

Problemoj interpreti radiometriajn datadonon de metamorfitaĵoj: la bohemia masivo kiel ekzemplo

Václav PROCHÁZKA (CZ)

La bohemia masivo prezentas tre komplikitan unuon, kie ĉiuj prekambriaj rokaĵoj (krom la proterozoiko de Barandio plus iuj unuoj orientrande) eĉ kelkaj oldpaleozoikaj estas forte metamorfitaĵoj.

La plej vasta kristalinika komplekso de neklara protolit-aĝo estas moldanubio, malpli grandajn prezentas la ercmontara kristaliniko kaj pluaj. La radiometria datado de metamorfitaĵoj eĉ plutonaj rokaĵoj en la bohemia masivo estis farata unue per la K-Ar metodo, kiu preskaŭ ĉie montris la aĝon variscian (ĉirkaŭ 250-350 Ma) (resumo *Dubanský*, 1984).

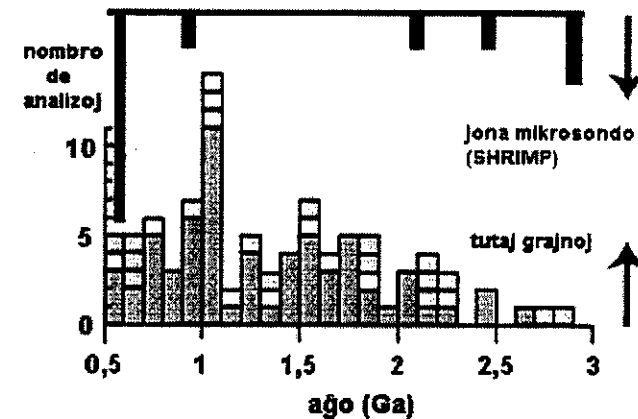
Jam komence de la jaroj 70-aj oni trovis tre aĝajn (pli ol 2000 Ma) zirkonojn, tiutempe per la konvencia datado (*Grauert* k.a., 1973). La datado de la opaj grajnoj ja povas liveri valorojn miksitajn. La rezultoj de la konvencia datado povas impresi, ke la zirkonoj antaŭvarisciaj (event. antaŭkadmiaj - pli aĝaj ol ĉ. 600 Ma) monotone maloftiĝas (Bildo 1).

Tamen, la datado per jona mikroskopo aŭ LA-ICP-MS, kiuj kapablas distingi unuopajn zonojn (*Friedl* k.a., 2004; *Mingram* k.a., 2004; *Tichomirova* k.a., 2001), pruvas ion alian: zirkono aĝa proksimume 2 jarmiliardojn aŭ eĉ pli troviĝas ekz. en la plejparto de rokaĵoj moldanubiaj, sed ankaŭ en ĉiuj ceteraj unuoj de la kristaliniko, kie oni aplikis tiujn metodojn.

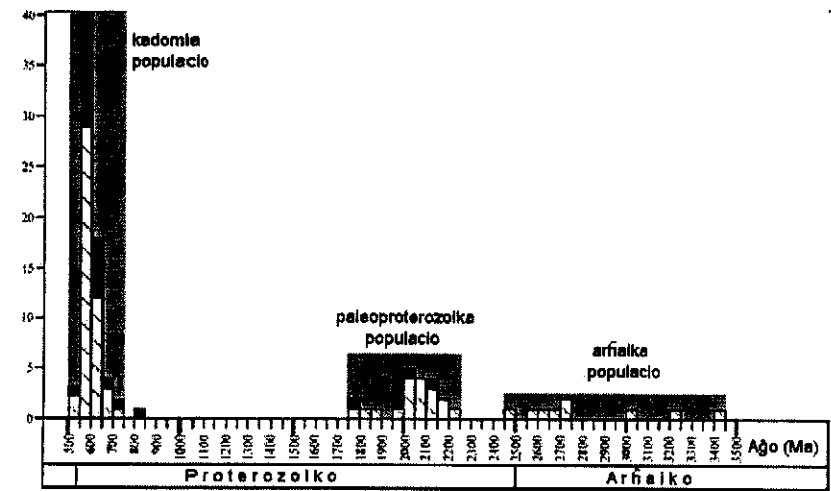
Tiaspecajn zirkonojn oni trovis eĉ en la granito de la tipo *Weinsberg* (*Friedl* k.a., 2004; temas bedaŭre nur pri unusola nemetamorfita granito de la bohemia masivo, kie oni la jonan sondon aplikis). Kontraste, zirkon-aĝoj 750-1750 Ma estas tre raraj.

