

## PALEONAPJATOSTNÍ ANALÝZA MASIVU HORY NARANCO (ASTURIE, ŠPANĚLSKO)

Paleostress analysis on the Naranco Mt. Massif, Asturia, Spain

Gabriela Tóthová, Rostislav Melichar, Markéta Kernstocková

Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37, Brno; e-mail: 175104@mail.muni.cz

**Key words:** *Kantabrian Zone, Asturian Arc, Devonian, Lower Carboniferous, paleostress analysis, faults, stylolites, veins*

### Abstract

*This work is focused on paleostress analysis of fault system from the Naranco Mt. The Naranco Mt. is situated north of Oviedo, the capital of province Asturias (northern Spain). Data were obtained from the southern slope of the Naranco Mt. The orientation of faults and striation on faults surface were measured separately by Clar compass. The data was processed by the program MARK2006. The orientation of bedding planes and joints as well as veins and stylolites (e.g. additional structures useful for determination of  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  directions) were plot using the Spheristat 2.2 software. Three phases of deformation were separated using the program MARK2006. The notable SSE–NNW compression and folding occurred obviously during thrusting.*

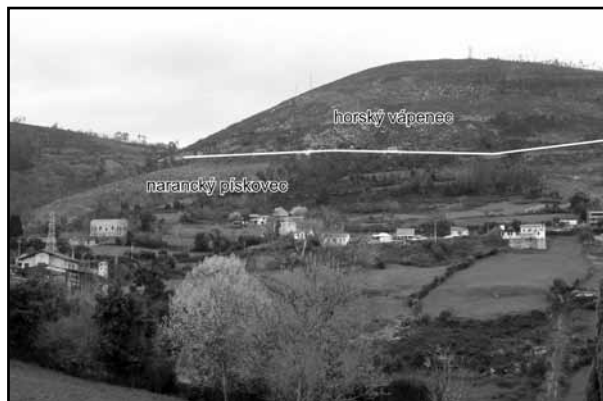
### Úvod

Zkoumaná oblast jižního svahu hory Naranco (obr. 1), který je orientován ve směru V–Z, náleží do centrální části kantabrijské zóny (Zona Cantábrica) a je součástí sobiaské jednotky (Unidad de Sobia). Kantabrijská zóna (obr. 2) je externí zóna iberského masivu, který náleží do evropského variského orogénu. Kantabrijská zóna je charakteristická svým pestrým stratigrafickým vývojem, který zahrnuje téměř celé paleozoikum. Kantabrijská zóna reprezentuje tektoniku typu „thin-skinned“ a je charakteristická minimální metamorfózou a nepřítomností vulkanitů.

Struktura oblasti Naranco je součástí jednoho z ramen synklinály orientované svou osou ve směru SV–JZ. Horniny karbonického a devonského stáří jsou stratifikovány ve směru Z–V. Směrem na S se sklon vrstev zvyšuje. Jižní částí studované oblasti prochází pravděpodobně hercynský násun reaktivovaný v době alpínské orogeneze tvořící kontakt mezi horninami mezozoickými a terciárními. Navíc můžeme pozorovat systém menších zlomů ve směru SSZ–JJV (Gutierrez Claverol – Torres Alonso 1995).

Stratigrafie studované oblasti hory Naranco je reprezentována následujícími souvrstvími (obr. 3) karbonického a devonského stáří: rañeceská skupina (Grupo de Rañeces), moniellské [čti moniejské] souvrství (Formación Moniello), narancké souvrství (Formación Naranco), Candamo-Baleas, Alba a skupina horského vápence (Caliza de Montaña). Měření pochází hlavně z naranckých pískovců a horských vápenců.

Narancké pískovce (Formación Arenisca del Naranco, eifel–givet) jsou křemité bělavé či hnědavé pískovce, občas s výskytem železem nabožených poloh, s malými prachovcovými vrstvami s čeřinovým zvrstvením. Reprezentují sedimenty platformy s převahou bouřkových uloženin. Celkem toto souvrství svou mocností nepřesahuje 500 m.



