

mentogenní původ hydrotermálních roztoků, z nichž zrudnění vznikalo. Celkový charakter i podmínky vzniku jsou velmi podobné ostatním výskytům polymetalické mineralizace v oblasti Nízkého Jeseníku (Losert 1957, Slobodník - Dolníček 2001).

#### Literatura:

- Losert, J. (1957): Ložiska a výskyt olověno-zinkových rud v severomoravském kulmu. Oderské vrchy - okolí Hrabůvky.- Rozpr. CSAV, ř. mat.-přír. věd, 67, 4, 1-61. Praha.  
Slobodník, M, Dolníček, Z. (2001): Základní charakteristika fluid z hydrotermální mineralizace u Hrabůvky, Nízký Jeseník.- Geol. Výzk. Mor. Slez. v r. 2000, 8. Brno.

## STUDIUM ORIENTACE HLAVNÍCH OS PALEONAPĚTÍ V ŠIRŠÍM OKOLÍ MORAVSKÉ BRÁNY - VÝSLEDKY PRVNÍ ETAPY

Study of orientation of the principal paleostress axes in the vicinity of the  
Moravian Gateway - results of the first stage

**Josef Havíř**

Ústav fyziky Země, PřF MU, Tvrdeho 12, 602 00 Brno, e-mail: havir@ipe.muni.cz

(25-11 Hlubočky, 25-13 Přerov, 25-14 Valašské Meziříčí)

**Key words:** *Moravian Gateway, Culm and Devonian sediments, stress analyses*

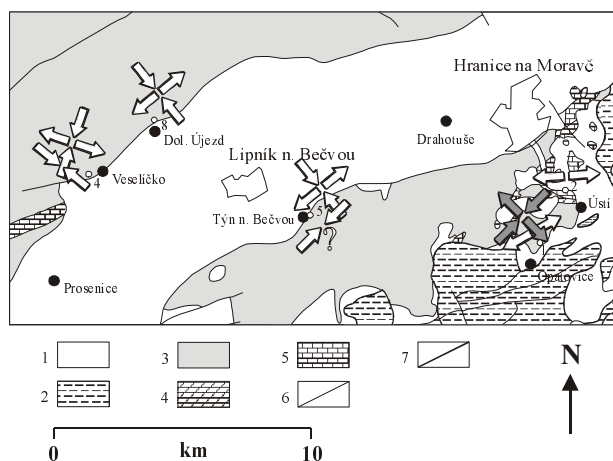
#### Abstract:

*The orientation of the principal paleostress axes were studied in the Palaeozoic sediments in the vicinity of the Moravian Gateway. The paleostress analyses were based on the fault geometry investigation. Several different paleostress fields were found. Rotation of fault geometry in the tilted fold limb during the Variscan folding proves the Variscan age of some fields. On the other hand, the orientation of computed extensional paleostress fields (the maximum extension is orientated from NE-SW to ENE-WSW) could be comparable to the young (up to Pliocene/Pleistocene) extension.*

V průběhu roku 2000 proběhla první etapa měření orientace zlomů se striacemi na lokalitách v širším okolí Moravské brány. Na základě studia geometrie zlomů a kinematických indikátorů pak byla počítána orientace paleonapětíových polí. V tomto článku jsou shrnuty základní výsledky samostatných analýz, které byly provedeny na pěti lokalitách paleozoických sedimentů (sedimenty kulmského flyše a devonské vápence) situovaných ve kře Maleníku a na jv. okraji Nízkého Jeseníku při okraji neogenní výplně Moravské brány (viz obr. 1).

Pro paleonapětíovou analýzu byl využit především program BRUTE3 (Hardcastle - Hills 1991). Tento program testuje po předem stanoveném kroku všechny existující redukované tenzory napětí a vybírá z nich ty, které splňují pro daný soubor dat předem určená kritéria. Redukovaný

tenzor napětí, definovaný v práci Angeliera et al. (1982), má čtyři nezávislé parametry. Tři parametry určují orientaci hlavních os napětí, čtvrtým parametrem je tzv. tvarový faktor (viz Angelier 1975) charakterizující tvar elipsoidu napětí. Program BRUTE3 hledá redukované tenzory napětí s takovými parametry, aby úhel mezi měřeným směrem pohybu na ploše zlomu a teoretickou orientací vektoru tečného napětí nepřesáhl pro žádný zlom hodnotu 25° a aby byla velikost tečného napětí dostatečně velká pro překonání tření. Výsledkem je soubor všech přípustných redukovaných tenzorů. Výběr nejvhodnějšího řešení je možné provádět dvěma způsoby. Pro každou z hlavních os byla zjišťována její střední orientace jako odpovídající charakteristický vektor matice orientace. Tento směr lze pak označit jako „nejpravděpodobnější“. Kromě toho byla sledována také průměrná hodnota úhlu mezi měřeným