Bildo 1

a) distribu-komparo de la zirkon-aĝoj antaŭvarisciaj en la rokaĵoj de la kristaliniko ercmontara laŭ la konvencia datado de opaj grajnoj kaj laŭ datado per jona mikroskopo (SHRIMP); laŭ *Mingram* k.a. (2004) inklude la donitaĵojn de *Tichomirova* k.a. (2001).

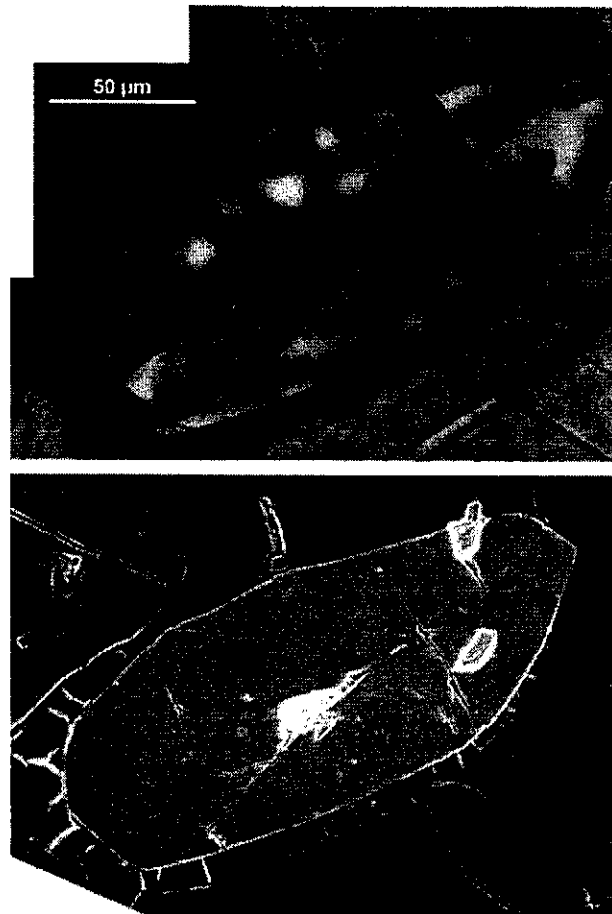


b) zirkon-aĝoj (laŭ datado per jona mikroskopo - SHRIMP) en oldpaleozoikaj sedimentoj de la norda bohemia masivo - la klastoj verŝajne originas ĉefe el la ercmontara kristaliniko. Laŭ *Linnemann* k.a. (2004)



Bildo 2

Monazito inkludita en kordierito (maldekstre supre ankaŭ titanohematito) kun randaĵo el supozeble Fe-hidroksidoj; la supra foto estas farita en la lumo trapasanta, la malsupra helpe de elektron-mikroskopo. Gnejsio el la monteto Orlik apud Humpolec (moldanubio).



