

Mechanika vzniku planetárních ekvidistančních poruchových systémů

VRATISLAV KAFKA*, RADAN KVĚT**

* Československá akademie věd, Ústav teoretické a aplikované mechaniky, Vyšehradská 49, 128 49 Praha

** Československá akademie věd, Geografický ústav, Mendlovo nám. 1, 662 82 Brno

Doručené 6. 2. 1985

Механика возникновения планетарных равноудалённых разрывных систем

Предложена математическая модель, которая вполне объясняет планетарные равноудалённые разрывные системы с их выразительной симметрией и больше того приносит новые данные для познания механических особенностей земной коры, которая имеет средний угол внутреннего трения 18° .

Mechanics of creation of the planetary equidistant rupture systems

A mathematical model is presented which explains and describes the planetary equidistant rupture systems with their characteristic symmetry, and yields a contribution to the knowledge of the mechanical properties of the Earth's crust — the determination of its average angle of internal friction in the value of 18° .

Planetární ekvidistanční poruchové (PEP) systémy byly postupně odvozeny v posledních dvaceti letech jako rupturní projev v zemské kůře. Již za výchozího poznání prvních tří sítí PEP systémů (alpínské, hercynské a kadomské — původně zvané assyntské) bylo empiricky zjištěno, že jde o geometricky identické sítě nepravidelně pootočené (vůči současně rotační ose) a že základní orientace šesti směrů každé sítě je zrcadlově symetrická vůči příslušnému paleomeridiánu. Empiricky byly odvozeny tři dvojice směrů. Podvojně směry jsou vždy na sebe kolmé.

Základní dvojice má směry $90^\circ - 0^\circ$ a k ní diagonální jsou podvojně směry $54^\circ - 324^\circ$ a $306^\circ - 36^\circ$.

Vysvětlení vzniku PEP systémů bylo postupně zpřesňováno. Nyní vychází jejich výklad v podstatě ze dvou představ. Jednak, že hlavní příčinou je putování rotační osy (důsledek změn v poloze středu hmotnosti Země během galaktického roku za stálého gravitačního pohybu v hlubinách Země — jádře a spodním pláští), a jednak v přeměně geoidu podle momentálního postavení rotační osy při průchodu Země (a sluneční soustavy jako celku)

rovinou Mléčné dráhy jednou za galaktický rok.

Problematika rupturologie v tomto komplexním pojetí se v dosavadní literatuře neobjevuje. Ale např. výklad o putování rotační osy není původní (např. Illies, 1964). Běžný je výklad o roli změn v rotační rychlosti Země pro vznik a ožívování poruch (u nás např. Štovíčková, 1973) a o vzniku systémů vzájemně kolmých dvojic směrů poruch na Zemi. Tak se objevuje předpoklad existence jen dvou dvojic směrů (např. Katterfeld — Čarušin, 1975) nebo šesti až sedmi dvojic směrů (Tjapkin, 1977; Fjankov, 1978).

Odvození matematického modelu

V práci Květ (1983a) jsou popsány planetární ekvidistanční poruchové systémy pozorované na Zemi. Podle citované práce jsou směry poruch orientovány tak, jak ukazuje schéma na obr. 1.

Směry I, Ia, Ib jsou označeny jako primární, směry II, IIa, IIb jako sekundární.

Úhel α má v oblasti střední Evropy tyto hodnoty:

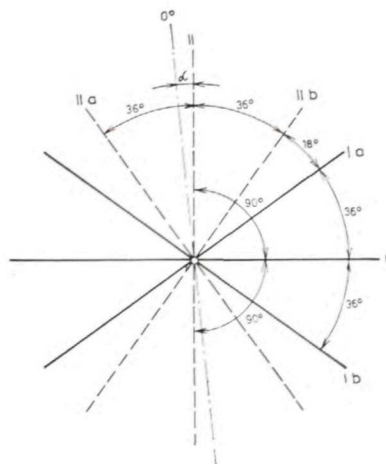
- $\alpha = 0^\circ$ pro systém alpský
- $\alpha = 26^\circ$ pro systém hercynský
- $\alpha = 16^\circ$ pro systém kaledonský
- $\alpha = 47^\circ$ pro systém kadomský
- $\alpha = 5^\circ$ pro systém moldanubický
- $\alpha = 20^\circ$ pro systém příkamský (nově odvozený, viz Květ, 1985).