Obr. 1 - Umístění studovaných lokalit paleozoických sedimentů na schematické geologické mapě (geologická mapa převzata podle Roth 1990, zjednodušeno a upraveno) a zjištěné orientace hlavních os paleonapětí (znázorněny jsou orientace v době aktivity zlomů). Bílé šipky - výsledky analýz provedených pomocí programu BRUTE3 (Hardcastle - Hills 1991), šedé šipky - výsledky analýzy provedené metodou klínů (Angelier - Mechler 1977). Legenda: 1 - neogén, 2 - karpatské flyšové příkrovy, 3 - kulum, 4 - spodnokarbonské vápence, 5 - devonské vápence, 6 - zlomy, 7 - čela příkrovů.

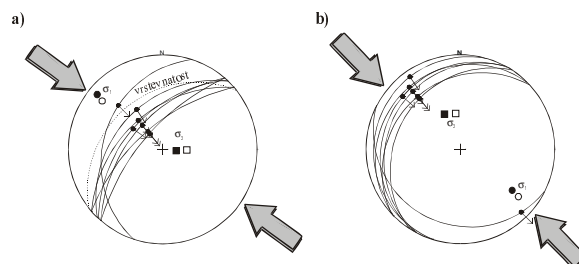
Fig. 1 - Situation of the studied sites of the Palaeozoic sediments on the schematic geological map (after Roth 1990, simplified) and computed orientations of the principal paleostress axes (the orientations at the moment of the fault plane activity). White arrows - results of analyses computed by program BRUTE3 (Hardcastle - Hills 1991), gray arrows - result of analysis by method of Angelier and Mechler (1977). Legend: 1 - Neogene, 2 - Carpathian flysch nappes, 3 - Culm, 4 - Lower Carboniferous limestones, 5 - Devonian limestones, 6 - faults, 7 - front of nappes.

směrem pohybu na ploše zlomu a teoretickou orientací vektoru tečného napětí. Jako „nejlepší“ pak bylo označeno to řešení, pro které byla tato průměrná hodnota nejmenší.

U některých zjištěných paleonapětí polí lze spolehlivě doložit jejich variské stáří. Jedná se především o paleonapětí pole určená na lokalitách kulmských hornin Veselíčko (lokalita 4) a Dolní Újezd (lokalita 8).

Na lokalitě Veselíčko byla jako jedno z řešení paleonapětí analýz zjištěna komprese spojená s variským vrásněním. Vztah přesmyků měřených v rameni vrásky uklánějícím se k SZ ke kompresi přibližně kolmé k vrásové ose (směr maximální komprese SZ-JV) dokládají také podobné orientace mezivrstevních prokluzů vzniklých při ohybu vrstev. Měřené přesmyky mohly mít v době své aktivity mnohem menší sklon, jak ukazuje jejich zpětná rotace podél subhorizontálně uložené vrásové osy (obr. 2).

V případě druhého napětí pole zjištěného na lokalitě Veselíčko je vliv rotace vrstev při variském vrásnění na konečnou geometrii zlomů nepochybný. Také v tomto případě byly zlomy měřeny v rameni vrásky uklánějícím se k SZ. Jedná se o sérii levostranných střihů na zlomech se současným sklonem 34° až 45°. V době své aktivity však měly tyto zlomy charakter velmi strmých levostranných posunů (viz obr. 3). Maximální komprese působila ve směru



Obr. 2 - Orientace zlomů a hlavních os paleonapětí spojených s variským vrásněním na lokalitě Veselíčko (velké oblouky - plochy zlomů použité pro analýzu, bílé kolečko - charakteristický vektor matice orientace přípustných os maximální komprese, černé kolečko - „nejlepší“ směr maximální komprese, bílý čtverec - charakteristický vektor matice orientace přípustných os maximální extenze, černý čtverec - „nejlepší“ směr maximální extenze), Lambertova projekce, spodní polokoule: a) měřená orientace; b) orientace v době aktivity zlomů.

