

Intenzivní rozpad karbonského pískovce ve skalním převisu Čertova kazatelna v Plzni

Fast disintegration of Carboniferous sandstone in rock overhang Čertova Kazatelna in Plzeň

Jiří BRUTHANS^{1,2} – Jana SCHWEIGSTILOVÁ³ –
Petr BEZDIČKA⁴ – Jan SOUKUP¹

¹ Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6,
128 43 Praha 2; bruthans@natur.cuni.cz

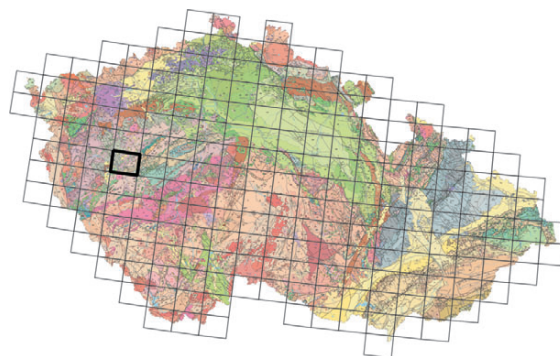
² Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

³ Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i.,
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8

⁴ Ústav anorganické chemie AV ČR, v. v. i., č.p. 1001, 250 68
Husinec-Řež

Key words: sandstone weathering, ice wedging, rock overhang, Carboniferous, salt efflorescence

Abstract: Radioisotope dating indicated that walls of the studied sandstone overhangs and caves in the Czech Republic have not retreated more than 1 mm/1000 years during the Holocene. In the town of Plzeň, the sandstone overhang of Čertova Kazatelna was studied where extreme retreat rates of overhang ceiling as large as ~40 mm/year were reported by a local resident. Sandstone matrix is composed of quartz, kaolinite, illite and K-feldspar based on XRD. Surface of the rock overhang is formed by exfoliation plates several mm to a few cm thick. Unlike its dry and stable surroundings the rock overhang surface is wetted by seeping wastewater. Fallen material from rock overhang was collected on plastic foil for a period of several hours to one day during different seasons of the year. Fallen material contains 0.1–2 % gypsum in bulk and



(12-33 Plzeň)

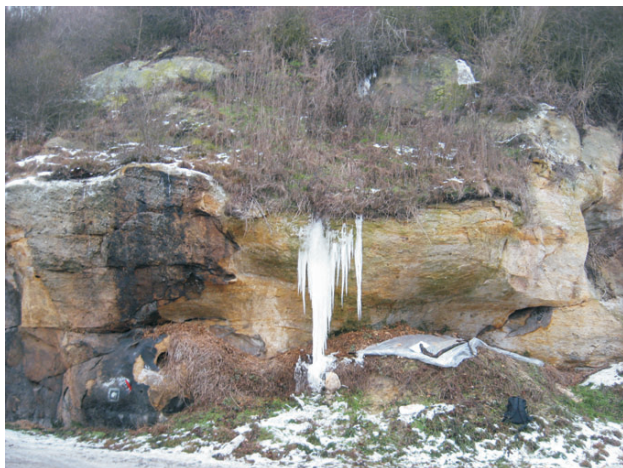
3–11 % gypsum in fine matrix based on leaching, XRD and SEM-EDX. Maximum measured deposition of material on plastic foil (214 g/m²/day) occurred during thaw. Wetting weakening, ice wedging and possibly salt weathering are probably responsible for sandstone disintegration. Based on mass balance of sulfates in fallen material we expect long-term retreat rates of sandstone overhang surface between 3 and 12 mm/year. In sharp contrast to this extreme retreat rate, the dry surface of sandstone did not retreat by more than a few mm/97 years based on dated carving. The study demonstrated that sandstone overhangs may potentially develop within a few hundred years in case of favorable conditions.

