrů do hodnot více než 10 m. Maximální výšky uvádějí Van Landeghem et al. (2009) – 13 m, Fenster et al. (2006) – 17 m, Barrie et al. (2009) dokonce 28 m. Délky hřbetů vyšších dun (nad 1 m) přesahují často 100 m s maximy mezi 550 m až 3 km (Kubicki 2008, Barrie et al. 2009). V této souvislosti je možná reinterpretace polohy v údolí Plakánku (obr. 7) v jv. okrajové části Příhraszkých skal se spádníci šikmých lamin, orientovanou k J, jejíž mocnost dosahuje až 25–30 m. Poloha směrem k S vyklíňuje, ve směru spádnice (migrace) ji lze sledovat v délce 3,5 km, ve směru kolmém na spádnice má rozměr přibližně 2 km. Polohu Uličný et al. (2009) interpretují jako „foresety“ v deltovém tělese gilbertovského typu, může však jít o obří dunu migrující směrem k pánevní ose. Pokud jde o komplikovaný systém proudění, díky němuž BF v Příhraszkých skalách migrovaly v různých směrech, můžeme uvažovat o interakci proudů výčasných a bouřkových, semipermanentních proudů u dna (které vedly k výměně vodních mas mezi relativně úzkou, protáhlou českou křídovou pánví charakteru průlivu a okolními rozsáhlými bazény – hlubokovodní Tethydou na JV a západoevropským šelfovým mořem na SZ) či proudů vyvolaných stálým větrným prouděním. Bimodální, popř. až polymodální orientace spádnice šikmého zvrstvení byla v pískovcích české křídové pánve zjištěna již Valečkou (1979). Skoček a Valečka (1983) v tomto případě předpokládají uplatnění i výčasných proudů. V případě české

křídové pánve je třeba uvažovat i o sezónních změnách orientace větrů monzunového typu; např. v Torresově úžině se směr migrace dun mění v souladu se změnou směru zimních a letních monzunů (Harris 1991, Daniell et al. 2008). Vliv proudění vyvolaného monzunu potvrdil i Kubicki (2008) který na jihovietnamském šelfu zjistil migraci dun jen při silných zimních monzunech. Duny velkých rozměrů (např. v Plakánku) jsou většinu doby stacionární a jejich migrace, obvykle krátkodobá, nastane při součtu proudění (např. výčasové proudy zesílené bouřemi). Tyto duny např. v Irském moři byly čtyři roky stacionární, než začaly opět migrovat (Van Landeghem et al. 2009).

## Závěry

1. Pískovcové těleso Příhrazských skal v Českém ráji je litologicky homogenní, tvoří je křemenné pískovce bez vložek jiných litotypů.
2. Dominantní texturou je šikmé zvrstvení, v jednotkách mocných od několika centimetrů do více než 10 m.
3. Spádnice šikmých lamin s úklony mezi 6–30° mají variabilní orientaci, indikující komplikovaný proudový systém s uplatněním výčasových a bouřkových proudů i proudů semipermanentních a proudů vyvolaných větrným prouděním možná monzunového typu.
4. Silné proudění často erodovalo dno do hloubek až kolem 1 m; některé erozní plochy existovaly delší dobu, což umožnilo jejich osídlení organismy.
5. Šikmo zvrstvené polohy svou zrnitostí, tvary, rozměry i úklony šikmých lamin jsou srovnatelné s pískovými čeřinami a dunami zjištěnými v recentních šelfových mořích a širokých průlivech.

*Poděkování.* Studie byla vypracována v rámci projektu výzkumu a vývoje Ministerstva životního prostředí České republiky „Evropský geopark Český ráj – vytvoření geoinformačního systému pro rozvoj regionu a ochranu geologického dědictví“, reg. číslo SP/2e6/97/98.