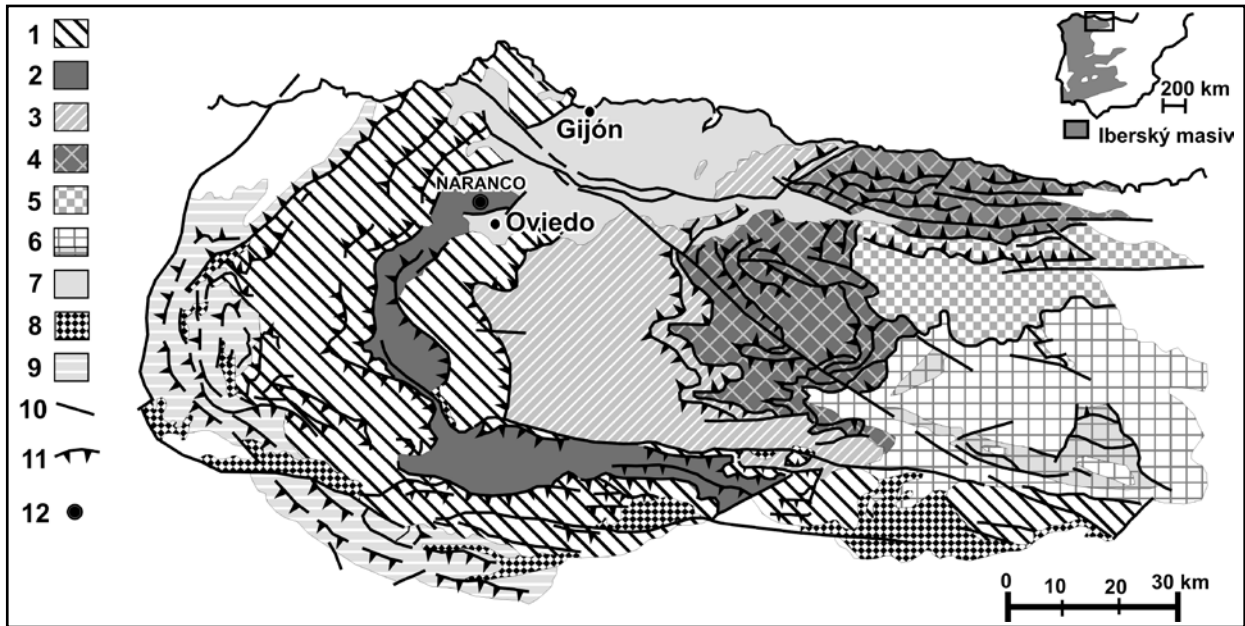
Obr. 1: Pohled na Naranco ležící s. od města Ovieda, konkrétně na vrchol Pico Paisano 634 m n. m. s monumentem Ježíše Krista. Fig. 1: Naranco Mt. is on the north from Oviedo, the capital of Asturia. Jesus Christ monument is situated on Pico Paisano (634 m).

V pískovcích se občas mohou nalézt polohy s krinoidovou či brachiopodovou faunou (Martínez Álvarez et al. 1975).

Skupina horského vápence (Caliza de Montaña, namur) je tvořena dvěma souvrstvími – barcalientským a valdetešským. Horské vápence jsou silně tektonicky postiženy množstvím zlomů, stylolitů a pronikány žilkami. Barcalientské souvrství (Formación Barcaliente) je tvořeno vápenci tmavé barvy s mocností zhruba 600 m, které neobsahuje mnoho fosilií. Valdetešské souvrství (Formación Valdeteja) jsou masivní jemnozrnné vápence světlejší barvy, které jsou nezřídka sekundárně dolomitizované. Hranice není vždy zřetelná, a proto se obě souvrství často označují jednotným termínem „horský vápence“.

### Metodika

Terénní práce se soustředily na získání dat orientace hlavních drobně–tektonických prvků: ploch vrstevnatosti, puklin, žilek, stylolitů, zlomových ploch a rýhování na nich.



