



Deformační vývoj moldanubika v okolí Ledče nad Sázavou

Deformation progress of the Moldanubicum in the area of Leděč nad Sázavou

Jan Juráček⁽¹⁾

Abstract: The aim of this paper is a description of the model of tectonic development of the marbles and surrounding rocks on basis of the evaluation of geological structure-element orientations (foliations, joints, lineations, folds, veins and faults) and fold analyses in the area of Leděč nad Sázavou in the Bohemian-Moravian Uplands. Folds were classified according to interlimb angle, harmonic analysis, layer thickness variations, plunge of fold hinge, dip of axial surface, mechanisms of fold formation (kinematic and dynamic classification) and type of refolding with characteristic interference pattern. Metamorphic foliation was developed as a result of regional antiform progress in Upper Carboniferous. The evolution of metamorphic foliation was accompanied by the development of quartz boudinage and younger fold system, which refoliated older fold system. Metamorphic foliation and folds were penetrated by aplite veins, which were segmented by syntectonic normal faults. Deformations by strike-slip faults took place after change of vertical stress probably in the final stage of moldanubian tectogenesis in Lower Permian. Joints represent relatively the youngest structures.

Key words: Moldanubicum, Varied Group, marbles, tectonics, deformation progress.

Abstrakt: Cílem příspěvku je charakterizovat model deformačního vývoje mramorů a okolních hornin v okolí Ledče nad Sázavou na Českomoravské vrchovině na základě vyhodnocení orientace geologických strukturních prvků (foliací, puklin, lineací, vrás, žil a zlomů) a vrásových analýz. Vrásky byly klasifikovány podle velikosti meziramenního úhlu, harmonické analýzy, změn mocnosti, velikosti sklonu osy a osní plochy, mechanismu vzniku a typu převrácení. Důsledkem formování regionální antiformy ve svrchním karbonu vznikla metamorfnní foliace doprovázená vývojem budináže křemenných poloh a mladšího systému vrás, který převrásnil starší vrásový systém. Metamorfnní foliace a vrásky byly proniknuty aplitovými žilami, které byly porušeny syntektonickými poklesy. Po změně vertikálního napětí byly horniny deformovány horizontálními posuny, pravděpodobně již v závěru tektogeneze moldanubika ve spodním permu. Relativně nejmladší struktury představují pukliny.

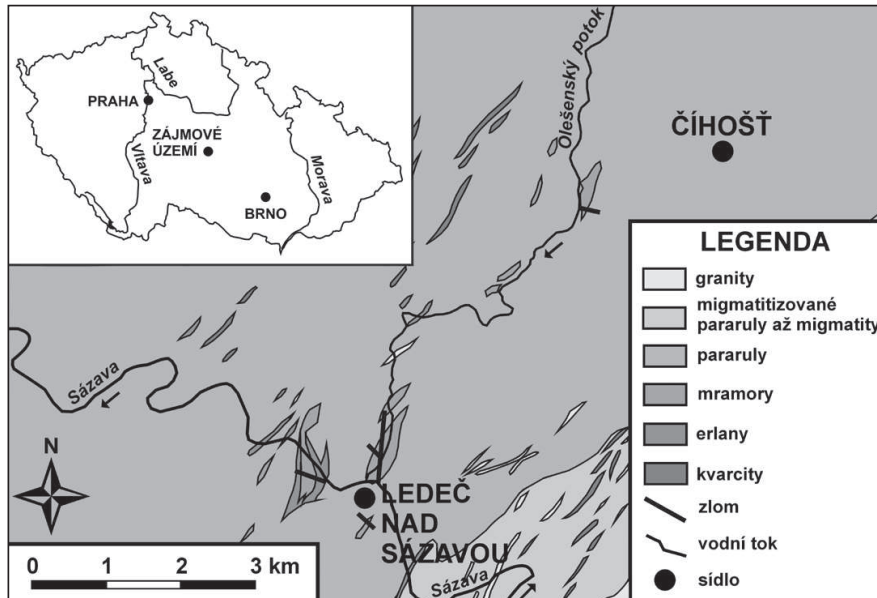
Klíčová slova: moldanubikum, pestrá skupina, mramory, tektonika, deformační vývoj.

Úvod

Cílem příspěvku je charakterizovat model deformačního vývoje mramorů a okolních hornin moldanubika v okolí Ledče nad Sázavou na Českomoravské vrchovině (obr. 1). Zájmové území

1) *Filosofická fakulta, Univerzita Hradec Králové, centrum interdisciplinárního výzkumu, Rokitsanského 62, CZ-500 03 Hradec Králové, Muzeum východních Čech v Hradci Králové, Eliščino nábřeží 465, CZ-500 01 Hradec Králové 1, e-mail: j.juracek@muzeumhk.cz*

je budováno především pásmem čoček mramorů směru zhruba SV–JZ o délce přibližně 11 km, které jsou součástí chýnovsko-ledečského pruhu pestré skupiny moldanubika. V práci je hodnoceno pouze území v blízkém okolí a intravilánu města Ledče nad Sázavou a v okolí obce Číhošť. Nebyla věnována pozornost jz. odlehlejšímu okolí Ledče nad Sázavou nedaleko obce Kožlí, a to z důvodu podrobné tektonické prozkoumanosti tohoto území v souvislosti s výstavbou vodního díla Švihov obsažené v práci Jurák (1970) a vzhledem k administrativním průtahům týkajících se vstupu do I. ochranného pásma této vodní nádrže.



Obr. 1 – Poloha zkoumaného území.

Fig. 1 – Location of research area.

Okolí Ledče nad Sázavou budují převážně horniny pestré skupiny moldanubika, kromě mramorů zejména sillimanit-biotitické pararuly, erlany, kvarcity a variské granitoidy melechovského masivu (Štěpánek 1992a, b, 1995, Štěpánek & Fišera 1996). Z platformního pokryvu jsou zastoupeny fluvialně-limnické terciérní sedimenty a kvartérní fluvialní, deluviofluvialní a deluvialní sedimenty. Z tektonického hlediska je zájmové území situováno na sz. okraji západního křídla regionální antiformy s osou ve směru SSV–JJZ a generálním sklonem k SSV vzniklé v důsledku intruze granitoidů do moldanubických metamorfitů (Štěpánek et al. 2002). Foliace mají v celém území generální směr SV–JZ až SSV–JJZ se sklonem k SZ–ZSZ, s odchylkou v okolí Ledče nad Sázavou o směru S–J se sklonem k Z (Koutek 1949, Králík et al. 1967). Beneš et al. (1963) rozlišil dva systémy vrásových os a lineací – starší ve směru S–J až SSZ–JJV a mladší stáčeující se do směru V–Z až SV–JZ. Jurák (1970) charakterizoval ojedinělé vrásky v pararulách jako oblá a ploché v řádu cm až dm. V erlanech a mramorech byly podle něj vrásové struktury zachovány v polohách znečištěných silikáty. Ve shodě s prací Beneš et al. (1963) rozlišil dva vrásové systémy.