La plej moderna monografio pri la geologio de la bohemia masivo (Cháb k.a., 2008) mencias tiujn ĉi tre principajn donitaĵojn nur helpe de kelko da frazoj. Domaĝe. Estus interese klarigi, kiamaniere tiom da tre aĝaj zirkonoj konserviĝis en la diversaj partoj de la

terkrusto, kiuj – laŭ la teorio akceptita en la ĵus citita libro – kuniĝis ne pli frue ol dum la variscia "kolizio", forme de diversaj mikroblokoj (inklude la oceankrusto; ĉu la oceanfundo aĝa 1,5 jarmiliardojn kongruas kun la teorio de la litosfer-tabula tektoniko?). Simila aĝospektra de la zirkonoj ekzistas ankaŭ en la proterozoikaj-oldpaleozoikaj sedimentoj (Drost k.a., 2004; Linne-mann k.a., 2004; Strnad & Mihaljevič, 2005), kie ja mankas la populacio variscia kaj event. kadomia. Tie certagrade dubindiĝas la oceana karaktero de ĉi tiuj unuoj, do ankaŭ la "insul-arkoj" plus la variscia subdukcio; en la paleozoiko de Barandio multe pli elstaras la argumento, ke la sedimenta areo estis ŝelfomara: la mondfama riĉeco de fosilioj, kiuj apenaŭ kreiĝis funde de oceanbaseno.

Kvankam pri la zirkono verkiĝis jam multego, ĝis nun ne ekzistas (eĉ verŝajne ne ekzistos) fidinda kriterio, kiel distingi rondigitajn zirkon-kernojn klastodevenajn disde rondigo pro korozio dum metamorfiĝo aŭ parta fandiĝo. La variscia populacio dominas en granitoj, plus plejparto de metamorfitoj en la bohemia masivo (krom iuj unuoj oriente, ekz. la brunna masivo), eĉ se iuloke la variscia metamorfozo estis tiom malforta, ke variscia populacio ne kreiĝis (ekz. la skarno de Svratouch en tiea kristaliniko, Pertoldová k.a., 2009). La metamorfa rekristaliĝo de zirkono ne devas postuli precipe altan temperaturon (eĉ tute ne altan premon). Gravas ankaŭ la rolo de fluida fazo, kiu povas mobilizi la zirkonion jam ekde 250°C (Rasmussen, 2005), ĉe sufiĉo da fluoro eĉ sub 200°C (Rubin k.a., 1993). En la granulito plešovica kreiĝis variscia zirkono (Sláma k.a., 2008) forme de kristaloj (ĝis 1 cm) eĉ dum la milonitiĝo; tiu estas la plej juna el makroskopaj mineraloj (Rajlich, 2009).

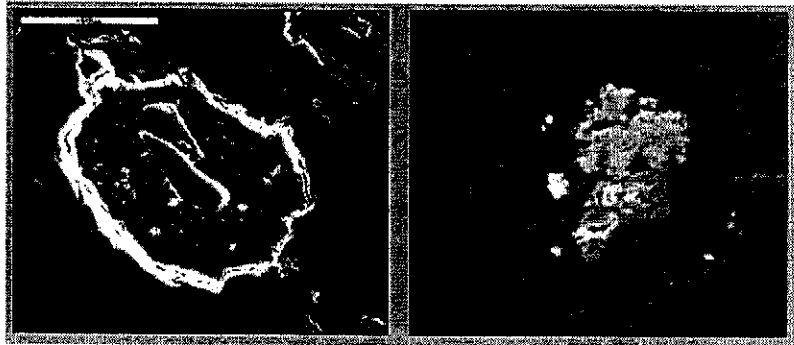
Ankoraŭ unu faktoro helpas forviŝi originan radiometrian aĝon. La zirkona kristal-strukturo povas perturbiĝi pro radioaktiveco: ekestas t.n. metamiktiĝo. Post varmigo, la strukturo renoviĝas, sed samtempe rapide perdiĝas la radiogena plumbo. Tial la altaj aĝoj de metamorfitaĵoj zirkonoj tre ofte prezentiĝas diskordancaj¹, kvankam miksa aĝo laŭ analizo de homogena zono ne eblas.