Obr. 2: Členění kantabrijské zóny na geologické jednotky. Studovaná zóna je součástí sobiaské jednotky (Unidad de Sobia). Podle Juliverta (1971), zjednodušeno. Paleozoické horniny hlavních jednotek kantabrijské zóny (1–6): 1 – aramská, somiedo-correcijská, eslaská a valsurviorská jednotka, 2 – sobia-bodónská jednotka, 3 – centrální karbonická pánev, 4 – ponžská jednotka, 5 – jednotka Picos de Europa, 6 – pisueržsko-carrionská jednotka, 7 – mesozoické a terciární horniny, 8 – karbonické horniny (stefan), 9 – prekambrijské horniny, 10 – zlom, 11 – přesmyk, 12 – studovaná lokalita.

Fig. 2: Division of Cantabrian Zone (Zona Cantábrica). The studied area is a part of Sobia Unit. After Julivert (1971), simplified. Main paleozoic rocks in Cantabrian Zone (1–6): 1 – Aramo, Somiedo-Correcilla, Esla and Valsurvio Unit, 2 – Sobia-Bodon Unit, 3 – Central Coal Basin Unit, 4 – Ponga Unit, 5 – Picos de Europa Unit, 6 – Pisuerga-Carrion Unit, 7 – Mesozoic and Tertiary rocks, 8 – Carboniferous rocks (stephan), 9 – Precambrian rocks, 10 – normal fault, 11 – thrust, 12 – studied area.

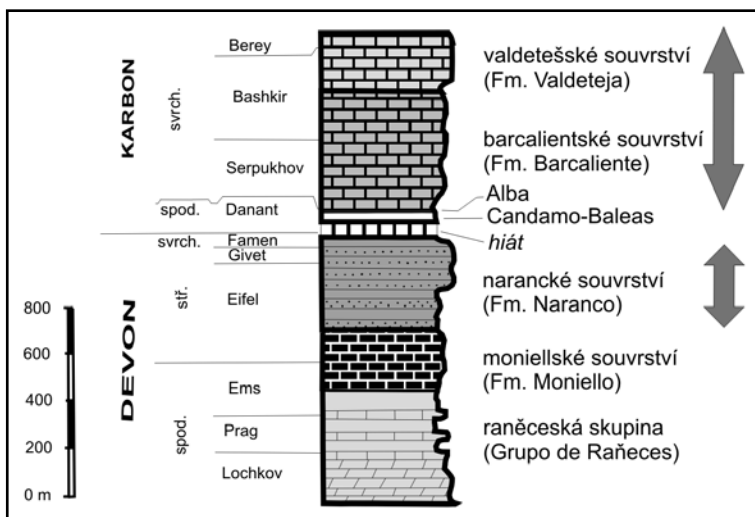
Orientace žilek byly užity k odhadnutí směru  $\sigma_3$ , zatímco osy stylolitových zubů k odhadům směru  $\sigma_1$ . Hlavním cílem bylo určení paleonapjatostních charakteristik na základě údajů o orientaci zlomů, rýhování a smyslech pohybu. Smysl pohybu byl určován zejména podle akrečních stupňů

a slickolitů v karbonátech a podle asymetrických hřbetů a Riedelových stříhů v siliciklastických horninách.

Naměřená data byla zpracována programem Spheristat (for Windows, version 2.2) a programem MARK2006. Do programu Spheristat (Stesky 1998) byla zadána data

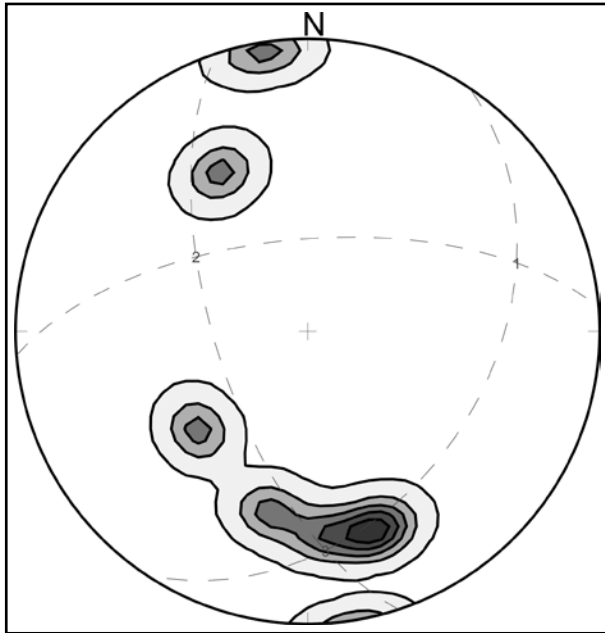
orientace vrstevnatosti, puklinatosti, žilek a os stylolitů a zpracována formou konturových diagramů. Plošné struktury jako vrstevnatost, puklinatost a orientace žilek byly vyneseny jako póly ploch. Osy stylolitových zubů byly do diagramů azimutální projekce vyneseny jako lineace.