Zlomové linie v zájmovém území náleží podle práce Mitrenga et al. (1979) směru S–J až SV–JZ (staršímu) a SZ–JV (mladšímu). Zlomy staršího systému jsou většinou souhlasné s průběhem foliací a vrásových struktur metamorfitů a docházelo podél nich k opakovaným vertikálním pohybům.

Schulmann et al. (1997) charakterizoval tektonometamorfní vývoj pláště melechovského masivu deformačními fázemi D1–D4. Deformační fáze D1 se podle něj odehrála před regionální

anatezí a zahrnuje metamorfní foliace S1, v mramorech charakterizovaná střídáním pásků, která zapadá k Z–SZ pod středními úhly, dále lineace L1 vyvinutá ve formě uspořádání biotitových agregátů v pararulách a izoklinální intrafoliační vrásy V1 vyvinuté v páskovaných pararulách nebo erlanech. Deformační fáze D2 je v pestré skupině reprezentovaná vrásami V2, které vznikly v horninách s kompozičním páskováním. Osy těchto vrás zapadají pod mírnými úhly k SSV či JJZ, osní plochy vrás jsou většinou orientovány k Z–SZ. Kolmo na vrásovou osu je vyvinuta lineace L2, charakterizovaná svráštěním případně protažením minerálních agregátů. Deformační fáze D3 představuje pokračování fáze D2, přičemž rozdíly jsou dány ztrátou duktility spjatou s rychlým výstupem. Struktury D3 jsou zastoupeny žilami granitoidů, které intrudovaly do trhlin. Deformační fáze D4 je zastoupena nejmladšími strukturami – puklinami.

Metodika

V roce 2011 bylo na zvolených 64 dokumentačních bodech prováděno měření orientací tektonických jevů geologickým kompasem typu Freiberg, a to spádníkovým způsobem. Byly zaznamenávány orientace foliací, puklin, lineací, vrás, aplitových žil a zlomů (zlomových ploch, rýhování). Celkem bylo provedeno 1733 kompasových měření, která byla statisticky vyhodnocena v programech Excel a Spheristat. Byly zkonstruovány tektonogramy foliací, puklin, lineací, vrásových os, osních ploch vrás, aplitových žil, zlomů a vztahu vrás a lineací v rovnoploché projekci (Schmidově síti) na spodní polokouli.

Vrásy byly vyhodnoceny několika klasifikacemi – na základě tvaru vrásové linie zahrnující velikost meziramenního úhlu a harmonickou analýzu (Ramsay & Huber 1987, Stabler 1968), podle Ramsayho klasifikace (Ramsay 1967) na základě změny mocnosti vrásové vrstvy, podle velikosti sklonu vrásové osy a osní roviny vrás (Fleuty 1964), podle mechanismu vzniku a podle typu převrásnění.

Výsledky

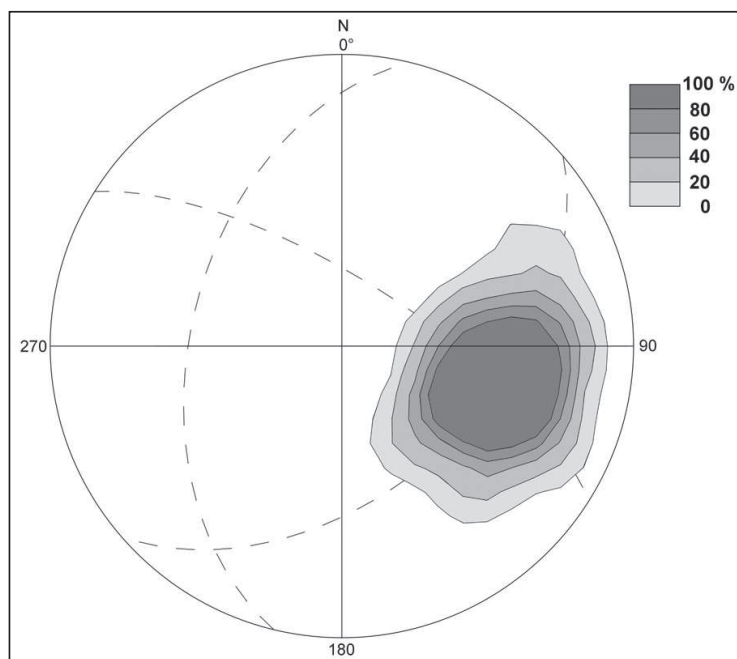
Tektonogramy

Z analýzy tektonogramu foliací (obr. 2) vyplývá dominantní směr foliací SV–JZ až SSV–JJZ se sklonem 30–60° k SZ–ZSZ. Pukliny mají generální směr ZSZ–VJV až JZ–SV o sklonu 20–30° k JJZ–JV (maximum A, obr. 3), podružně směr SSV–JJZ se sklonem 40–60° k VJV (maximum B, obr. 3). Lineace mají sklon převážně 40–50° k SZ–SSZ (obr. 4).

