

Ladislav Beneš

O vlnách dilatačních a kompresních při zemětřeseních

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 53 (1924), No. 1-2, 19--26

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/109368>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1924

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

181. Über graphische Auflösung von überzähligen linearen Gleichungen zwischen zwei Unbekannten. OZ IX, 285—288.
182. Bemerkung zum Artikel des Herrn A. Wagner im Dezemberheft 1910: Über den Einfluss des mittleren Fehlers auf die wahrscheinlichste Beziehung zwischen zwei Veränderlichen. MZ XXVIII, 230—231.
- R. 1912:
183. Příspěvek ke studiu zákonitosti spekter čárových. Č XLI, 407—412.
- R. 1913:
- Viz č. 15.
184. O sestrojování tečen jistých křivek rovinných. Č XLII, 13—20.
185. O nomografii. Č XLII, 209—217.
186. Integrál Poissonův jako přímý důsledek integrálu Cauchyho. Č XLII, 398—401.
187. Úvod ke článku p. A. Jemelky. Č XLII, 500—501.
188. Zur Korrelation. MZ XXX, 558—560.
- R. 1914:
189. Ein Nomogramm zur Auflösung der Keplerschen Gleichung. AN CIC, 295—296.
190. Eine neue Methode zur geographischen Bestimmung eines Epizentrums. PM 2. Halbb., 78—79.
- R. 1915:
- Viz č. 55.
- R. 1916:
191. Der Variationsindex. MZ XXXIII, 241—247.
192. Über die Bearbeitung von langen Beobachtungen. MZ XXXIII, 361—366.
193. Über die Bestimmung von Perioden. MZ XXXIII, 446—454.
194. Abnormale Dämmerungserscheinungen im Sommer 1916. MZ XXXIII, 520—521.
- R. 1917:
195. Über die Bestimmung der Perioden bei veränderlichen Sternen. AN CCIII, 65—68.
196. Der Variationsindex und die Glättung. MZ XXXIV, 122—129.
- R. 1918:
197. Über die Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Höhe. MZ XXXV, 315—316.
- R. 1921:
198. Počet pravděpodobnosti. Praha, 127 str.
199. Vybrané stati z matematické statistiky. CS II, 225—260, 313—342.
200. Filosofie prostoru. RF I, 43—49.
- R. 1922:
201. Vybrané kapitoly z geofysiky. SZ XXVIII, 1—6, 65—69, 137—145.

O vlnách dilatačních a kompresních při zemětřeseních.

Napsal št. kapitán L. Beneš.

Při pozorování zemětřesení vyskytuje se zajímavý zjev, který doposud vzbuzoval velmi málo pozornosti, to jest objevování se v začáteční fázi zemětřesení v první podélné vlně — buď vlny kompresní nebo dilatační.

Vlnou kompresní nebo dilatační nazýváme stlačení nebo roztahení v pružném prostředí způsobené příchodem pružné vlny na místo pozorovací. Pozorování na jedné pouze stanici nemůže nám nic říci o tom, jaký byl charakter vlny při jejím vzniku v ohnisku zemětřesení. Jak známo, možno charakter první podélné vlny určití buď seismografem vertikálním bezprostředně, nebo horizontálními seismografy, je-li známo epicentrum zemětřesení.

Tento článek *) má účel vzbuditi zájem o uvedený zjev a ukázati na jeho značný význam pro seismologii. Materiál, jehož autor upotřebil, byly zprávy ruských seismických stanic I. řádu; originální seismogramy byly mu ve většině případů nepřístupny.

V ruské literatuře odborné nachází se několik poznámek o vlnách dilatačních a kompresních. Tak při svých pozorováních o vertikální složce pohybu půdy našel kníže B. B. Golický (Изв. Имп. Ак. Наукъ 1911), že ze 42 pozorovaných zemětřesení 27 jich přišlo do Pulkova s vlnou kompresní a 15 s vlnou dilatační. Zajímavá jest poznámka J. J. Vilipa ve zprávách ruské seismické komise 1913 o pozorování islandského zemětřesení dne 6. května 1912. Vilip poznamenává, že zemětřesení islandské z r. 1910 počalo právě vlnou kompresní v opak' toho, co bylo při prvé vlně zemětřesení z r. 1912 (t. j. vlny dilatační) i připomíná, že zjev tento dosud jest nevyjasněn a sotva možno v dohledné době očekávati řešení otázky, která jest právě příčina tohoto faktu, a připojuje některé domněnky o vzniku obou druhů vln.

Co se týče ostatní mimoruské literatury, nebylo o otázce charakteru první podélné vlny, pokud jest autoru známo, téměř uvažováno. Tato okolnost vysvětluje se patrně tím, že pro mimoruské stanice se konstruovaly i stále konstruují hlavně kyvadla horizontální, která nemožou samostatně určití charakter vlny, která registrují pohyb půdy ve všech možných směrech — azimutech — tak že názorné bezprostřední rozpoznání charakteru vlny zmizí; naopak charakter vlny jest ihned nápadný při registraci vertikálním kyvadlem, poněvadž jest zde možný směr pohybu jen buď nahoru nebo dolů.