Programem MARK2006 (Kernstocková – Melichar 2005) byla provedena paleonapjatostní analýza. Jako vstupní data byly použity hodnoty orientace zlomů a na nich měřené lineace s určeným směrem pohybu na zlomu. Jako omezující parametr byl použit Lodeho parametr (určující tvar elipsoidu deformace), dále též hodnota  $\tau$  (kritické střížné napětí) a hodnota stability řešení. Pomocí těchto parametrů byla programem MARK2006 separována správná a nesprávná řešení paleonapjatosti a na základě zjištěných směrů hlavních normálových napětí  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  a  $\sigma_3$  byly z původně heterogenního souboru zlomů separovány homogenní dílčí soubory odpovídající jednotlivým fázím.



Obr. 3: Stratigrafické schéma formací vycházejících v Asturii. Na hoře Naranco vychází raněceská skupina, moniellské vápence, narancké pískovce, griot a skupina horského vápence (barkalientské souvrství a valdetešské souvrství). Upraveno podle Gutierrez Claverola et al. (1995).

Fig. 3: Stratigraphical scheme of formations in Asturias. There are Rañeces Group, Moniello limestone, Naranco sandstone, Griot and Mountain Limestone Group outcrop at the Naranco Mt. After Gutierrez Claverol et al. (1995).

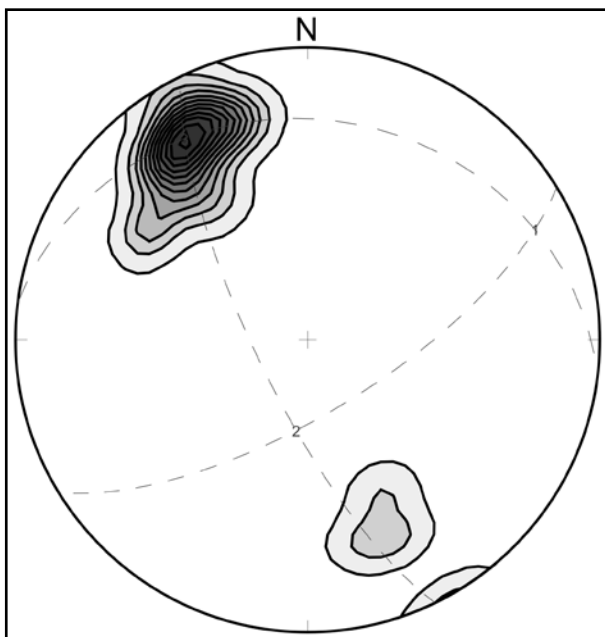


Obr. 4: Konturový diagram pólů ploch vrstevnatosti v narancých pískovcích, hora Naranco, Asturie, Lambertova plochojevná projekce.

Fig. 4: Distribution of bedding orientation in Lambert azimuthal projection, Naranco sandstone, Naranco Mt., Asturia.