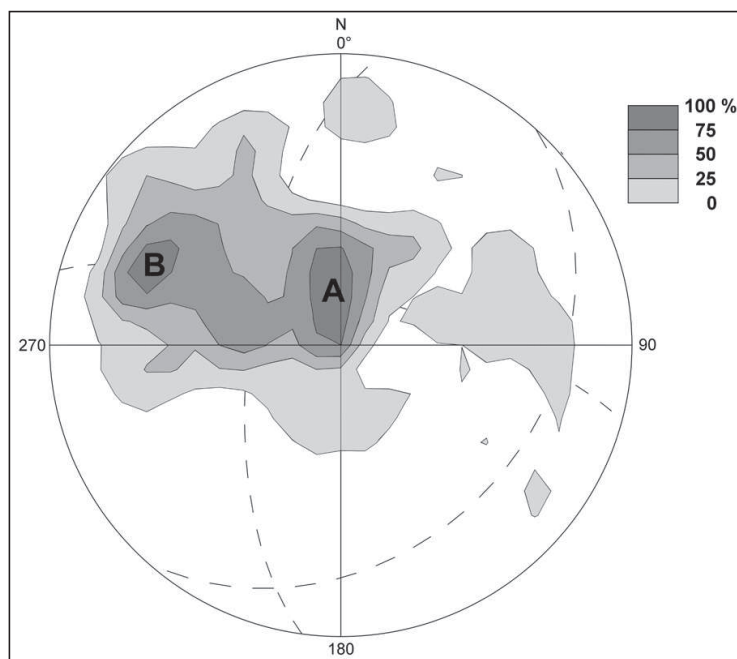
Vrásové osy (obr. 5) jsou ukloněny generálně 5–20° k J–JJZ respektive S–SSV. Osní roviny vrás (obr. 6) jsou převážně orientovány ve směru SV–JZ až SZ–JV se sklonem 5–25° k JV–JZ. Aplitové žíly mají sklon 55–65° k V–VSV (obr. 7).

Pouze na několika dokumentačních bodech byly determinovány zlomové plochy, na některých s patrnou striací. Tektonogram zlomů je uveden na obr. 8. Zlomová plocha na dokumentačním bodě č. 7 je orientována ve směru VSV–ZJZ se sklonem 82° k JJZ, striace na tomto bodě má sklon 45° k ZSZ. Na dokumentačním bodě č. 43 má zlomová plocha směr S–J se sklonem 74° k Z a striace sklon 10° k SV. Zlomová plocha na dokumentačním bodě č. 45 je orientována ve směru S–J osklonu 59° k V.

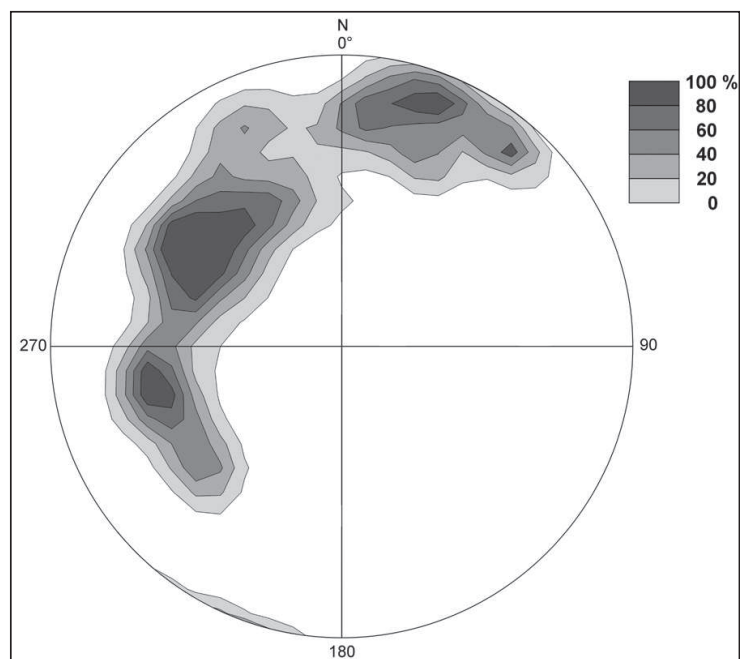
Na dokumentačním bodě č. 51 mají zlomové plochy generální orientaci ve směru S–J až SSV–JJZ se sklonem 25–85° k Z–ZSZ (obr. 8). Zlomové plochy na dokumentačním bodě č. 52 mají směr SSZ–JJV až SSV–JJZ se sklonem 70–75° k VSV–VJV (obr. 8).



Obr. 2 – Tektonogram pólů foliací. Kontury vyjadřují relativní hustotu bodů 704 měření foliací.
Fig. 2 – Tectonogram of foliations. Contours represent relative density of points from 704 foliations.

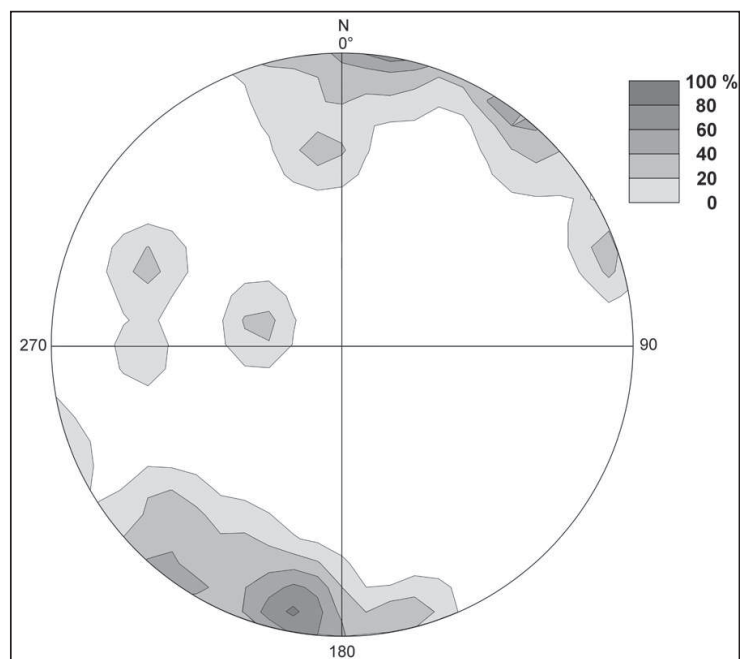


Obr. 3 – Tektonogram pólů puklin s hlavním maximem (A) a vedlejším maximem (B). Kontury vyjadřují relativní hustotu bodů 593 měření puklin.
Fig. 3 – Tectonogram of joints with a general maximum (A) and smaller maximum (B). Contours represent relative density of points from 593 joints.