¹ do ne kongruas aĝoj laŭ diversaj disfal-serioj ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$, $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$)

Okaze de pli alta urania (eventuale toria) enteno povas gravi eĉ efikoj de radioaktiva mineralo sur la ĉirkaŭaĵon, kiel pruvas antaŭ ĉio observoj najbare al forte radioaktivaj mineraloj monazito kaj uraninito (*Procházka* 2008a, 2009). Ĉirkaŭ la monazit-grajno plejparte kreiĝas sfera randaĵo de sekundaraj fazoj (sulfidoj, oksidoj / hidroksidoj de Fe, argil-mineraloj), kies dikeco atingas maksimume 25 μm (Bildo 3) - tio estas ekvivalenta al la kur-atingo de la α -partikloj en solida medio; normale tia randaĵo estas multe pli mal-dika (Bildo 2), tial facile pretervidata en optika eĉ en elektrona mikroskopo.

Bildo 3

Maldekstre: monazito kun sfera randaĵo, havanta rustan koloron en mikroskopo kaj supozeble konsistanta el miksaĵo de argil-mineraloj kun Fe-hidroksido, en K-feldspato; la skalo 50 μm , granito el *Čertův Hrádek* (moldanubia plutono). Dekstre: postrestanta fosfato en la sama rokaĵo, enhavanta S plus verŝajne anjonojn OH⁻; la fosfato kreiĝis el monazito. Ĉirkaŭe troviĝas rustkolora etgrajna maso, kies ĥemia konsisto proksimas al kaolinito; najbaras albito; la bildolarĝo 100 μm . Ambaŭ fotoj en la sekundaraj elektronoj. Presite el *Procházka* (2008a).



Kiamaniere la randaĵoj estiĝis? La α -partikloj samkiel la produktoj de la spontana fisio kaŭzas meĥanikan difekton, jonigon kaj temperatur-altiĝon laŭlonge de sia trajektorio. Se proksime troviĝas gasaj-likvaj inkludaĵoj, ĝi povas perturbi ties ekvilibron kun la najbar-mineraloj (feldspatoj, kordierito, eĉ kvarco) kaj krei hidratigitajn sekundarajn fazojn, sed ankaŭ movi fluid-inkludaĵojn per

hidratigitaj fazoj ja alportas volumen-ŝanĝojn, per tio fendetiĝon, do pluan malfermon al veno de fluidaĵoj.

Senkonsidere al tio, kiamaniere la observitaj randaĵoj kreiĝis, gravas, ke la monazito troviĝas en senpera kunaĵo al mineraloj tre akvohavaj, eventuale eĉ sulfurhavaj. Tiuj ĉi komponantoj dum ekz. metamorfozo facile loziĝas kaj reagis kun la monazito, kio povas konduki, ekstrem-okaze, ĝis novaj mineraloj (Bildo 3), sed multe pli ofte ĝis solvado kaj rekristaligado de la monazito – memkomprene kun forviŝado de la radiometria aĝo. Jen la plej probabla klarigo, kial ĝis nun oni ne trovis monaziton pruveble antaŭvariscian, ekz. en la teritorio moldanubia (vd. ankaŭ citaĵojn kaj diskuton en *Procházka*, 2008a). La zirkono ja plej ofte estas multe malpli radioaktiva ol monazito, sed konsidere facilan metamiktiĝon ĝi ofte pligrandigas sian volumenon. Tio kondukas same al fendetado de la ĉirkaŭaj mineraloj, do faciligado, ke alvenu fluidaĵoj. Ĉi tiuj cirkonstancoj tamen ne malpliigas la alttemperaturan rezistemon de zirkono (kaj monazito), inkluzive la izotop-sistemojn U - Pb kaj Th - Pb, precipe en la granit-fandaĵo peraluminia.

La menciitaj akcesoraĵoj tamen ne montriĝas kiel unusolaj mineraloj, kiuj povis konserviĝi eĉ en granitoida magmo, sed deveni el tempoj multe pli aĝaj. En granitoj ofte aperas 1-2 dm grandaj ksenolitoj de klivebla kvarco, kiun *Rajlich* (2008) interpretas ŝoke metamorfita. Eksperimenta varmigo de la ŝoka kvarco ĝis la temperaturo super la transformiĝo α - β -kvarco (573 °C) demonstras, ke makroskope la kliveco povas konserviĝi eĉ ĉirkaŭ la temperaturo granit-magma (*Procházka* k. *Rajlich*, presate).