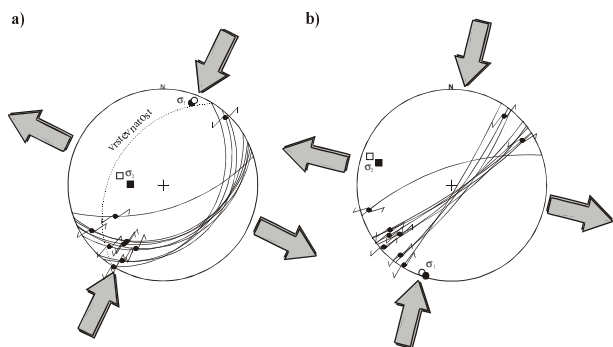
Fig. 2 - Orientation of faults and principal paleostress axes connected with the Variscan folding at the site Veselíčko (great circles - fault planes used for analysis, white circle - eigenvector of the orientation matrix of the acceptable maximum compression axes, black circle - „best“ orientation of the maximum compression, white square - eigenvector of the orientation matrix of the acceptable maximum extension axes, black square - „best“ orientation of the maximum extension), Lambert projection, lower hemisphere: a) measured orientations, b) orientations at the moment of the fault plane activity.

SV-JZ, maximální extenze ve směru SZ-JV.

Podobným způsobem byly variským vrásněním ovlivněny původní horizontální posuny také na lokalitě Dolní Újezd. Orientace hlavních os paleonapětí zjištěné na této lokalitě se ale zásadně liší od řešení z lokality Veselíčko. Na lokalitě Dolní Újezd byla osa maximální komprese orientována ve směru SZ-JV a osa maximální extenze ve směru SV-JZ. Z dřívějších paleonapětí analýz prováděných na různých lokalitách ve východní části Nížkého Jeseníku jsou známy paleonapětí odpovídající jak řešení z lokality Veselíčko tak i paleonapětí odpovídající řešení z lokality Dolní Újezd (viz Fodor 1991, Havíř 2000).

Variské stáří lze pravděpodobně přisoudit také jednomu z paleonapětí zjištěných na lokalitě kulmských sedimentů Týn n. Bečvou (lokalita 5). Jedná se o napětí určené ze zlomů spojených s prokluzy na vrstevních plochách, striace však mají jak na zlomech tak na vrstevních plochách subhorizontální orientaci. Tyto zlomy mohly být původně přesmyky či šikmé přesmyky, jejichž aktivita souvisela s kompresí ve směru zhruba SV-JZ, během které byly kulmské sedimenty vrásněny. Tato hypotéza vyžaduje předpoklad vlivu další rotace odpovídající výraznému uklonění bloku kulmských hornin k jihu.

Výraznému uklonění k jihu by mohlo nasvědčovat také další paleonapětí pole zjištěné na lokalitě Týn n. Bečvou. Osa maximální komprese tohoto pole se uklání k JV, osa maximální extenze k JZ. Při předpokladu zmíněného pozdějšího úklonu bloku kulmských hornin by původní orientace hlavních napětí os byly subhorizontální a



Obr. 3 - Orientace zlomů (původně strmých horizontálních posunů) a hlavních os paleonapětí rotovaných při variském vrásnění na lokalitě Veselíčko (velké oblouky - plochy zlomů, bílé kolečko - charakteristický vektor matice orientace přípustných os maximální komprese, černé kolečko - „nejlepší“ směr maximální komprese, bílý čtverec - charakteristický vektor matice orientace přípustných os maximální extenze, černý čtverec - „nejlepší“ směr maximální extenze), Lambertova projekce, spodní polokoule: a) měřená orientace; b) orientace v době aktivity zlomů.

Fig. 3 - Orientation of faults (originally steep dipping strike-shear faults) and principal paleostress axes tilted during the Variscan folding at the site Veselíčko (great circles - fault planes used for analysis, white circle - eigenvector of the orientation matrix of the acceptable maximum compression axes, black circle - „best“ orientation of the maximum compression, white square - eigenvector of the orientation matrix of the acceptable maximum extension axes, black square - „best“ orientation of the maximum extension), Lambert projection, lower hemisphere: a) measured orientations, b) orientations at the moment of the fault plane activity.

odpovídaly by kompresi ve směru SZ-JV a extenzi ve směru SV-JZ. Hypotéza by ale pro potřebné uklonění k jihu

vyžadovala příliš vysoký úhel rotace (až 50°), který je málo pravděpodobný.