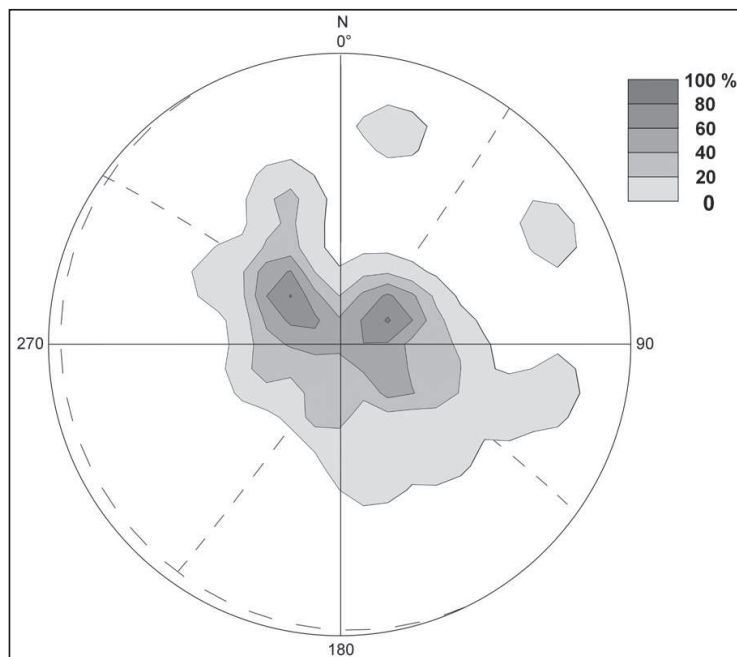
Obr. 4 – Tektonogram lineací. Kontury vyjadřují relativní hustotu bodů 155 měření lineací.

Fig. 4 – Tectonogram of lineations. Contours represent relative density of points from 155 lineations.

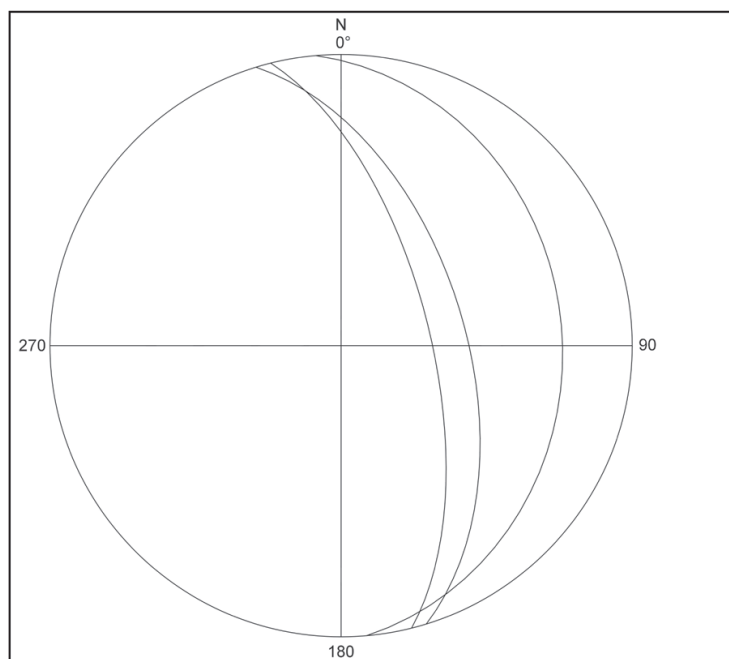


Obr. 5 – Tektonogram spádnic vrásových os. Kontury vyjadřují relativní hustotu bodů 36 vrásových os.

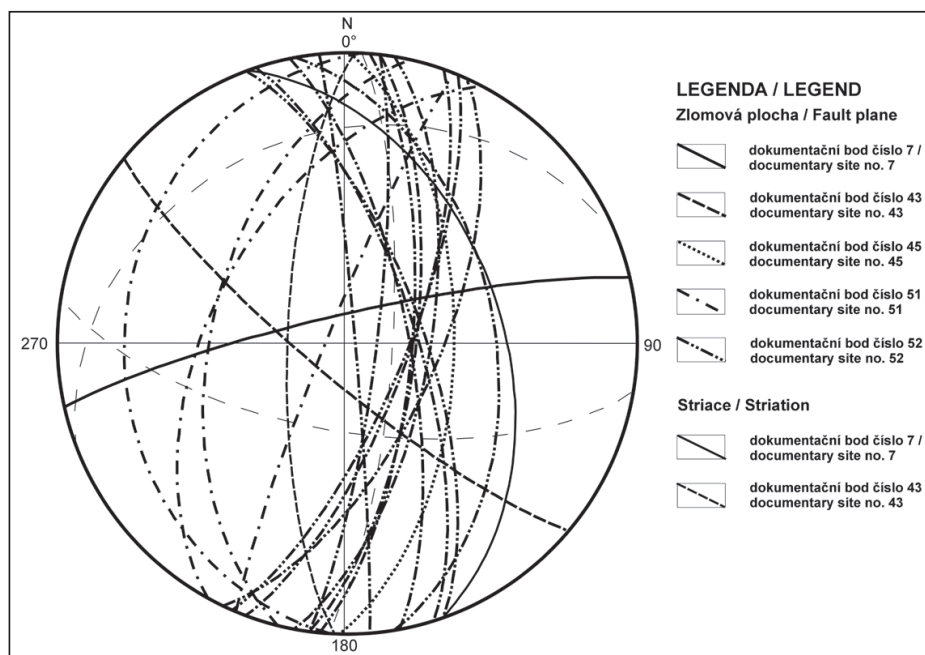
Fig. 5 – Tectonogram of fold axes. Contours represent relative density of 36 fold axes.



Obr. 6 – Tektonogram pólů osních rovin vrás. Kontury vyjadřují relativní hustotu bodů 36 osních rovin vrás.
Fig. 6 – Tectonogram of axial surfaces. Contours represent relative density of 36 axial surfaces.



Obr. 7 – Tektonogram pólů aplitových žil. Orientace tří měření jsou zobrazeny oblouky.
Fig. 7 – Tectonogram of aplite veins. Three orientations are figured by arcs.