Ekzistas tamen ankaŭ geoĥemiaj indicoj aludantaj, ke el la rokaĵoj aĝaj eĉ pli ol 2 jarmiliardojn restis en la bohemia masivo multo pli ol nuraj zirkon-restaĵoj. Antaŭ ĉio temas pri basaj proporcioj ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr en la moldanubiaj marmoroj (*Frank* k.a., 1990; vd. diskuton en *Procházka*, 2007b, 2008b) kaj foresta Ce-anomalia en moldanubiaj marmoroj (*Procházka*, 2007a,b) kaj moldanubiaj eĉ ercmontraraj skarnoj (la donitaĝoj fare de *Pertoldová* k.a., 2009; *Kotková*, 1991).

La plej aĝaj rokaĵoj de la bohemia masivo devis trapasi almenaŭ du antaŭvarisciajn metamorfozojn: antaŭ 2 jarmiliardojn plus dum la faltiĝado kadomia fine de proterozoiko. Tiun ĉi realaĵon oni

subtaksas, kio nepre kunportas trotaksadon de la procesoj varisciaj. Ekzemplon liveru ascendo de mantel-rokaĵoj en suprajn partojn de la terkrusto, kion oni plej ofte supozas nur por la pli postaj stadioj de la variscia orogenezo, post la finiĝo de la kunprem-stadio (Cháb k.a., 2008 plus la referencoj tieaj). Procházka kaj Havlíček (2009) konstatis fragmentojn de ĥromito devenanta el tiuj ĉi mantel-rokaĵoj en la konglomerato, ankoraŭ pli poste trafita de variscia anĥimetamorfozo kaj magmatismo (Vomelová, 1998), kio al la imagoj pri malfru-variscia rapida ascendo de mantel-rokaĵoj aldonas eĉ pli ekstreman formon. Fine restas nur konstati, ke por kunmeti mozaikon pri evoluado de metamorfitaĵoj de la bohemia masivo restas ankoraŭ tre multo.

Resumo ĉeflingva

Problémy s interpretací radiometrického datování přeměněných hornin: Český masív jako příklad (diskuse)

Geochronologické údaje o předvariské historii krystalinických jednotek Českého masívu poskytuje především datování zirkonu. Nová datování zirkonů metodami umožňujícími rozlišit jednotlivé zóny (viz citovaná literatura) ukazují, že zirkon starý přibližně 2 miliardy let tvoří ne-li v celém Českém masívu, tak aspoň v jeho převážné části velmi významnou skupinu. V přeměněných horninách nelze stáří zirkonu spolehlivě interpretovat. Podle názoru autora je možnost metamorfního původu předvariských populací zirkonů v Českém masívu většinou autorů podceňována. Radioaktivní krystaly působením na své okolí doslova přitahují fluida, což podporuje jejich rekrystalizaci i za poměrně nízké teploty. Pokud připustíme vysoké stáří protolitu základních jednotek, pro něž jsou i mnohé geochemické indicie, ukazuje se, že poslední (variská) metamorfóza mohla být velmi přeceněna.

Referencoj

- Drost K., Linnemann U., McNaughton N., Fatka O., Kraft P., Gehmlich M., Tonk C., Marek J. (2004): New data on the Neoproterozoic – Cambrian geotectonic setting of the Teplá-Barrandian volcano-sedimentary successions: geochemistry, U-Pb zircon ages, and provenance (Bohemian Massif, Czech Republic). - Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 93, 742-757.
- Dubanský A. (1984): Stanovení radiogenního stáří K-Ar metodou (geochronologická data z Českého masívu v oblasti ČSR). - Sbor. Věd. Prací Vys. Šk. báň., Ř. horn.-geol., 30/1, 137-170, Ostrava.
- Frank W., Hammer S., Popp F., Scharbert S., Thöni M. (1990): Isotopengeologische Neuergbnisse zur Entwicklungsgeschichte der Böhmisches Masse prote-

rozoische Gesteinsserien und variszische Hauptorogenese. - Österr. Beitr. Met. Geophys. 1990/3, 185-228.