Studovaná lokalita Čertova kazatelna se nachází mezi plzeňskou čtvrtí Vinice a obcí Radčice. Tvoří ji asi 700 m dlouhá skalní stěna v levém svahu údolí Mže o výšce až 22 m (Vítek 1987). Studována byla východní část skalní stěny pod Zámečkem o výšce 6–10 m s přítomností železitých poloh místy tvořících pevnou povrchovou kůru. Vystupují zde sedimenty karbonu, a to svrchní část nýřanských vrstev kladenského souvrství. Jde o arkózovité pískovce a slepence korytovitě šikmo zvrstvené, které jsou interpretovány jako říční sedimenty (Drábková et al. 2005). Výchozy pískovce jsou pokryty řadou forem zvětrávání, jako výklenky, dutiny, skalní okna a voštiny (Vítek 1987). Detailně byl studován převis pod Zámečkem na pozici 49°45' 28,1" N, 13°20' 24,3" E, z kterého za vlhčích období intenzivně skapává voda, naproti domu č.p. 318 (obr. 1). V tomto převisu byla místním obyvatelem pozorována extrémně vysoká rychlost rozpadu pískovce, neboť za zhruba 30 let (k roku 2008) vznikla pod převisem 1,5 m vysoká vrstva opadu, což odpovídá dlouhodobé průměrné rychlosti akumulace opadu 50 mm/rok. Za předpokladu hustoty akumulovaného písku okolo 1,5 g/cm³ a hustoty pískovce okolo 2 g/cm³ lze odhadnout rychlost ústupu stro-

pu převisu na 40 mm/rok. Rozpad byl před rokem 1989 podle ústního sdělení ještě intenzivnější než dnes díky vyšší vlhkosti skály.

Přírodní výchozy pískovce jsou přítomny ve většině oblastí České republiky chráněny odolnou krustou (Cílek – Langrová 1994, Cílek 1998) a intenzita jejich eroze je často tak nízká, že ji obvykle není možné přímo měřit. V pískovcových jeskyních Českého ráje bylo pomocí radioizotopového datování sekundárních karbonátů a archeologických nálezů doloženo, že stěny jeskyní neustoupily během několika tisíc let ani o několik málo milimetrů (Cílek 2007, Bruthans et al. 2009, 2012). Podobně i většina výchozů pískovce na Čertově kazatelně nejví v současnosti stopy eroze, což je doložené velmi dobře zachovanou rytinou s letopočtem 1915 (obr. 2), kde pískovcová stěna nejvíe ústup ani o první milimetry. Rytina se přitom nachází ve vzdálenosti pouhých 5 m od studovaného převisu ve stejné výškové úrovni a ve stejném pískovci (litologie, stejná vrstva). Krusta, která tvoří podloží rytiny, původně pokrývala i studovaný převis (viditelné zbytky krusty v boční části převisu).

Cílem příspěvku je charakterizovat materiál pískovce, prosakující vodu i solné výkvěty, měřením ověřit rychlost



Obr. 1. Studovaný převis s instalovanou plachtou pro sběr opadajícího materiálu. V levé části je zřetelný tmavý povrch krusty. Zhruba 1 m nad zemí těsně za levou hranicí snímku se nachází vyrytý letopočet „1915“ (24.12.2009).

rozpadu a pokusit se identifikovat procesy zodpovědné za rozpad pískovce.

Metodika

Intenzita opadu zrn a úlomků pískovce byla měřena pomocí instalované plastové plachty (obr. 1), umístěné pod převisem na dobu 0,2–14 dnů. Poté byl odebrán veškerý anorganický materiál na ploše plachty, změřena plocha plachty pod převisem a po vysušení byl materiál zvážen.