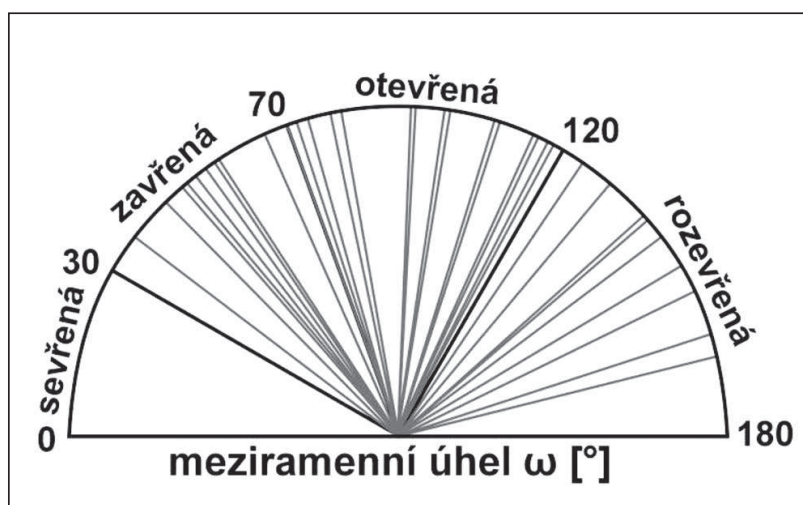


Obr. 8 – Tektonogram pólů zlomových ploch a spádnic striací.

Fig. 8 – Tectonogram of fault planes and striations.

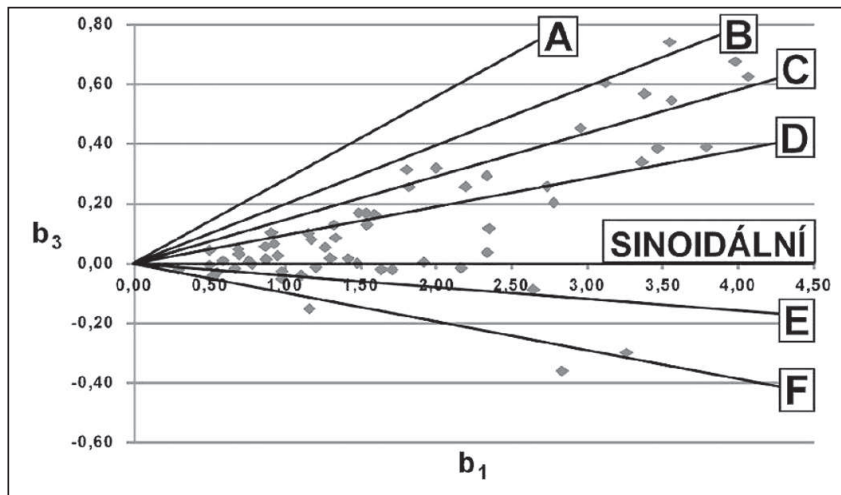
Vrásová analýza

Podle velikosti meziramenního úhlu spadla většina hodnocených vrás do kategorie otevřených vrás, méně do zavřených a rozevřených vrás (obr. 9). Z harmonické analýzy vyplynulo, že většina vybraných vrás náleží do kategorie D – parabolických, méně v kategorii B a C (semieliptických, obr. 10). Podle Ramsayho (1967) klasifikace většina hodnocených poloh vrásových čtvrtvln patří do tříd 1C a 3 (obr. 11). Podle velikosti sklonu osy jsou vrásy (obr. 12) většinou mírně ponořující se, méně středně se ponořující nebo (sub)horizontální. Z hlediska velikosti sklonu osní roviny vrás jsou většinou ležaté nebo mírně nakloněné (obr. 12).

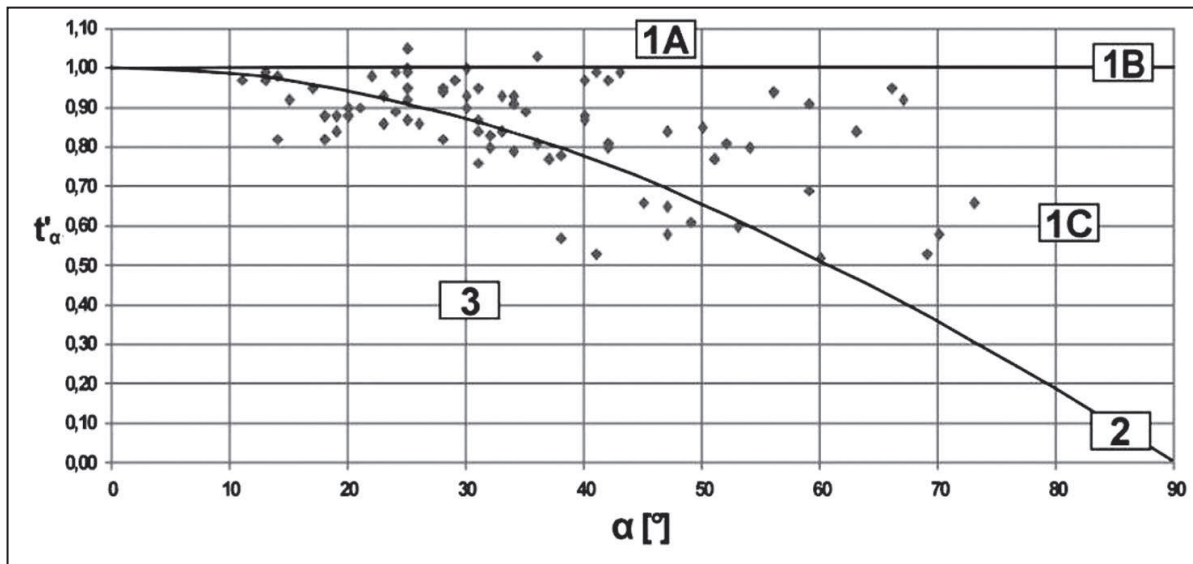


Obr. 9 – Vrásy podle velikosti meziramenního úhlu ω .

Fig. 9 – Folds due to inter limb angle ω .