První zajímavý výsledek, jež ukazují pozorování, jest tento: Při jednom a též zemětřesení pozoruje se na některých místech povrchu zemského vlna kompresní, na jiných vlna dilatační. Jako příklad bylo by možno uvéstí množství zemětřesení. Jedním z nejzajímavějších jest známé katastrofální zemětřesení italské, vzniklé dne 13. ledna 1915, jehož ohnisko se nacházelo blízko místa Avezzano. V Pulkově byla pozorována vlna kompresní, v Je-

*) Článek tento byl napsán autorem ruským jazykem již r. 1916 v Pulkově; pro známé nepříznivé poměry tiskové nemohl však býti v Rusku vytištěn, a podává ho autor v českém zpracování, když byl ho před nedávnem z Ruska zpět obdržel.

katěrinburgu, Tiflisu a Taškentě vlna dilatační. Zjev tento jest pozoruhodný tím, že jest v nesouhlasu s míněním některých seismologů, kteří předpokládají, že pozorovala-li se na jednom místě vlna kompresní, bude i na ostatních místech povrchu zemského, kde možno ono zemětřesení zjistiti, první vlnou vlna kompresní; totéž platí i pro vlny dilatační. (Příklad podobného mínění viz M a i n k a: Resultate der Erdbebenstation Adventbay auf Spitzbergen — Beiträge zur Geophysik 1914).

Pozorování naopak ukazují, že snad vždy při každém zemětřesení jsou místa na povrchu zemském, kde možno zjistiti vlnu kompresní, a místa, kde první vlnou jest vlna dilatační.

Ukážeme na některé zajímavé důsledky tohoto jevu. Tak čára spojující body, v nichž stlačení přechází v roztažení — máme na mysli problém v rovině — a znázorňující tak zvaný seismický paprsek, jest čára nejevící pohybu při začáteční fási, a bod, v němž tato čára protíná povrch zemský, nemůže proto jeviti charakteristického pohybu při první podélné vlně. Za příklad možno uvésti ideální ovšem případ, jímž se zabýval Lord Kelvin (Baltimore Lectures, 1904, pag. 209) při studiu šíření se pružných vln v nekonečném prostředí, pocházejícím od pohybu dokonale tvrdé koule v tomto prostředí:

Nechť r označuje vzdálenost bodu prostředí od počátku souřadnic — středu koule — nechť q jest poloměr koule, u rychlost šíření se vln příčných a v rychlost vln podélných. Koule pohybuje se ve směru osy X , a pohyb jest dán funkcí $E(t)$. Nechť konečně x, y, z , jsou souřadnice bodu prostředí, ξ, η a ζ pružné deformace. Potom platí velmi přibližně tyto rovnice pro body, jichž vzdálenost od středu koule jest značná při srovnání s poloměrem koule:

$$\xi = -\frac{r^2 - x^2}{r^3} \frac{\ddot{F}(t_1)}{u^2} + \frac{x^2}{r^3} \left[2 \frac{\ddot{F}(t_2)}{u^2} + 3qE(t_2) \right]$$

$$\eta = \frac{xy}{r^3} \frac{\ddot{F}(t_1)}{u^2} + \frac{xy}{r^3} \left[2 \frac{\ddot{F}(t_2)}{u^2} + 3qE(t_2) \right]$$

$$\zeta = \frac{xz}{r^3} \frac{\ddot{F}(t_1)}{u^2} + \frac{xz}{r^3} \left[2 \frac{\ddot{F}(t_2)}{u^2} + 3qE(t_2) \right]$$

$$\text{kdež } t_1 = t - \frac{r - q}{u}, \quad t_2 = t - \frac{r - q}{v}.$$

Z toho vidíme, že v rovině $x = 0$ mohou se objeviti pouze vlny příčné, nikoli však podélné.

Jiný zajímavý případ představuje zemětřesení pocházející od dvou ohnisek, při čemž z jednoho ohniska vychází vlna kompresní, z druhého vlna dilatační. Na průseku obou těchto vln musí vzniknouti náhlá změna směru pohybu částic prostředí

vzhledem k pohybu částic sousedních. Totéž by podobně vzniklo, jestliže by první vlny vycházející z obou ohnisek, byly obě kompresní nebo obě dilatační. Jako příklad zemětřesení ze dvou ohnisek vzniklého možno uvést indické zemětřesení ze dne 4. dubna 1905, kdež jedno ohnisko nacházelo se u města Kangra, druhé bylo na jihovýchod od tohoto města.