Relativní pevnost pískovcového povrchu byla měřena in situ pomocí odporu při vrtání (drilling resistance – DR, např. Pamplona et al. 2007) pomocí speciálně upravené ruční příklepové vrtačky PZZ-1. Přístroj PPZ-1 byl konstruován pro měření pevnosti cihel a malty (TZUS, 2011) a využívá speciální vidiový vrták o délce 70 mm a průměru 5 mm. Všechna měření byla provedena za stejných podmínek (stupeň 1). Hloubka návrtu, která je nepřímou úměrnou pevnosti pískovce, byla měřena posuvným měřidlem. Na základě kalibrace udané výrobcem odpovídá hloubka návrtu (DR) 10 mm pevnosti v jednoosém tlaku (UCS) okolo 12 MPa, DR = 20 mm odpovídá UCS 5 MPa a DR > 60 mm odpovídá UCS < 1 MPa.

Chemické složení vody bylo analyzováno v Laboratořích geologických ústavů, PřFUK, anionty pomocí HPLC (vysoce účinné kapalinové chromatografie) na přístroji Dionex ICS-2000 a kationty pak metodou ICP OES (optická emisní spektrometrie s iontově vázaným plazmatem) na přístroji Thermo Scientific iCAP 6500.

Výluhy byly získány z opadajícího materiálu smíchaného s deionizovanou vodou v hmotnostním poměru 1 : 50, směs byla třepána po dobu 24 hodin. Vztah mezi konduktivitou a množstvím rozpuštěných látek byl určen podle kalibrace (1 μ S/cm odpovídá 0,48 mg/l rozpuštěného NaCl). Pro stanovení obsahu minerálů v základní hmotě pískovců byla pomocí sedimentace nadrceného vzorku v destilované vodě odebrána jílovitoprachovitá hmota.



Obr. 2. Velmi dobře zachovaná rytina „1915“, lokalizace viz obr. 1. Přes velké množství vysrážených solí nejvíce pískovce stopy rozpadu (24.12.2011).

Rentgenové práškové difraktogramy byly měřeny na přístroji PANalytical X'PertPRO (CuK α záření, napětí 40 kV, proud 30 mA) a rychlém lineárním pozičně citlivým detektorem PIXcel. Rozsah měření byl 2–89°/2 θ , s krokem 0,013 stupně a dobou načítání 300 s/krok. Naměřené difraktogramy byly vyhodnoceny pomocí programu HighScorePlus (2011) a databáze JCPDS PDF2 (2004). Kvantitativní fázová analýza byla počítána pomocí Rietveldovy metody programem Diffrac Plus Topas (2003). Vstupní strukturní modely jednotlivých fází byly nalezeny v databázi Inorganic Crystal Structure Database (2011).

K pozorování vzorků ve formě nábrusů byl použit optický mikroskop Leica DMRX s fotoaparátlem Leica DC300. Skenovací elektronový mikroskop (SEM) Quanta 450 (FEI) s energiově disperzním mikroanalyzátozem (EDX; EDAX, Apollo X) byl použit pro zobrazení povrchu vybraných vzorků a stanovení chemického složení povrchových krust a základní hmoty vzorků.

Výsledky a diskuze

Charakteristika převisu, pískovce a solných eflorescencí

Studovaný převis se nachází při patě skály. Jeho šířka je okolo 3 m a výška do 1,5 m (obr. 1). Je otevřený směrem k J a vystaven jak slunečnímu záření, tak i účinkům větru. Stěny i strop jsou tvořeny hrubozrnným pískovcem až splepcem s ojedinělými valouny křemene o průměru až 5 cm. Na rozdíl od okolí byla již povrchová křusta v převisu odstraněna erozí, původně ale zřejmě pokrývala celý povrch převisu, jak je zřejmé ze situace v ostatních převisech a dutinách v okolí. Stěny a strop převisu nyní tvoří exfoliační šupiny pískovce o mocnosti vyšších milimetrů až prvních centimetrů, které jsou kosé na sedimentární struktury (obr. 3). Exfoliační šupiny jsou paralelní s povrchem převisu. Uvolněné exfoliační šupiny tvoří opadávající materiál. Zejména západní část převisu je v období s vyššími srážkami silně zavlhčená. Tvoří se zde skap a v zimě ledové náteky. Tím se studovaný převis zásadně liší od bezprostředního



Obr. 3. Exfoliační šupiny v převisu (25.12.2010).