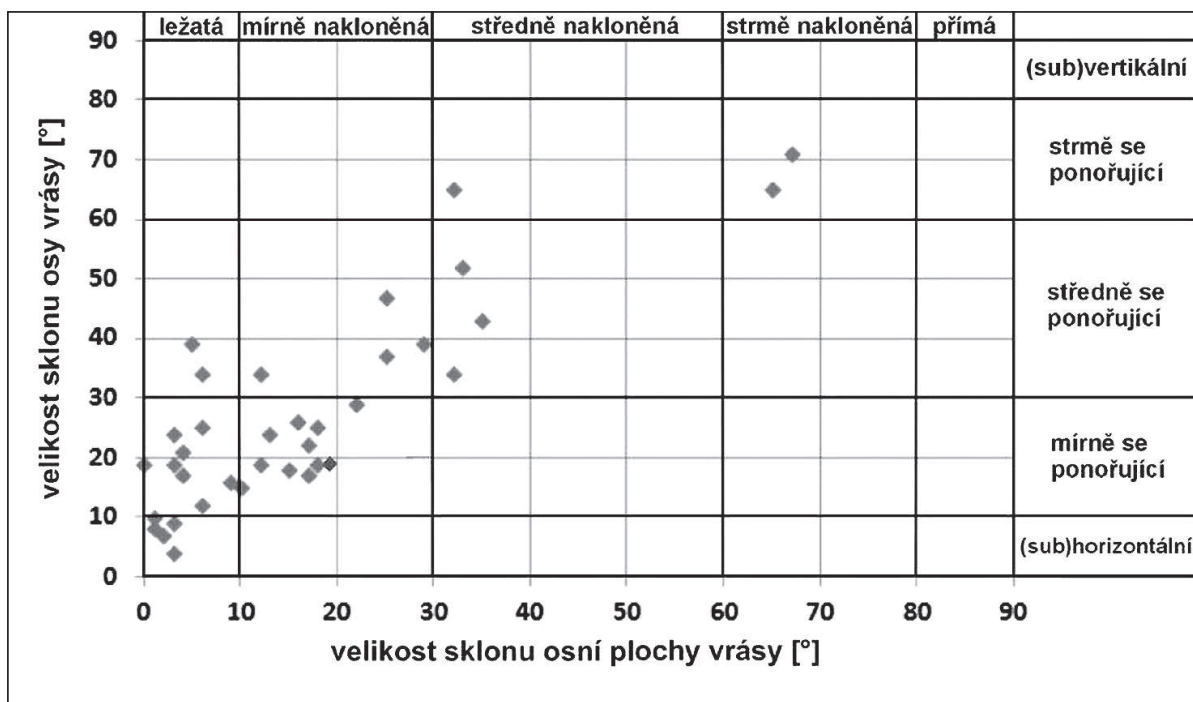
Obr. 10 – Vrásy podle koeficientů b_1 a b_3 v rámci harmonické analýzy (Ramsay & Huber 1987, Stabler 1968).
Fig. 10 – Folds due to coefficients b_1 and b_3 in the frame of harmonic analysis (Ramsay & Huber 1987, Stabler 1968).



Obr. 11 – Vrásy podle práce Ramsayho klasifikace (Ramsay 1967).
Fig. 11 – Folds due to Ramsay (1967) classification.

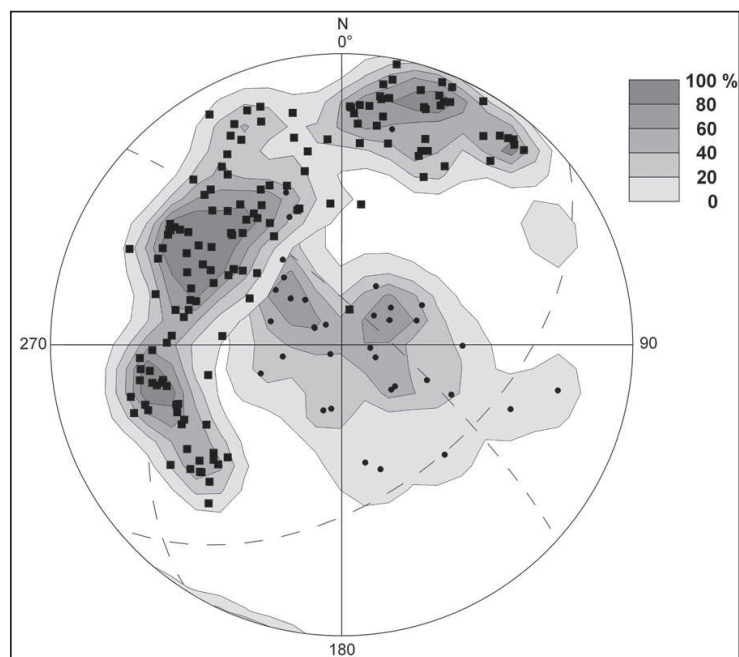
Diskuze

Metamorfnní foliace mohla vznikat dšsledkem vývoje regionální antiformy. Z charakteru pře-
 vrásněnání (obr. 14) a tektonogramu vrásových os (obr. 5) vyplynulo, že v zájmovém území byly
 determinovány dva systémy vrás, prvý s osami zapadajícími k S–SSV respektive J–JJZ, druhý
 k VSV respektive ZJZ. Vzhledem k výraznějšímu prvému systému, což je dáno počtem měřitel-
 ných orientací, lze usuzovat, že vrásy prvního systému jsou naloženými vrásami, tj. mladšími,
 kdežto vrásy druhého systému jsou pře-
 vrásněnými vrásami, tj. staršími, u nichž již nebylo vždy
 možné vzhledem k pře-
 vrásněnání určit vrásové parametry. Orientace vrásových os obou systémů by
 odpovídaly poznatkům práce Beneš et al. (1963), Jurák (1970) a Schulmann et al. (1997).



Obr. 12 – Vrásy podle velikosti sklonu vrásové osy a osní roviny (Fleuty 1964).

Fig. 12 – Folds due to plunge of fold hinge and dip of axial surface (Fleuty 1964).



Obr. 13 – Tektonogram pólů osních rovin vrás (body) a spádnic lineací (čtverce). Kontury vyjadřují relativní hustotu bodů.

Fig. 13 – Tectonogram of fold axial surfaces (points) and lineations (squares). Contours represent relative density of points.

Z hlediska klasifikace vrás podle změn mocnosti (obr. 11) náleží většina hodnocených vrás do tříd 1C a 3. Při střídání párů vrásových vrstev složených z kompetentní a nekompetentní polohy má podle práce Williams (1980) kompetentní poloha, která byla vrásněna, třídu 1B a nekompetent-

ní poloha třídu 3, ovšem dvojice obou poloh má celkově výslednou třídu 2, což by nasvědčovalo, že mechanismem vzniku vrás v kompetentních polohách byl prostý ohyb. Na vzniku vrás ve třídách 1C a 3 se podílel také mechanismus plastického toku, který doprovázel prostý ohyb. Vrásky vzniklé mechanismem plastického toku vznikaly ve stavu na přechodu mezi plastickou a křehkou deformací horninového materiálu (Jaroš & Vachtl 1992).