Friedl G., Finger F., Paquette J.-L., Quadt A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. (2004): Pre-Variscan geological events in the Austrian part of the Bohemian Massif deduced from U-Pb zircon ages. - Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch.) 93, 802-823.

Grauert B., Hännly R., Soptrajanová G. (1973): Age and origin of detrital zircons from the pre-Permian basement of the Bohemian massif and Alps. - Contrib. Min. Petrol. 40, 105-130.

Cháb J., Breiter K., Fatka O., Hladil J., Kalvoda J., Šimůnek Z., Štorch P., Vašíček Z., Zajíc J. & Zapletal, J. 2008: Stručná geologie základu Českého masívu a jeho karbonského a permského pokryvu. - Česká geologická služba, Praha, 283 s.

Kotková J. (1991): Skarns of the central part of the Krušné hory Mts. - mineralogy, geochemistry and their implications for the skarn origin. Věst. Ústř. Úst. geol. 66/4, 215-232.

Linnemann U., McNaughton N.J., Romer R.L., Gehmlich M., Drost K., Tonk C. (2004): West African provenance for Saxo-Thuringia (Bohemian Massif): Did Armorica ever leave pre-Pangean Gondwana? - U/Pb-SHRIMP zircon evidence and the Nd-isotopic record. - Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 93, 683-705.

Medaris G., Wang H., Jelínek E., Mihaljevič M. & Jakeš P. (2005): Characteristics and origins of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. - Lithos 82, 1-23.

Mingram P., Kröner A., Hegner E., Krentz O. (2004): Zircon ages, geochemistry, and Nd isotopic systematics of pre-Variscan orthogneisses from the Erzgebirge, Saxony (Germany), and geodynamic interpretation. - Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch) 93, 706-727.

Pertoldová J., Týcová P., Verner K., Košuličová M., Pertold Z., Košler J., Konopásek J., Pudilová M. (2009): Metamorphic history of skarns, origin of their protolith and implications for genetic interpretation; an example from three units of the Bohemian Massif. - Journal of Geosciences 54/2, 101-134.

Procházka V. (2007a): ETR en marsedimentoj. - Geol. Int. Sci. Rev. 10/1, 44-61, Eschwege.

Procházka V. (2007b): Složení moldanubických mramorů - významný argument pro prekambričké stáří pestré skupiny. - Sbor. Jihočes. Muz. v Č. Budějovicích, Přír. Vědy 47, 27-38.

Procházka V. (2008a): Monazit en iuj rokaĵoj el Moldanubio kaj Moldanubia batolito kaj efikoj de ĝia radioaktiveco (ĉefe kun resumo en EO). - Sbor. Jihočes. Muz. v Č. Budějovicích, Přír. Vědy 48, 33-43.

Procházka V. (2008b): Diskuse interpretace izotopů Sr a Nd v moldanubických amfibolitech a mramorech. - Sbor. Jihočes. Muz. v Č. Budějovicích, Přír. Vědy 48, 49-50.

Procházka V. (2009): Phase changes initiated by natural radioactivity in crystalline rocks and their implications. - *Geochim. Cosmochim. Acta* 73/13 (S1), A 1055 (abstrakt na konferenci *Goldschmidt* 2009).

Procházka V., Havlíček J. (2009): Plagioklasový kumulát a chromit ve slepenci ze Stříbrných Hor. - Sbor. Jihočes. Muz. v Č. Budějovicích, Přír. Vědy 49 (v tisku).

Procházka V., Rajlich P. (in prep.): Zahřívání a leptání šokového křemene z kráteru Rochechouart a podezřelého křemene z Českého masívu. Abstrakt na konf. "Vltavínové setkání 2009", Týn nad Vltavou - Nový dvůr, 25.-27.9. 2009.