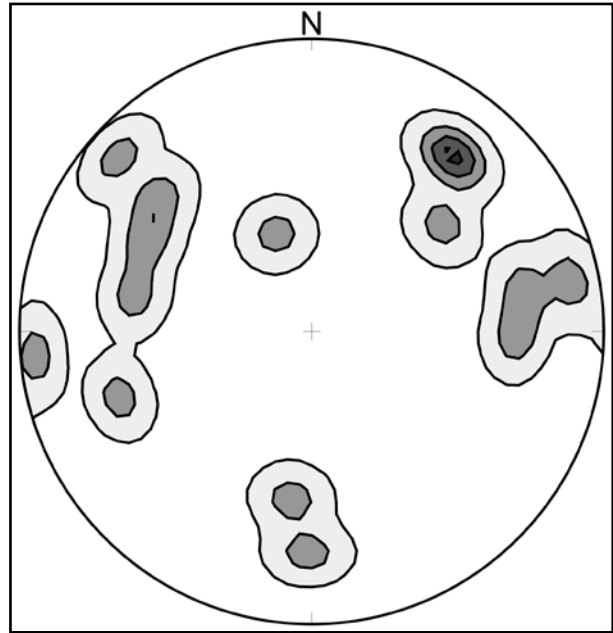
**Vrstevnatost**

V konturovém diagramu jsou patrná dvě maxima, která zřejmě odpovídají dvěma ramenům vrás. V narancých pískovcích (obr. 4) jsou ramena vrásy: 124/38 a 355/64, osa vrásy je 72/26. V horských vápencích (obr. 5) mají vrásová ramena orientaci: 357/26 a 149/70 a osa vrásy byla dopočítána na 65/15. Z konturových diagramů vrstevnatostí lze vyčíst, že narancé pískovce a horské vápence byly



Obr. 5: Konturový diagram pólů ploch vrstevnatosti v horských vápencích, hora Naranco, Asturie.

Fig. 5: Distribution of bedding orientation in Lambert azimuthal projection, Mountain Limestone Group, Naranco Mt., Asturia.



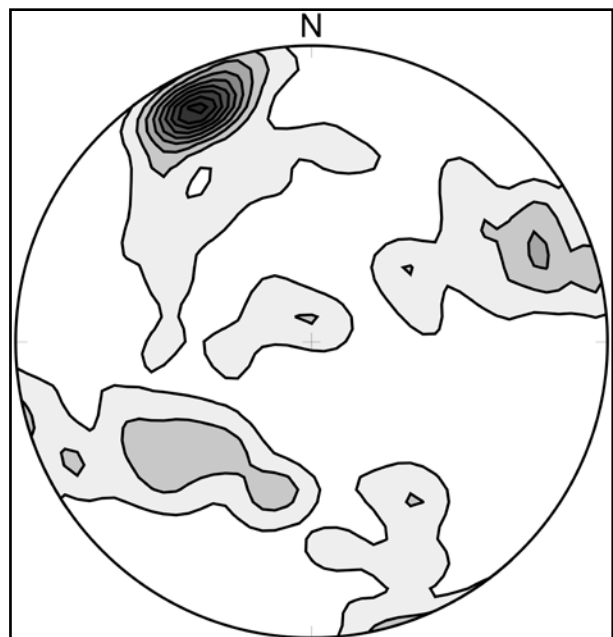
Obr. 6: Konturové diagramy pólů ploch puklin v narancých pískovcích, hora Naranco, Asturie.

Fig. 6: Distribution of joints orientation in Lambert azimuthal projection, Naranco Sandstone, Naranco Mt., Asturia.

postiženy stejnou deformací, neboť jejich ramena i osy vrás jsou téměř totožné. Drobné nepřesnosti vznikly v důsledku menšího počtu měření v narancých pískovcích.

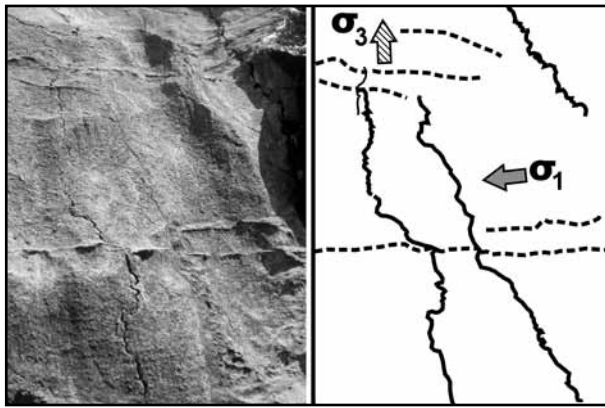
**Puklinatost**

V konturovém diagramu pólů puklinatosti v narancých pískovcích (obr. 6) je zřetelné jedno maximum ve směru 218/68, které je kolmé na osu vrás, a dvě vzájemně



Obr. 7: Konturové diagramy pólů puklin v horských vápencích, hora Naranco, Asturie.