Obr. 4. Sádrovcové eflorescence vysrážené na zbytku pevné krusty na povrchu pískovce při pravém okraji převisu (24.12.2011).

i vzdálenějšího okolí včetně ostatních převisů, které jsou celoročně suché.

Původní pískovec, povrchová krusta ani zvětralé a rozpadající se partie nereagují s HCl a neobsahují tedy významnější množství karbonátu. Hloubky návrtů DR v rozpadavém pískovci v převisu a jeho bezprostředním z. okolí dosahují od 25 mm po > 70 mm. Naproti tomu pískovec s povrchovou krustou pokrytou vysráženými solemi měl DR 15 mm a okolo 1 cm mocná železitá krusta vykazovala DR jen 3 mm. Měření tak potvrzují řádově vyšší pevnost krusty oproti rozpadajícímu se pískovci v převisu.

Prachovitohlinitá základní hmota separovaná z exfoliačních šupin, ať už odebraných ze stěny převisu nebo odpadlých, je tvořena především křemenem, kaolinitem, illitem, draselným živcem a v některých případech obsahuje i sádrovec. Tmavá povrchová krusta je tvořena především křemenem s nízkým obsahem kaolinitu, illitu, draselných živců a sádrovce.

Na místech chráněných před srážkovou vodou pokrývají pískovec solné eflorescence. Nejmocnější akumulace solí se vyskytují na železité krustě v těsném okolí převisu, která je na základě měření DR tvořena velmi pevným pískovcem (obr. 4); naopak ve vlastním převisu nebyly významnější solné výkvěty pozorovány, zřejmě proto, že rychlost opadu

převyšuje rychlost jejich tvorby. Rentgenová analýza dvou vzorků solných výkvětů ukázala, že jde o sádrovec.

Intenzita rozpadu pískovce a chemické složení výluhů opadaného materiálu a prosakující vody

Intenzita opadu v převisu v Čertově kazatelně se v sedmi měřeních pohybuje mezi 0,1–214 g/m²/den (tab. 1). Průměrná hodnota z těchto měření – 45 g/m²/den – při odhadované hustotě opadaného materiálu 1,5 g/cm³ odpovídá výšce deponovaného materiálu pod převisem 11 mm/rok. Nejvyšší intenzita opadu byla zjištěna v zimním období při oblevě (obr. 5). Za oblevy opadají exfoliační šupiny z převisu s frekvencí několikrát za minutu a maximální intenzita opadu dosahovala podle odhadu z pozorování (nebylo zachycováno na plachtu) mezi 1000–5000 g/m²/den, avšak jen po několik hodin za nejintenzivnějšího tání při přímém oslunění a teplotách nad 0 °C.

Konduktivita výluhu z opadaného materiálu v osmi vzorcích se pohybuje mezi 30–860 μS/cm, což při přepočtu na poměr pevné fáze a deionizované vody odpovídá zhruba 0,7–20 mg rozpuštěných látek na 1 g opadu z pískovce (obsah rozpustných látek 0,1–2 hmot. %, průměrně 0,7 hmot. %). Ve výluhu z opadaného materiálu z převisu výrazně převažuje vápník a sírany v poměru, který odpovídá obsahu těchto iontů v sádrovci (tab. 2). Lze tak předpokládat, že obsah sádrovce v opadaném materiálu z exfoliačních šupin (veškerý materiál) dosahuje 0,1–2 hmot. %. V jemnozrnné hmotě při povrchu exfoliačních šupin je obsah sádrovce okolo 3–11 % (SEM-EDX). Sádrovec je možné identifikovat v základní hmotě tvořené jílovými minerály. Ani při větším zvětšení (až 2000×) nejsou na nábrusu patrné samostatné krystaly sádrovce.

Dne 24. prosince 2009 byl při průtoku 2 l/h odebrán vzorek skapávající vody z převisu. Vodivost vody byla vysoká (1600 μS/cm), pH dosahovalo 7,1. Chemické složení skapávající vody ukazuje tabulka 2.