Úhly 90° mezi směrem I a směrem II a úhly 36° mezi směry I — Ia, I — Ib, II — IIa, II — IIb jsou ve všech systémech stejné. Hypotéza vysvětlující vznik více systémů (alpínského, hercynského atd.) byla publikována jinde (např. Květ, 1983a). Předmětem současné studie je vysvětlení směrů poruch v jednom systému.

Vzhledem k tomu, že úhly mezi směry (90° a 36°) nezávisí na místě na Zemi ani na systému, mohou být způsobeny jen faktory, které se váží k planetě jako cel-

ku a které nezávisí na lokálních podmínkách.

Příčinou poruch jakéhokoliv tělesa jsou síly. Chceme-li popsat pole vnitřních sil uvnitř spojitého tělesa, zavádíme pojem napětí, t. j. sílu působící na jednotkovou plochu. V uvažovaném případě, kdy výsledný stav není závislý na lokální morfologii povrchu Země ani na heterogenitě horninové skladby, musíme brát v úvahu jednotkové plochy řádově větší, než mají jednotlivé geologické regionální celky, resp. geologická patra. Musíme tedy brát v úvahu dimenzionální úroveň zemské kůry, resp. i svrchní části pláště. Jen tak dospějeme k napětím, která nebudou ovlivněna morfologií a heterogenitou. Jednotkové plochy mohou být v tělese různě orientovány a různě mohou být orientovány i síly na ně působící. Celkovou napjatost v bodě tělesa určuje tenzor napětí, který má v klasické analýze šest nezávislých složek. Uvažujeme-li napjatost na nezátíženém po-



Obr. 1. Pozorované poruchové směry svírají stejné úhly ve všech planetárních ekvidistančních poruchových systémech

Fig. 1. Observed rupture directions form equal angles in all planetary equidistant rupture systems

vrchu tělesa, jak je tomu na povrchu Země při zanedbání atmosférického tlaku, pak tři z těchto složek jsou nulové a napjatost vyjadřuje planární tenzor se třemi složkami.

Uvažujeme-li stav napětí v zemské kůře, objevuje se zde — mimo složky planárního tenzoru — složka hydrostatického tlaku, t. j. izotropní část tenzoru napětí. Ta může ovlivnit absolutní hodnoty mezních napětí a úhel vnitřního tření, ale nikoli dva základní poruchové směry, neboť izotropní část je invariantní ke změnám směru souřadnic. Vliv na úhel vnitřního tření může být vysvětlením, proč jeho hodnota vyplývající z dále uvedené analýzy je poměrně nízká.

Velikost složek planárního tenzoru závisí na orientaci souřadnicového systému a v každém místě existují dva k sobě kolmé směry souřadnicových os, pro které je jedna složka nulová (smykové napětí) a druhé dvě složky se nazývají hlavní napětí (normálové napětí a tahové neb tlakové — σ_1, σ_2 — působící ve dvou k sobě kolmých směrech).

Lze s velkou pravděpodobností, ne-li s jistotou, předpokládat, že základní vzájemně kolmé směry I a II odpovídají směrům hlavních napětí na dimenzionální úrovni zemské kůry. Vzhledem k nezávislosti na lokálních vlivech a systémech patrně nelze najít jiné vysvětlení. Jestliže přijmeme tento závěr, pak vysvětlení dalších šikmých směrů (Ia, Ib, IIa, IIb) je též prakticky jednoznačné.

Poruchy v tělesech mohou být dvojího druhu: vzniknou buď přetržením v plochách kolmých na mezní normálové napětí, nebo usmyknutím v plochách rovnoběžných s mezním smykovým napětím.