## Literatura

- ASHLEY, G. M. (1990): Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. – *J. sed. Res.* 60, 1, 161–172.
- BARRIE, J. V. – CONWAY, K. W. – PICARD, K. – GREENE, H. G. (2009): Large-scale sedimentary bedforms and sediment dynamics on glaciated tectonic continental shelf: Examples from the Pacific margin of Canada. – *Continent. Shelf Res.* 29, 796–806.
- DALRYMPLE, R. W. – RHODES, R. N. (1995): Estuarine dunes and bedforms. In: PERILLO, G. M. ed: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. – *Develop. Sediment.* 53, Amsterdam, Elsevier, 359–422.
- DANIELL, J. J. – HARRIS, P. T. – HUGHES, M. G. – HERMER, M. – HEAP, A. (2008): The potential impact of bedform migration on seagrass communities in Torres Strait, northern Australia. *Continent. Shelf Res.* 28, 2188–2202.
- DYER, K. R. – HUNTLEY, D. A. (1999): The origin, classification and modelling of sand banks and ridges. – *Continent. Shelf Res.* 19, 1285–1330.
- FENSTER, M. S. – FITZGERALD, D. M. – MOORE, M. S. (2006): Assessing decadal-scale changes to a giant sand wave field in eastern Long Island Sound. – *Geology* 34, 89–92.
- HARRIS, P. T. (1991): Reversal of subtidal dune asymmetries caused by



Obr. 6. Na erozní ploše seřezávající pod úhlem 15° šikmo zvrstvenou polohu jsou zřetelné stopy po lezení organismů; d. b. CV 116 Mužský, 0,5 km jz. od středu obce. Foto J. Valečka.



Obr. 7. Šikmo zvrstvená poloha v údolí Plakánku; šikmé laminy ukloněné 12 až 14° mají spádnici orientovanou k J, 0,5 km j. od hradu Kost. Foto J. Valečka.

seasonally reversing wind-driven currents in Torres Strait, northeastern Australia. – *Continent. Shelf Res.* 11, 665–662.

KUBICKI, A. (2008): Large and very large subaqueous dunes on the continental shelf of southern Vietnam, South China Sea. – *Geo-Mar. Lett.* 28, 229–238.

LANDEGHEM, K. J. J. VAN – UEHARA, K. – WHEELER, A. J. – MITCHELL, N. C. – SCOURSE, J. D. (2009): Post-glacial sediment dynamics in the Irish Sea and sediment wave morphology: Data-model comparisons. – *Continent. Shelf Res.* 29, 1723–1736.

MELLERE, D. – STEEL, R. J. (1996): Tidal sedimentation in Inner Hebrides half grabens, Scotland: the Mid-Jurassic Berreraig Sandstone Formation. In: DE BATIST, M. – JACOBS, P. ed.: *Geology of Siliciclastic Shelf Seas*. – *Geol. Soc. Spec. Publ.* 117, 49–79.

SKOČEK, V. – VALEČKA, J. (1983): Paleogeography of the Late Cretaceous quadersandstein of Central Europe. – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.* 44, 71–92.

SWIFT, D. J. P. – FIGUEIREDO, A. G. – FREELAND, J. L. – ORTEL, G. E. (1983): Hummocky cross-stratification and megaripples: a geological double standard? – *J. sed. Petrology* 53, 1295–1318.

ULIČNÝ, D. (2001): Depositional systems and sequence stratigraphy of coarse-grained deltas in shallow-marine, strike-slip setting: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. – *Sedimentology* 48, 599–628.

ULIČNÝ, D. – LAURIN, J. – ČECH, S. (2009): Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. – *Sedimentology* 56, 1077–1114.

VALEČKA, J. (1979): Paleogeografie a litofaciální vývoj severozápadní části české křídové pánve. – *Sbor. geol. Věd, Geol.* 33, 47–81.

VENDITTI, J. G. – DURCH, M. – BENNETT, S. J. (2005): On the transition between 2D and 3D dunes. – *Sedimentology* 52, 1343–1359.