Ve skapávající vodě (tab. 2) byly zjištěny velmi vysoké koncentrace chloridů, sodíku a zejména dusičnanů a draslíku, které potvrzují domněnku místních obyvatel, že vlhkost v převisu je dotována unikající odpadní vodou. Z porovnání rozpustnosti sádrovce ve vodě za teplot 0–25 °C (2,2–2,6 g/l) a koncentrace vápníku a síranů ve skapové vodě vyplývá, že sádrovec se začne srážet po odpaření 80–85 % vody.

Výpar z volné hladiny v nižších polohách ČR dosahuje okolo 700 l/m²/rok (Tolasz et al. 2007). Skutečný výpar z převisu bude výrazně nižší, protože převis je silně zvlhčen především v chladné části roku, kdy je výpar minimální. Za předpokladu kvalifikovaného odhadu výparu v převisu mezi 100–400 l/m²/rok dojde v povrchové zóně pískovce k akumulaci sádrovce okolo 40–170 g/m²/rok (na základě koncentrace síranů ve skapové vodě, jejichž množství limituje množství vysráženého sádrovce). Zjištěnému průměrnému obsahu sádrovce v opadu (0,7 hmot. %) pak odpovídá průměrný ústup stropu převisu o 3–12 mm/rok (při hustotě pískovce okolo 2 g/cm³) neboli opad pískovce dosahuje 16–65 g/m²/den, což je blízké středním hodnotám z měření opadaného materiálu (tab. 1).

Tabulka 1. Naměřené hodnoty intenzity opadu z pískovcového převisu Čertova kazatelna (49°45'28,1" N, 13°20'24,3" E) a z pískovcových převisů na Drábovně v Českém ráji (převisy Drábovna A i B jsou na souřadnicích ~ 50°37'45,512" N, 15°10'39,403" E)

místo	začátek měření	doba měření (dny)	plocha (m ²)	hmotnost napadaného materiálu (g)	intenzita opadu (g/m ² /den) sběrné plochy	klimatické podmínky
převis Čertova kazatelna	23.12.2009 16:10	1,0	2,6	542	214	zataženo, +3 °C; 24 hod po začátku oblevy
dtto	25.12.2010 14:00	0,9	4,5	264	62	teplota vzduchu pod 0°C, na osluněných místech taje
dtto	26.12.2008 18:00	0,6	4,8	52	17	zataženo; -1 °C
dtto	15.8.2009 10:00	1,0	5,1	51	11	jasno, 25 °C
dtto	27.12.2008 9:00	0,2	4,8	11	10	zataženo; -1 °C
dtto	1.5.2009 12:00	1,0	5,0	20	2,1	-
dtto	24.12.2011 12:00	1,0	5,0	1	0,1	5 °C, dosud nemrzlo
Drábovna A, stěna se solnými subflorescencemi	28.12.2008 8:15	0,4	0,8	0,2	0,54	trvalý mráz, jasno
dtto	28.12.2008 17:00	5,8	0,8	1,6	0,35	trvalý mráz, většinou zataženo
dtto	3.1.2009 12:50	14,0	0,8	1,0	0,09	-
Drábovna B, povrchová krusta	28.12.2008 17:00	5,8	12,0	< 1	<0,01	trvalý mráz, většinou zataženo

seřazeno podle intenzity opadu; Drábovna A je tvořena silně rozpadavým pískovcem (zcela nesoudržným) se subflorescencemi kamenů., Drábovna B pevnou povrchovou krustou, bez okem viditelných solných eflorescencí a bez znaků rozpadu

Kritické snížení pevnosti pískovce nastává při tání ledu v pórech pískovce. Led zřejmě pískovec trhá, ale zároveň funguje jako dočasné pojivo. Řítí se především vlhké a mokré převislé stěny. Je pravděpodobné, že zásadní roli při rozpadu hraje snížení pevnosti vlhkého pískovce (Lin et al. 2005). Je možné, že roli hraje i krystalizace sádrovce v pórech. Nicméně suchý povrch by s velkým množstvím sádrovce nejeví znaky rozpadu.