Poruchy kolmé na mezní normálové napětí

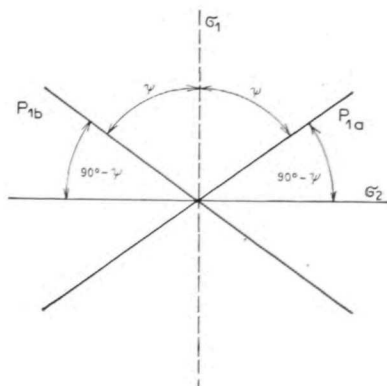
Mezní normálové napětí σ_1 je jedno z hlavních napětí, pro které platí:

$$\sigma_1 > \sigma_2,$$

přičemž kladným znaménkem je označován tah. Vyplývá to z definice σ_1 jako hlavního napětí, podle které je σ_1 největším normálovým napětím v příslušném místě. Tomuto typu porušování odpovídají linie I a II. Budiž při tom poznamenáno, že u hornin byly pozorovány i takové jevy, že k porušení v plochách kolmých na σ_1 došlo i v tom případě, že σ_1 bylo nulové a působilo jen tlakové napětí σ_2 [i zde platí $\sigma_1 > \sigma_2$]. Dále je třeba si uvědomit, že ve směru I může působit buď hlavní napětí σ_1 nebo σ_2 podle toho, je-li v příslušné zeměpisné poloze a v příslušném směru zemská kůra tažena, tlačena nebo ohýbána.

Poruchy rovnoběžné s mezním smykovým napětím

Při poruchách smykovým napětím v látkách horninového typu nezávisí mezní stav jen na velikosti smykového napětí, ale též na velikosti normálového napětí působí-



Obr. 2. Teoretické poruchové směry jsou odchýleny od většího hlavního napětí σ_1 o úhly $90^\circ, +\psi, -\psi$, ($\psi > 45^\circ$)

Fig. 2. Theoretical rupture directions are deviated from the bigger main stress σ_1 at angles of $90^\circ, +\psi, -\psi$, ($\psi > 45^\circ$)

ciho na potenciální poruchovou plochu (analogie s třením tělesa na podložce, kde síla nutná k posunu tělesa závisí i na normálové síle přitlačné). Teorie vztahující se k této problematice je zpracována např. v práci autorů Myslivce — Eichlera — Jesenáka (1970). Zde stručně uvádíme jen některé výsledky: Jestliže v oboru hodnot napětí, při kterých dochází k porušování mezním smykovým napětím, budeme považovat závislost mezi mezním smykovým napětím a normálovým napětím působícím na smykovou plochu za lineární (nejčastěji přijímaná hypotéza), pak budou mít poruchové plochy (p_{Ia} , p_{Ib}) orientaci podle obr. 2, přičemž mezi tzv. úhlem vnitřního tření φ a úhlem ψ platí vztah:

$$\psi = 45^\circ + \varphi/2. \quad (1)$$

Vzhledem k tomu, že úhel vnitřního tření nemůže být záporný, musí platit:

$$\psi \geq 45^\circ. \quad (2)$$

Srovnáme-li obr. 1 a obr. 2 a uvážíme, že směr σ_1 na obr. 2 se může ztotožnit buď se směrem I, nebo se směrem II na obr. 1, pak je zřejmé, že směry Ia, Ib, IIa, IIb na obr. 1 odpovídají směrům p_{Ia} a p_{Ib} na obr. 2 a pro úhly φ a ψ platí:

$$\psi = 36^\circ + 18^\circ = 54^\circ$$

a z rovnice (1):

$$\varphi = 18^\circ.$$

Přitom je třeba si znovu uvědomit, že napětí a celá analýza je na dimenzionální úrovni tloušťky zemské kůry, resp. včetně svrchní části pláště, a úhel vnitřního tření 18° tedy odpovídá průměrnému úhlu vnitřního tření zemské kůry.

Při srovnání s úhly vnitřního tření hor-

nin na povrchu Země odpovídá taková hodnota přibližně vlastnostem vlhké jílovité zeminy, tedy látky snadno plastickey deformovatelné. Pro průměrné vlastnosti zemské kůry je takové chování pravděpodobné. Poznatky z nejhlubších vrtů mj. ukazují, že s hloubkou rychle přibývá teplota a všesměrný tlak, což obojí jsou faktory vedoucí k plastifikaci. (Všesměrný tlak, který je důsledkem hloubky, je třeba uvažovat jen jako vnitřní činitel měnící materiálové vlastnosti, nikoliv jako napětí, které by porušovalo zemskou kůru.)

Předložená teoretická interpretace souhlasí s pozorovanými poruchovými směry v těchto bodech:

1. Dva základní poruchové směry (I a II) jsou k sobě kolmé (směry hlavních napětí).

2. Roviny kolmé k ideální rovině povrchu a procházející základními směry I a II jsou rovinami symetrie pro další dvě dvojice přiřazených poruchových směrů (Ia — Ib, IIa — IIb) (smykové poruchy), z čehož vyplývá kolmost dvojice Ia — IIa a podobně Ib — IIb.