Pro hodnocení vrás z hlediska dynamické klasifikace byl vyhodnocen vztah spádnic lineací a pólů osních rovin vrás. Z tektonogramu (obr. 13) je patrná generálně subparalelní orientace pólů osních rovin vrás k rovině proložené pásem lineací, což by mohlo naznačovat, že lineace vznikala souběžně s vrásami. Vrásky byly při vzniku namáhány mechanismem aktivního vrásnění, a to podélným ohybem.

Vizuálním porovnáním fotografií z terénu (např. na obr. 14) s typy převrácených vrás charakterizovaných specifickým intersekčním obrazcem byl determinován typ převrácení. Patrné neuzavřené struktury na ukázce převrácení na obr. 14 indikují koaxiální (souosé) převrácení. Zakřivená stopa osní plochy více deformovaných starších vrás poukazuje na protisměrné převrácení.

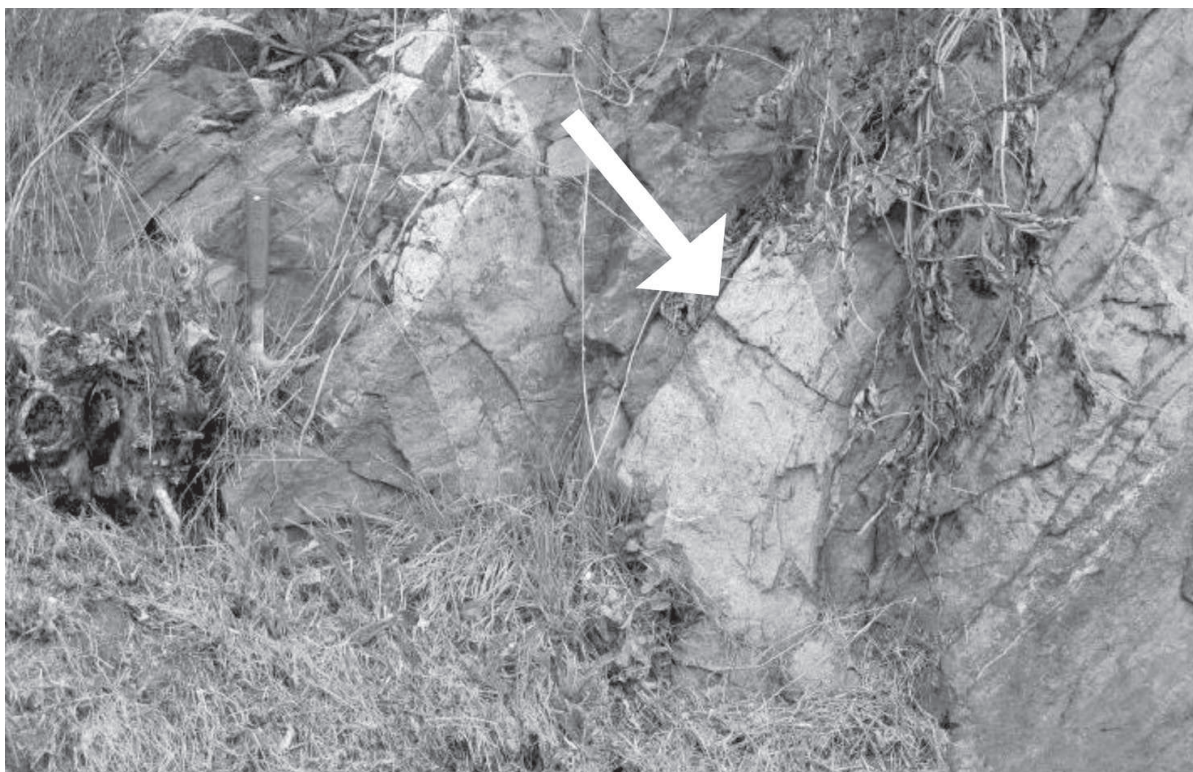
Budináž křemenných poloh se vyvíjela natahováním kompetentní polohy v nekompetentním prostředí. Protože se v terénu nepodařilo s jistotou určit všechny segmenty budinovaných poloh, nebyl proveden výpočet natažení pro stanovení míry délkové deformace. Budiny mají soudkovitý charakter, v okolní hornině jsou místy patrné tlakové stíny.

Vrásky byly proniknuty intruzí aplitových žil o generálním sklonu k V–VSV (obr. 7). Pravděpodobně především zvýšením tlaku fluid, případně poklesem teploty a překročením kritické rychlosti, došlo ke změně duktilní deformace v rupturní.



Obr. 14 – Ukázka intersekčního obrazce koaxiálního protisměrného převrácení (označeno šipkami) na dokumentačním bodě č. 51 (foto J. Juráček 2011).

Fig. 14 – Sample of intersection pattern of coaxial anticurvature refolding (marked by arrows) in documentary site no. 51 (photo by J. Juráček 2011).



Obr. 15 – Odsazení aplitových žil (označeno šipkou) na dokumentačním bodě č. 51 (foto J. Juráček 2011).
Fig. 15 – Step of aplite veins (marked by arrow) in documentary site no. 51 (photo by J. Juráček 2011).



Obr. 16 – Křemenné žíly deformované nuceným vrásněním (foto J. Juráček 2011).
Fig. 16 – Quartz veins deformed by forced folding (photo by J. Juráček 2011).

Orientace zlomových ploch na dokumentačním bodě č. 51 (obr. 8) se téměř shoduje s maximem orientace pólů foliací (obr. 2), což by nasvědčovalo, že se jedná o směrný souklonný až kosý intraformační zlom. Jelikož bylo na tomto dokumentačním bodě vizuálně zjištěno odsazení aplitových žil nad zlomovou plochou (obr. 15), lze tento zlom charakterizovat jako pokles se sklonem zlomové plochy generálně k Z. Ke vzniku tohoto zlomu došlo ještě v době intruze aplitových žil, proto jej lze označit za syntektonickou rupturu. Pokles by mohl být doložen rovněž na dokumentačním bodě č. 43 (obr. 8), kde byla striace orientována po spádnici.