Fig. 7: Distribution of joints orientation in Lambert azimuthal projection, Mountain Limestone Group, Naranco Mt., Asturia.



Obr. 8: Stylolity a žilky v horských vápencích a vztah k orientaci hlavních normálových napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$ .  
 Fig. 8: Stylolites and veins and their relation to direction of main principal stresses  $\sigma_1$  and  $\sigma_3$ , Mountain Limestone Group, Asturias.

kolmá vedlejší maxima ve směru téměř paralelním 119/55 a 258/63.

Srovná-li se puklinatost a vrstevnatost v horských vápencích, je patrný v obou případech sv.-jz. směr, z čehož by se dalo usuzovat, že jeden systém puklin vznikl paralelně s vrstevnatostí, druhý systém puklin kolmo na osu vrásky a třetí systém puklin kolmo na vrstevnatost a paralelně s osou vrásky. V diagramu směrů puklinatosti v horských vápencích (obr. 7) jsou patrná 3 maxima, jedno hlavní ve směru 154/79 a dvě vedlejší ve směrech 51/49 a 248/72.

**Žilky a stylolity**

Vznik žilek a stylolitů velmi úzce souvisí se směry hlavních normálových napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  (obr. 8). Maxima v konturových diagramech pólů naměřených žilek (obr. 9)

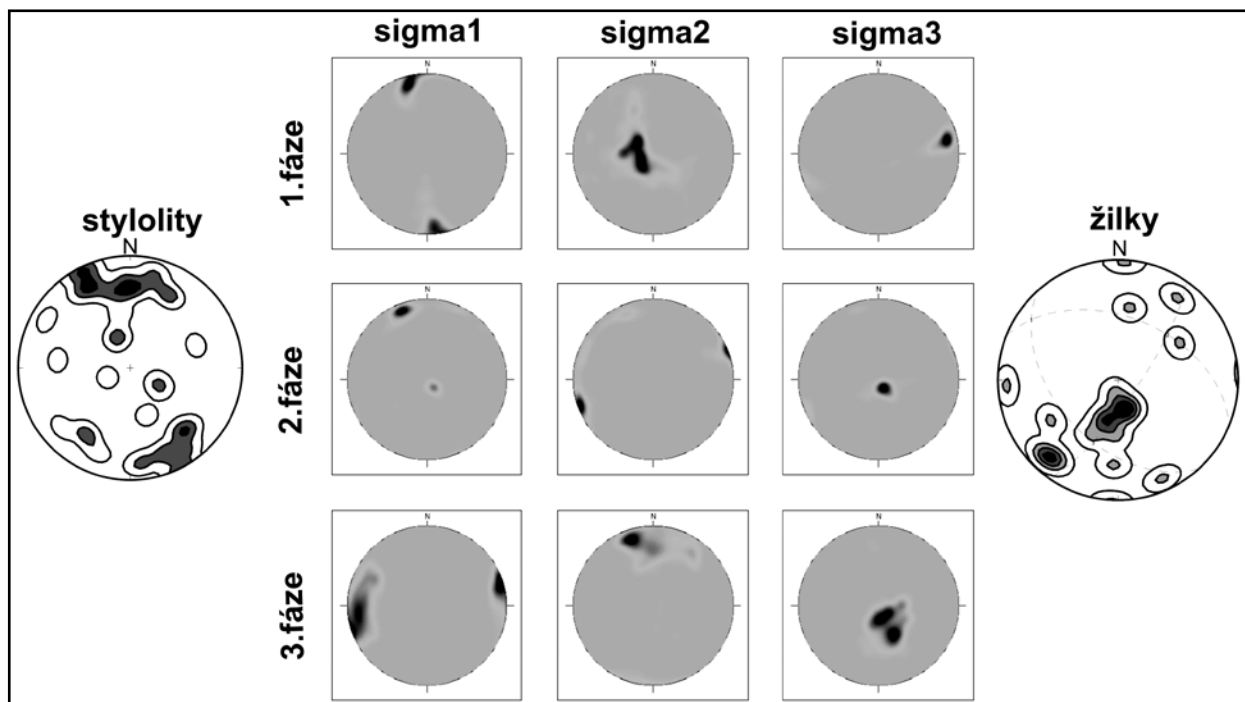
jsou poněkud rozptýlená, ale lze pozorovat dvě výrazná maxima ve směrech 344/20 a 42/85 indikující dva možné směry extenzního napětí  $\sigma_3$ . Konturový diagram os stylolitových zubů (obr. 9) ukazuje na 3 maxima ve směrech 334/15, 357/28 a 139/27, což lze interpretovat jako tři možné směry kompresního napětí  $\sigma_1$ .