Rajlich P. (2008): Český kráter. Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích, Přírodní vědy roč. 47/2007 - Supplementum, 114 s.

Rajlich P. (2009): Pozdní zirkony ze syenitových mylonitů z lomu Plešovice, granulity Blanského lesa. - Zprávy o geologických výzkumech v Roce 2008.

Rasmussen B. (2005): Zircon growth in very low grade metasedimentary rocks: evidence for zirconium mobility at ~250°C. - *Contrib. Min. Petrol.* 150, 146-155.

Rubin J.N., Henry C.D., Price J.G. (1993): The mobility of zirconium and other "immobile" elements during hydrothermal alteration. - *Chem. Geol.* 110, 29-47.

Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G.A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J. (2008): Plešovice zircon - A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. - *Chem. Geol.* 249/1-2, 1-35.

Strnad L., Mihaljevič M. (2005): Sedimentary provenance of Mid-Devonian clastic sediments in the Teplá-Barrandian Unit (Bohemian Massif): U-Pb and P-Pb geochronology of detrital zircons by laser ablation ICP-MS. - *Mineral. Petrol.* 84/1-2, 47-68.

Tichomirova M., Whitehouse M.J., Nasdala L. (2005): Resorption, growth, solid state recrystallisation, and annealing of granulite facies zircon - a case study from the Central Erzgebirge, Bohemian Massif. - *Lithos* 82, 25-50.

Vomelová H. (1998): Nemetamorfované slepence u Stříbrných Hor. - MS diplom-laboro, PřF MU Brno, 62 str.

Adreso de la aŭtoro

1. Ústav skla a keramiky VŠCHT, Technická 5, CZ-16628 Praha 6, vaclav.prochazka@vscht.cz;

2. ÚGMNZ PřF UK, Albertov 6, CZ-12843 Praha 2, Ĉeĥio

<vaclav.prochazka@vscht.cz>

Priaŭtoro informo

Václav Procházka, ekstera doktorando en la fako de geohemio, Karola Universitato en Prago. Okupita de mikroskopado kaj teĥnika mineralogio ĉe Ĥemia-teĥnologia altlernejo (VŠCHT) en Prago. Redaktoro de interreta periodaĵo *Geochemie a mineralogie* (<http://gchmin.ic.cz>).

Ŝtonoj el Adriatiko

Rüdiger SACHS (DE)

La adriatikaj sablostrandoj kaŭlonge de la orienta marbordo de Italujo allogas ĉiujare milojn da ripozemaj homoj el ĉiuj landoj por ferioestado. Sed ne ĉie regas sabloplaĝo antaŭ la multfendita bordolinio. Dum marŝado laŭlonge de la marbordo inter la urboj



Cattolica kaj *Pesaro* (kie naskiĝis en 1792 la fama itala komponisto *Gioacchino Rossini*) la surstrandaj akra-edĝaj ŝtonoj treege dolorigas sensuajn piedojn (Bildo 1). Ne sufiĉas leĝeraj gimnastaj ŝuoj sed estas bezonataj fortaj plandumoj.

Dum la alta tajdo montriĝas – kaj aŭdiĝas – la forto de la ondoj: ili frapas, disŝiras, ĵetas, rulturnas, disba-

Bildo 1: Sensua promenado laŭlonge de la italuja marbordo inter *Cattolica* kaj *Pesaro* estas doloriga afero

tegas, tiregas kaj puŝegas tien kaj reen la ŝtonojn – kaj sulkigas, fendas, ŝlifas, tajlas kaj smirgas la diserigitajn ŝtonpecojn.

Post ŝtormtajdo kaj daŭraj atakoj de la muĝantaj ondegoj, la marbordo aspektas kiel batalejo, kiel ŝtona dezerto (Bildo 2). Unuavide, oni certe ne atendas trovi en tia pelmelo plaĉajn ŝtonformojn, kiuj invitas al fotado, kunprezo aŭ kolekto.