Změnou vektoru respektive snížením intenzity vertikálního napětí podle Andersonovy (1942) teorie vzniku zlomů se poklesy měnily na horizontální posuny, které byly zjištěny na dokumentačních bodech č. 7, 45 a 52 (obr. 8). Horizontální posun na dokumentačním bodě č. 7 byl doložen striací (obr. 8). Z důvodu chaotického usměrnění minerálních nárůstů na zlomové ploše nebyl určen směr pohybu ker. Pohyby na zlomu pravděpodobně probíhaly v různých směrech a byly zřejmě doprovázeny přízломovou deformací na tahové trhlině, která se projevila vznikem křemenných žil deformovaných nuceným vrásněním resp. příčným ohybem (obr. 16), kdy mohly vznikat obepínající vrásy mezi křemennými budinami. Na dokumentačních bodech č. 45 a 52 (obr. 8) byla vizuálně rozlišena přední a zadní kra a téměř vertikální zlomová plocha. Všechny zjištěné zlomy by mohly na základě orientace zlomové linie odpovídat staršímu systému zlomů podle práce Mitrenga et al. (1979).

Pukliny mohou představovat relativně nejmladší struktury. Jsou zpravidla otevřené, v menší míře vyhojené křemennými žilami. Maximum v levé části tektonogramu pólů puklin (obr. 3) by mohlo odpovídat staršímu systému puklin podle práce Jurák (1970).

Závěr

Na základě terénních měření orientace geologických strukturních prvků a vrásové analýzy byl vytvořen model deformačního vývoje mramorů moldanubika a okolních hornin v okolí Ledče nad Sázavou na Českomoravské vrchovině. V důsledku formování regionální antifomy ve svrchním karbonu vznikla metamorfní foliace doprovázená vývojem budináže křemenných poloh a mladšího systému vrás, který převrášnil starší vrásový systém. Metamorfní foliace a vrásy byly proniknuty aplitovými žilami, které byly porušeny syntektonickými poklesy. Po změně vertikálního napětí byly horniny deformovány horizontálními posuny, pravděpodobně v závěru tektogeneze moldanubika ve spodním permu. Relativně nejmladšími strukturami jsou pukliny.

Literatura

- Anderson E. M. (1942): The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain. – Oliver and Boyd, Edinburgh, 191 p.
- Beneš K., Čech V., Hanuš V., Havlíček V., Horný R., Kalášek J., Klein V., Koutek J., Losert J., Matějovská O., Řezáč B., Soukup J., Svoboda J., Suk M., Urbánek L., Vavřínová M., Vachtl J., Vodička J., Weiss J. & Zrůstek V. (1963): Vysvětlivky k Přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XXII Jihlava. – Geofond v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 200 p.
- Fleuty M. J. (1964): The description of folds. – Proceedings of the Geologists Association, London 75: 461–492.
- Jaroš J. & Vachtl J. (1992): Strukturní geologie. – Academia, Praha, 437 p.
- Jurák J. (1970): Geologické poměry a výskyty fluoritu v území mezi Kožlím a Zahrádkou. – Ms., 70 p. [Dipl. pr.; Depon. in: Česká geologická služba-Geofond, Praha, P22112.]
- Koutek J. (1949): Zpráva o geologickém mapování na listu Vlašim. – Věst. St. geol. úst. Českosl. rep., Praha, 24: 114–116.

- Králík F., Skřivánek F. & Turnovec I. (1967): Výzkum krasových jevů mezi Ledčí nad Sázavou a Kožlím v Českomoravské vrchovině. – Českosl. kras, Praha, 18: 49–62.
- Mitrena P., Rejl L. & Weiss J. (1979): Geologie širšího okolí Humpolce. – In: Anonymus, Sborník příspěvků ke geologickému výzkumu jihozápadní části Českomoravské vrchoviny, suppl. 19: 10–19, Sborn. Jihočes. Muz. v Českých Budějovicích.
- Ramsay J. G. (1967): Folding and Fracturing of Rocks. – Mc Graw-Hill, New York, London, 568 p.
- Ramsay J. G. & Huber M. I. (1987): The Techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures. – Academic Press, London, San Diego, 391 p.
- Schulmann K., Hanák J., Hrouda F., Konopásek J., Ondra P., Štípská P., Táborská Š., Ulrich S., Venera Z. & Wohlgemuth J. (1997): Studie strukturních poměrů melechovského masivu a fyzikálních vlastností jeho hornin. – Ms., 60 p. [Závěr. zpr.; depon. in: Česká geologická služba-Geofond, Praha, P93388.]
- Stabler C. L. (1968): Simplified Fourier analysis of fold shapes. – Tectonophysics, Amsterdam, 6: 343.
- Štěpánek P. (1992a): Soubor geologických a účelových map, Geologická mapa ČR 1:50 000, list 13-34 Zruč nad Sázavou. – Český geologický ústav, Praha.
- Štěpánek P. (1992b): Soubor geologických a účelových map, Geologická mapa ČR 1:50 000, list 23-12 Ledec nad Sázavou. – Český geologický ústav, Praha.
- Štěpánek P. (1995): Soubor geologických a účelových map, Geologická mapa ČR 1:50 000, list 23-21 Havlíčkův Brod. – Český geologický ústav, Praha.
- Štěpánek P. & Fišera M. (1996): Soubor geologických a účelových map, Geologická mapa ČR 1:50 000, list 13-43 Golčův Jeníkov. – Český geologický ústav, Praha.
- Štěpánek P., Adamová M., Breiter K., Hruběš M., Kadlecová R., Lhotský P., Lochmann Z., Manová M., Mlčoch B., Nekovařík Č., Rambousek P. & Šalanský K. (2002): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČR 1:25 000, 23-213 Humpolec. – Český geologický ústav, Praha, http://www.geology.cz/demo/CD_GEOL_MAP25/23213/23213.htm (přístup 16. 2. 2013).
- Williams J. R. (1980): Similar and chevron folds in multi layers using finite-element and geometric models. – Tectonophysics, Amsterdam, 65: 323–338.

Došlo: 16. 2. 2013

Přijato: 16. 7. 2013