Nejisté je stáří jednoho z paleonapěťových polí, které byly zjištěny v kulmských drobách na lokalitě Opatovice (lokalita 1). Jedná se o paleonapětí s maximální kompresi zhruba ve směru SV-JZ a maximální extenzi ve směru SZ-JV. Pro odvození tohoto paleonapětí byla použita výjimečně metoda klínů (Angelier - Mechler 1977), protože v tomto případě nebyl k dispozici dostatečný soubor dat pro aplikaci programu BRUTE3.

Poslední dvě paleonapětí zjištěná jednak v kulmských drobách na lokalitě Opatovice (lokalita 1) a jednak v devonských vápencích na lokalitě Ústí (lokalita 2) odpovídají extenzi ve směru SV-JZ až VSV-ZJZ. Obě zmíněné lokality jsou situovány v sv. části kry Maleníku (viz obr. 1). Extenze ve směru SV-JZ až VSV-ZJZ velmi dobře koreluje s podobnými výsledky, které na základě paleonapěťových analýz v paleozoických sedimentech kry Maleníku a východní části Nížkého Jeseníku uvádí Fodor (1991). Podobnou orientaci vykazují také některá extenzní pole vypočtená na vzdálenějších lokalitách v kulmu Nížkého Jeseníku, u Heřmáněk a u Vítkova (Havíř 2000). Extenzní paleonapěťové pole se směrem maximální extenze SV-JZ je známé také z mnoha lokalit situovaných v karpatských flyšových příkrovech, v jejich předpolí a ve vídeňské pánvi (Fodor 1991). Extenzi zhruba směru SV-JZ může velmi dobře odpovídat zaklesávání bloku Hornomoravského úvalu a jeho vyplňování fluvialními a lakustrinními pliocén/pleistocénními sedimenty (Růžička 1973, Zeman et al. 1980). To vše může ukazovat na velmi malé stáří paleonapěťových polí zjištěných na lokalitách u Opatovic a u Ústí.

Studium geometrie zlomů se striacemi na lokalitách paleozoických sedimentů v širším okolí Moravské brány ukazuje vliv více různých napěťových polí a to jak variských tak i mladších.

#### Literatura:

- Angelier, J. (1975): Sur l'analyse de mesures recueillies dans des sites faillés: L'utilité d'une confrontation entre les méthodes dynamiques et cinématiques. - C. R. Acad. Sci. (Paris), 281, sér. D, 23, 1805-1808.
- Angelier, J. - Mechler, P. (1977): Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. - Bull. Soc. géol. Fr., 7, 6, 1309-1318.
- Angelier, J. - Tarantola, A. - Valette, D. - Manoussis, S. (1982): Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress - I. Single phase fault populations: a new method of computing the stress tensor. - Geophys. J. R. astr. Soc., 69, 607-621.
- Fodor, L. (1991): Evolution tectonique et paleo-champs de contraintes oligocènes à quaternaires de la zone de transition Alpes Orientales-Carpathes Occidentales: formation et développement des bassins de Vienne et Nord-Pannoniens. - MS, PhD thesis. Paris.
- Hardcastle, K.C. - Hills L.S. (1991): BRUTE3 and SELECT: Quickbasic 4 programs for determination of stress tensor configuration and separation of heterogeneous populations of fault-slip data. - Computers & Geosciences, 17, 1, 23-43.
- Havíř, J. (2000): The results of paleostress analyses in the eastern parts of the Nížký Jeseník and the Drahaný Uplands. - Věst. Čes. geol. Úst., 75, 1, 27-32. Praha.
- Roth, Z. (ed.) (1990): Geologická mapa ČSSR. Mapa předčtvrtohorních útvarů. Měřítko 1:200 000. List Olomouc. - Ústřední ústav geologický. Praha.
- Růžička, M. (1973): Fluvialní sedimenty řeky Moravy v okolí Olomouce. - Sbor. geol. Věd, Antropozoikum, sv. 9, 7-38. Praha.
- Zeman, A. - Havlíček, P. - Minařáková, D. - Růžička, M. - Fejfar, O. (1980): Kvartérní sedimenty střední Moravy. - Sbor. geol. Věd, Antropozoikum, 13, 37-91. Praha.