**Zlomky a lineace**

Na základě orientace ploch zlomů a určených směrů pohybů pomocí lineací a dalších kinematických indikátorů byla zpracována paleonapjatostní analýza programem MARK2006.

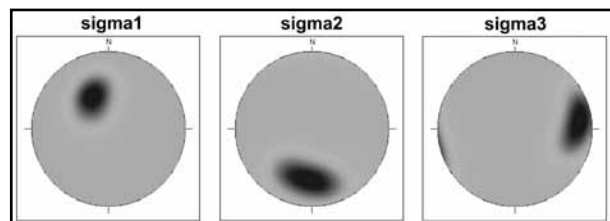
V narancových pískovcích byla rozlišena pouze jedna fáze (obr. 10) deformace, což bylo způsobeno velmi malým počtem vstupních dat, takže výsledky nelze považovat za zcela reprezentativní. Maximální komprese  $\sigma_1$  v narancových pískovcích měla orientaci 334/51,  $\sigma_2$  183/33 a směr relativní extenze  $\sigma_3$  82/16.

V horských vápencích byl získán dostatečný počet údajů, takže výsledky jsou důvěryhodné. Byly zjištěny 3 fáze napjatosti (obr. 9), které byly označeny čísly podle výraznosti. Číslem 1 byla označena nejvýraznější fáze, číslem 3 pak fáze nejméně výrazná. Čísla fází tedy nevyjadřují relativní stáří fází, ale postup numerické separace. První dvě fáze jsou velmi zřetelné a bylo snadné je rozlišit. V první fázi byly zjištěny tyto orientace hlavních normálových napětí:  $\sigma_1$  168/1,  $\sigma_2$  264/77 a  $\sigma_3$  78/13. Dále byla separována napjatostní fáze č. 2 s následujícími směry:  $\sigma_1$  340/11,  $\sigma_2$  249/2 a  $\sigma_3$  150/80. Do poslední, třetí fáze byla shrnuta řešení neodpovídající prvním dvěma fázím. V této skupině zlomů dominují hodnoty orientace hlavních normálových napětí  $\sigma_1$  252/1,  $\sigma_2$  341/23 a  $\sigma_3$  159/67.



Obr. 9: Tři fáze napjatosti zjištěné na základě analýzy dat orientace zlomů v horských vápencích a jejich srovnání s výsledky orientace kalcitových žilek a os stylolitových zubů.

Fig. 9: Three paleostress phases determined from fault-slip data from Mountain Limestone Group and comparison to stylolite axes (left) and veins (right).



Obr. 10: Jedna fáze deformace zjištěná na základě analýzy dat z naranckých pískovců.

Fig. 10: One paleostress phase from fault-slip data from Naranco Sandstone.

### Diskuze a závěry

Z dat naměřených v horských vápencích byly separovány tři fáze tektonické deformace, dvě snadno odlišitelné a separovatelné, poslední je pak daná zbývajícími zlomy. Rozdíly ve výsledcích analýzy v naranckých pískovcích a horských vápencích jsou pravděpodobně způsobeny menším počtem měření zlomů v naranckých pískovcích a obtížností určení smyslu pohybu na těchto zlomech. Přes to lze napjatost zjištěnou v naranckých pískovcích přirovnat na základě podobné orientace nejspíše k fázi 1 z vápenců.

