

Structural Geology and Tectonics GEO3-1307

Date: Friday April 20th 2007

Time: 09.00-12.00 hr.

Place: C.010 and C.008

Please read the complete exam before starting. Ask any language related questions. Then, answer all 4 questions (they are worth 2.5 points each). Always explain how you came to your answer. Be creative and good luck!

Question 1: Quantification of strain

During mapping in northeast Wales, an outcrop has been studied showing folded Carboniferous microconglomerate and limestone (Fig. 1). Shape and orientation of small pebbles in the microconglomerate have been measured using the $R_1\text{-}\phi'$ method (Fig. 1a). The limestone contains deformed fossils (Fig. 1b) that originally had symmetrical shapes. Strain of the fossils can be determined using the Breddin graph (Fig. 1c) method.

Quartz veins in the rocks suggest a 10% volume increase during deformation. There is no evidence for any strain in parallel to the fold axis (i.e. deformation was 'plane strain').

- What are the main problems associated with the $R_1\text{-}\phi'$ method?
- Determine the strain ratio R_1 of the small pebbles (Fig. 1a) and R_2 of the deformed fossils in the limestone (Fig. 1b).
- What can you say about the fold mechanism?
- Quantify the strain of the limestone in 3 dimensions by giving values for the three principal strains.
- Previous investigations of the eastern fold limb have resulted in a forward position gradient tensor to describe the deformation. Demonstrate that this tensor, indeed, fits the results of b) and d).

$$F_{ij} = \begin{pmatrix} 0.7 & -0.6 \\ 0.2 & 1.4 \end{pmatrix}$$

Question 2: Structural styles

Fig. 2 shows a cross-section through a complex geological structure (after Eisenstadt & Withjack, 1995). Your task is to analyze the section:

- Make a clear list of *observations*.
- Give an *interpretation* of the geological history of the structure, consistent with your observations (part a). Present this interpretation in a framework of 'structural styles'.
- Assume that you have measurements of fault orientations, lengths and throws. What could you do to test if the interpretations of b) make sense?

Handwritten notes:
D₁, D₂
D₁, D₂, D₃

vervolg vraag 2:

- Maak gebruik van tekeningen om uit te leggen wat de geometrische betekenis is van deze twee tensoren (bijvoorbeeld: hoe ziet een vierkant eruit *na* deformatie?).
- Wat is de 'oppervlakte'-verandering tijdens de twee stappen?
- Bepaal de groottes van de 'principal strains' voor stap (1)
- Wat is de oriëntatie van de principal strain assen voor stap (1).
- Hoe ziet de (finite) position gradient tensor eruit na de 2 stappen?
- Na de twee stappen zullen er twee lijnen zijn of 'no finite longitudinal strain'. Leg uit wat hiermee bedoeld wordt, en wat in dit verband het nut is van het analyseren van de twee afzonderlijke stappen.

$$\begin{pmatrix} 1,2 & 0,3 \\ 0,2 & 0,7 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1,2 & 0,2 \\ 0,3 & 0,7 \end{pmatrix}$$

Vraag 3 – Structural styles

Fig. 2 laat de geometrie zien van de 'hanging wall' boven een listrische breuk in een experimenteel ('scale') model. In het experiment is een gelaagd pakket zanden gedeformeerd door de hanging wall uit te rekken t.o.v. een rigide 'foot wall'. De uitrekking was 50%. Een deel van de zandlagen is toegevoegd *tijdens* de deformatie.

- Geef een beschrijving van de verschillende structuren zoals die te zien zijn in Fig. 2. Maak daarbij duidelijk waarom het van belang is om gebruik te maken van het concept 'Structural Style'.
- Indien de structuren in Fig. 2 gereactiveerd zouden worden tijdens een verkortingsfase, wat zouden dan de karakteristieke structuren zijn die je verwacht aan te treffen? Neem in je analyse de mogelijkheid mee dat nieuwe zandlagen worden toegevoegd tijdens de verkorting. Tekeningen kunnen van nut zijn bij de beantwoording van deze vraag.
- In bovenstaand model is slechts gebruik gemaakt van zandige ('brittle') lagen. Bediscussieer wanneer het nodig is om ook ductiele lagen toe te voegen aan een model (beperk je niet door het specifieke geval van extensie zoals weergegeven in Fig. 2 – denk aan het Brun-paper).

Vraag 4 – Anatomy of orogenic belts

Fig. 3 geeft de tekst van één van de conclusies in een artikel over de opbouw en evolutie van de Varistische (centrale) Pyreneeën (Vissers 1992, *Tectonics*, Vol. 11). In de tekst wordt gesuggereerd dat de vroege Pyreneeën een anatomie hadden als van een 'core complex'.

- Vergelijk de conclusie van Fig. 3 met je kennis van kenmerken van een 'core complex'. Welke elementen zou je minimaal in het artikel beschreven willen zien om overtuigd te worden van het gelijk van de auteur?
- Ontwerp een diagram waarin relatieve timing van porphyroblast-groei en deformatie wordt weergegeven voor het Pyreneese voorbeeld. Er zijn natuurlijk veel antwoorden mogelijk, maar zorg in ieder geval dat je diagram 'kloppend' is met de suggestie van een core complex.
- Zou het nut hebben om een length-throw analyse uit te voeren aan de breuken van de tilted half-grabens? ("ja" of "nee" is niet genoeg...)
- Ook in fold-and-thrust belts kunnen zich extensionele structuren ontwikkelen (denk aan de 'snow plow'). Hoe kun je het onderscheid maken met de core complex historie van Fig. 3?