Závěr

Rozpad stropu a převislých stěn převisu stále probíhá. Měření množství akumulovaného materiálu pod převisem na sběrné plachtě ukázalo, že intenzita opadu kolísá mezi 0,1–214 g/m²/den. Nejvyšší intenzita rozpadu je jednoznačně časově svázána s táním zmrzlé vody v převisu, ale k opadu o menší intenzitě dochází i v ostatních částech roku. Z bilancování množství sádrovce v opadaném materiálu lze současnou průměrnou rychlost ústupu stropu převisu zhruba odhadnout na 3–12 mm/rok. Stěna stejného pískovce, jaký tvoří převis, ale není vystavený vlhkosti, přitom podle zachované rytiny neustoupila ani o první milimetry za 97 let.

Z naměřených dat jednoznačně vyplývá, že kritickým faktorem podmiňujícím rozpad je extrémní zvlhčení materiálu pískovce odpadní vodou, protože suchý pískovec v těsném okolí se nerozpadá. Hlavní roli při rozpadu hraje pravděpodobně mrazové zvětrávání v kombinaci se sniže-

Tabulka 2. Chemické složení skapávající vody ze dne 24.12.2009 a výluhu z opadaného materiálu z pískovcového převisu

iont	koncentrace v prosakující vodě dne 24.12.2009 (mg/l)	koncentrace v prosakující vodě dne 25.12.2011 (mg/l)	koncentrace ve výluhu z opadaného materiálu z 26.12.08 (mg/l)
Cl ⁻	179	198	5,1
SO ₄ ²⁻	240	200	234
NO ₃ ⁻	318	309	9,4
PO ₄ ³⁻	< 0,4	< 0,4	< 0,4
F ⁻	< 0,2	0,57	< 0,5
HCO ₃ ⁻	-	66	-
Ca ²⁺	220	132	93
Mg ²⁺	22	18	2,7
Na ⁺	98	89	1
K ⁺	62	53	4,7
Si	12	8	-
Sr ²⁺	0,56	0,55	-
Fe	0,04	0,02	-
Mn	< 0,005	< 0,005	-
Zn	< 0,005	< 0,005	-
Al	< 0,05	0,07	0,05
Ba	< 0,005	-	-

ním pevnosti díky zvlhčení pískovce. Je možné, že roli hraje i solné zvětrávání (doložené srážení sádrovce). Sádrovec byl nicméně zjištěn ve větších akumulacích především v okolí převisu, kde k rozpadu nedochází.



Obr. 5. Silná vrstva opadaného materiálu pokrývající vegetaci (25.12.2010).

Z naměřené intenzity opadu je zřejmé, že převisy se mohou za vhodných podmínek rozšiřovat velmi rychle, teoreticky se mohou plně vyvinout již během několika set let. V holocenním klimatu však bude zřejmě dosažení takových podmínek poměrně vzácné s výjimkou lokalit ovlivněných lidskou činností.

Poděkování. Práce byly provedeny v rámci projektů GAUK 380511, MSM0021620855, výzkumného záměru AV0Z30460519 Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., a VaV SP/2e1/153/07. Za cenné kritické připomínky k textu děkujeme recenzentům J. Adamovičovi a J. Vítкови.