Při porovnání konturových diagramů pólů ploch naměřených žilek je pravděpodobné, že žilky a stylolity vznikaly hlavně ve fázi 2. Zpravidla totiž v důsledku tlakového rozpouštění horniny vznikají stylolity a současně v tlakových stínech žilky krystalizací rozpuštěného materiálu. I když podle orientace nelze vyloučit vznik stylolitů i ve fázi 1 a vznik žilek též ve fázi 3, nepřítomnost doplňkové struktury v potřebné orientaci (žilky–stylolity) svědčí spíše proti takové interpretaci.

Konturové diagramy pólů vrstevnatosti ukazují orientaci osy vrás, která je ukloněna k SV. Její zákonitá orientace kolmo ke směru hlavního kompresního napětí  $\sigma_1$  fáze 1 a 2 umožňuje časově přisoudit hlavní vrásnění jedné z těchto fází. Protože vznik vrás je zpravidla spojován s násunovou tektonikou, lze jejich genezi přirovnat pravděpodobněji fázi 2, jejíž hlavní normálové napětí  $\sigma_3$  je subvertikální, což odpovídá vzniku přesmyků.

Na základě spojitosti fáze 2 s vrásami lze předpokládat, že fáze 2 je i fází nejstarší, po níž následovala fáze 1, která zachovává stejnou orientaci komprese, avšak došlo ke změně násunové tektoniky v tektoniku horizontálních posunů ( $\sigma_2$  subvertikální). Zřejmě poslední fází, probíhající již mimo hlavní orogenní procesy, byla fáze 3.

Uvedená analýza tedy umožňuje rozdělit paleonapjatostní vývoj paleozoických hornin z hory Naranco do tří etap:

1. Komprese ve směru SSZ–JJV při extenzi ve vertikálním směru („fáze 2“), při které došlo k nasouvání komplexu, jeho vrásnění a vzniku hlavních systémů stylolitů a žilek.

2. Komprese ve směru SSZ–JJV při extenzi ve směru VSV–ZJZ („fáze 1“), při které vznikaly systémy horizontálních posunů. Vznik stylolitů nelze vyloučit.

3. Mladší tektonické postižení s kompresí ve směru VSV–ZJZ a subvertikální extenzí („fáze 3“). Vznik žilek nelze vyloučit.

### Poděkování

Srdečně děkuji J. Hladilovi a prof. dr. Jenaru L. García-Alcaldovi z Univerzity v Oviedu za důkladné pročtení a cenné připomínky při opravě článku.

### Literatura

- Bulnes, M. – Marcos, A. (2001): Internal structure and kinematics of Variscan thrust sheets in the Valley of the Trubia River (Cantabrian Zone, NW Spain): regional tectonic implications. – *International Journal of Earth Science (Geologische Rundschau)*, 90, 287–303.
- Bulnes, M. – Aller, J. (2002): Three-dimensional geometry of large scale fault-propagation folds in the Cantabrian Zone, NW Iberian Peninsula. – *Journal of Structural Geology*, 24, 827–846.
- Gutierrez Claverol, M. – Torres Alonso, M. (1995): *Geología de Oviedo*. – Paraiso Ediciones.
- Julivert, M. (1971): Decollement tectonics in the Hercynian Cordillera of Northwest Spain – *American Journal of Science*, 270, 1–29.
- Kernstocková, M. – Melichar, R. (2005): Analýza paleonapjatosti heterogenního souboru zlomů — In: Breiter, K. (ed.): *Sborník abstrakt a exkurzní průvodce. 2. sjezd České geologické společnosti. Slavonice 19.–22. října 2005*, 58–58, Česká geologická společnost. Praha.
- Martínez Álvarez, J. A. – Gutiérrez Claverol, M. – Torres Alonso, M. (1975): *Mapa Geológico de España (MAGNA), Hoja 28 (12–4) „Grado“ (1:50.000)*. Instituto Geológico y Minero de España, 49. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. D.L.: M-35431-1975, Madrid.
- Stesky, R. M. (1998): *Spheristat 2 for Windows 3.1, Users Manual* – Pangea Scientific. Ontario.