3. Většímu hlavnímu napětí σ_1 působícímu ve směru II odpovídají primární poruchové směry I, Ia, Ib a napětí σ_2 působícímu ve směru I pak sekundární směry II, IIa, IIb (teoretická i pozorovaná přiřazenost trojic směrů souhlasí; Květ, 1976).

4. Úhly ($90^\circ - \psi$) mezi přiřazenými trojicemi jsou menší než 45° [viz nerovnost (2) a obr. 2].

5. Šestice poruchových směrů takto odvozená se týká predispozic primárních poruch v geologickém smyslu, a jen reálných primárních vertikálních poruch (Květ, 1983b).

Literatura

- Květ, R. 1976: Planetary equidistant rupture (PER) systems in Moravia, Czechoslovakia. *Proceed. 1st internat. confer. new basement tectonics, Salt Lake City, Utah geol. Assoc. Publ.*, 5, 290 — 294.

- Květ, R. 1983a: Poruchy zemské kůry a zákonitosti jejich orientace. *Stud. geogr. (Brno)*, 79, 292 s.
- Květ, R. 1983b: Čím se liší geotektonika od strukturní geologie; poruchy primární a sekundární. *Miner. slov.*, 15, 4, 373 — 378.

- Květ, R. 1985: A new concept of the geological time table. *Z. geol. Wiss. (Berlin)*, 13, 2, 149 — 167.
- Myslivec, A. — Eichler, J. — Jeseňák, J. 1970: Mechanika zemin. Praha, SNTL.

Mechanics of creation of the planetary equidistant rupture systems

In preceding paper (Květ 1983a) the planetary equidistant rupture systems were described, as they are observed on the Earth. According to the quoted paper the directions of the ruptures have a systematic orientation depicted in Fig. 1. The angle of 90° between the directions I and II and the angle of 36° between the directions I and Ia, I and Ib, II and IIa, II and IIb are the same in all systems. The hypothesis explaining the creation of more systems (Alpine, Hercynian etc.) was published elsewhere (Květ 1983a). The subject of this paper is to explain the directions of the ruptures in one system. With regard to the fact that the angles between the rupture directions (90° and 36°) do not depend on the locality on the Earth and on the system, they can be caused only by such factors, which are related to the planet as a whole, not the local conditions. We must take into account the scale of the Earth crust or even of the upper part of mantle. Only in such a way we will arrive at stresses that will not be dependent on the morphology and heterogeneity. The stress state in a point is described by a stress tensor that has six independent constituents. If we take into account the stress state on an unloaded surface of the body, which is the case on the Earth surface (neglecting atmospheric pressure), then three of the stress tensor constituents are zero and the stress state can be described by a planar tensor with three independent constituents. The constituents of a planar tensor depend on the orientation of the coordinate system and in any point there exist two perpendicular principal coordinate

axes, for which one of the constituents (shear stress) is zero and the other two constituents are called principal stresses (normal tensile or compressive stresses — σ_1, σ_2 — active in two perpendicular directions). It can be assumed with a high probability — if not with certainty — that the two basic perpendicular directions of rupture I and II correspond to the directions of the two principal stresses on the scale of the Earth crust. With regard to the independence of their normality on the local factors it is probably impossible to find another explanation. If we accept this conclusion, then the explanation of the remaining directions of rupture (Ia, Ib, IIa, IIb) seems to be also quite clear: There are two kinds of failures in a body; they arise either by break in a plane that is perpendicular to the ultimate normal stress (usually tensile stress), or by shear in a plane that is parallel with the ultimate shear stress.

It is necessary to emphasize once more that the stresses and all the analysis is on the scale of the thickness of the Earth crust including the upper part of mantle and the angle of internal friction 18° has the meaning of an average values in this region. If it is compared with the angles of internal friction of rocks on the Earth surface, it corresponds approximately to the properties of plastic clay, i. e. to an easily plastically deformable material. For the average properties of the region in question such behaviour is probable. The findings from very deep boreholes show a rapid rise of temperature, which — with the hydrostatic pressure due to the weight of the upper layers — are causes for plastification.