Literatura

- BRUTHANS, J. – CHURÁČKOVÁ, Z. – JENČ, P. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. (2009): Stáří a původ sekundárních karbonátů v některých jeskyních Českého ráje. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2008, 54–58.
- BRUTHANS, J. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. – JENČ, P. – CHURÁČKOVÁ, Z. – BEZDIČKA, P. (2012): 14C and U-series dating of speleothems in the Bohemian Paradise (Czech Republic): retreat rates of sandstone cave walls and implications for cave origin. – Acta geodyn. geomater. 9, 1 (165), 93–108.
- CÍLEK, V. (1998): Fyzikálně chemické procesy vzniku pískovcového pseudokrasu. In: CÍLEK, V. – KOPECKÝ, J., ed.: Pískovcový fenomén: klima, život a reliéf. – Knih. Čes. speleol. Společ. 32, 134–153.
- CÍLEK, V. (2007): Climate, microclimate and paleoclimate of sandstone areas of Central and Northern Bohemia (Czech Republic). In: HÄRTEL, H. – CÍLEK, V. – HERBEN, T. – JACKSON, A. – WILLIAMS, R., ed.: Sandstone Landscapes, 97–103. – Academia, Praha.
- CÍLEK, V. – LANGROVÁ, A. (1994): Skalní kůry a solné zvětvávání v CHKO Labské pískovce. – Ochr. Přír. 49, 227–231.
- DIFFRAC PLUS TOPAS (2003): verze 4.2, Bruker-AXS, Karlsruhe, B.R.D.
- DRÁBKOVÁ, J. – LOJKA, R. – ŠIMŮNEK, Z. (2005): Paleoekologie a biostratigrafie jemnozrnných poloh defilé u Radčic (kantabr, plzeňská pánev). – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2004, 30–33.
- HIGHSCOREPLUS (2011): verze 3.0d, PANalytical b.v., Almelo, NL.
- INORGANIC CRYSTAL STRUCTURE DATABASE (2011): release 2011/2, FIZ Karlsruhe, B.R.D.
- JCPDS PDF2 (2004): Sets 1–54. – Int. Centre Diffraction Data, Newtown, Pennsylvania, U.S.A.
- LIN, M. L. – JENG, F. S. – TSAI, L. S. – HUANG, T. H. (2005): Wetting weakening of Tertiary sandstones-microscopic mechanism. – Env. Geol. 48, 265–275.
- PAMPLONA, M. – KOCHER, M. – SNETHLAGE, R. – AIRES-BARROS, L. (2007): Drilling resistance: overview and outlook. – Z. Dtsch. Gesell. Geowiss. 158 (3), 665–676.
- TOLASZ, R. – BRÁZDIL, R. – BULÍŘ, O. – DOBROVOLNÝ, P. – DUBROVSKÝ, M. – HÁJKOVÁ, L. – HALÁSOVÁ, O. – HOSTÝNEK, J. – JANOUCH, M. – KOHUT, M. – KRŠKA, K. – KRIVANCOVÁ, S. – KVĚTOŇ, V. – LEPKA, Z. – LIPINA, P. – MACKOVÁ, J. – METELKA, L. – MÍLKOVÁ, T. – MRKVICA, Z. – MOŽNÝ, M. – NEKOVÁŘ, J. – NĚMEC, L. – POKORNÝ, J. – REITSCHLÄGER, J. D. – RICHTEROVÁ, D. – ROŽNOVSKÝ, J. – ŘEPKA, M. – SEMERÁDOVÁ, D. – SOSNA, V. – STŘÍŽ, M. – ŠERCL, P. – ŠKÁCHOVÁ, H. – ŠTĚPÁNEK, P. – ŠTĚPÁNKOVÁ, P. – TRNKA, M. – VALERIANOVÁ, A. – VALTER, J. – VANÍČEK, K. – VAVRUŠKA, F. – VOŽENÍLEK, V. – VRÁBLÍK, T. – VYSOUDIL, M. – ZAHRADNÍČEK, J. – ZUSKOVÁ, I. – ŽÁK, M. – ŽALUD, Z. (2007): Atlas podnebí Česka. – 256 s. Čes. hydrometeorol. úst. – Vyd. Univ. Palackého v Olomouci.
- TZUS (2011): <http://www.tzus.cz/content/pristroj-pro-zkousky-slozek-zdiva-typ-pzz-01> (8.9.2011)
- VÍTEK, J. (1987): Pseudokrasové tvary v karbonských sedimentech sz. od Plzně. – Čs. Kras. 38, 125–127.