Pozorování jeví dále následující fakt: Jedno i totéž ohnisko může dáti na jedné a téže stanici při některých zemětřeseních vlnu kompresní, při jiných vlnu dilatační. Třeba ovšem tvrditi s jakousi výhradou, že zde běží o jediné ohnisko, poněvadž dosud není bezpečné metody, která by dovolila stanoviti polohu ohniska úplně bezpečně. V tom však není ještě pravá podstata konstatovaného faktu. Předpokládejme, že existuje seismická oblast, na příklad horský masiv a pod., a že pozorovaná zemětřesení pocházejí vždy z některého místa této oblasti. A nechť dále tato zemětřesení jsou původu tektonického. Jestliže při jednom zemětřesení pozorujeme vlnu kompresní a při druhém vlnu dilatační, můžeme říci s určitostí, že způsobí vzniku zemětřesení v každém případě byl různý, čili jinak řečeno, že mechanism zemětřesení byl různý. To jest na příklad: Nárazy byly namířeny v každém případě v různých směrech, nebo následkem prvního zemětřesení změnily se radikálně rozměry, tvar i hloubka ohniska, nebo obě zemětřesení vznikla sice tímže způsobem, ale síly působící byly jiným způsobem rozděleny atd. Proto, jestliže konstatujeme ze seismogramů, téže stanice pro určité ohnisko nebo oblast při jedněch zemětřeseních vlnu kompresní a při druhých vlnu dilatační, nemá mnohdy takové prosté zjištění pouze významu pro určení polohy epicentra, ale objasňuje i těsné spojení s procesem vzniku zemětřesení; zajímavé bude pak srovnávaní takové seismogramy i v ostatních vlnách.

Konečně (možno připustiti jakousi pravděpodobnost, že z některých seismických oblastí vychází spíše vlny kompresní, z jiných pak vlny dilatační.

Dle materiálu pozorování provedených od začátku září 1913 do konce září 1915 na stanicích v Pułkově, Jekatěrinburgu, Irkutsku a Taškentu, možno utvořiti čtyři hlavní skupiny oblastí. Skupina I., prostírající se od Kamčatky přes Japonsko k N. Guinei a Sumatře; skupina II., k níž náleží Malá a Střední Asie; skupina III. s Itálií, Jonským mořem a Řeckem a konečně skupina IV. s Centrální a Jižní Amerikou. Toto rozdělení jest docela libovolné, a učiněno hlavně se zřetelem na jednotnost seismických oblastí vzhledem k vyskytování se toho nebo onoho charakteru první vlny.

Následující tabuľka ukazuje počet zemětřesení vzhledem k různým vlnám pro čtyři skupiny:

Stanice	I.		II.		III.		IV.	
	Vlna komp.	Vlna dil.	Vlna komp.	Vlna dil.	Vlna komp.	Vlna dil.	Vlna komp.	Vlna dil.
Pulkovo	62	22	15	16	10	6	8	4
Jekatěrinburg	65	23	19	10	4	4	0	5
Taškent	55	20	19	35	2	4	4	3
Irkutsk	41	16	5	8	0	1	0	0

K tabulce této nutno však připojit některé kritické poznámky. Charakter vlny není vždy možno stanovit určitě následkem silných mikroseismických pohybů, také nebylo vždy jasno autoru, ke které fázi e P nebo i P se vztahuje sdělený charakter vlny ve zprávě příslušné stanice, a konečně jest tento materiál dosti nestejnorodý. Jest totiž počet zemětřesení zapsaných na jednotlivých stanicích velmi nestejný, dále nebylo vždy možno určití polohu epicentra na všech stanicích, a konečně z některých oblastí opakují se velmi často zemětřesení, což může maskovati potom charakter skupiny. Tak na př. dle pozorování v Pulkově, zemětřesení na Kurilských ostrovech opakovalo se 8krát v době od 1./V. do 3./V. 1915; zemětřesení v Jonském moři opakovalo se více než 30krát od 7./VIII. do 10./VIII. 1915. Při těchto dvou zemětřeseních byl charakter vlny však určen pouze při 4—5 opakováních.

Z tabulky jest zřejmo, že ve skupině I. převládala vlna kompresní, a že na všech 4. stanicích poměr počtu vln kompresních ku počtu vln dilatačních byl téměř stejný 3 : 1. Ve skupině II. jest poměr jiný, a zejména v Taškentě převládala vlna dilatační pro zemětřesení z blízkých vzdáleností (okolo 2000 km a méně). Ve skupině III. a IV. není určitého charakteru — pozorování jsou zřejmě málo četná. Za příčinu převládání té neb oné vlny na některé stanici možno pokládati mnohdy pouze vzájemnou polohu stanice a ohniska zemětřesení, a viděli jsme již, že totéž zemětřesení může jevití se v první fázi na některých místech vlnou kompresní, na jiných vlnou dilatační.

Položíme-li si otázku, jaké příčiny mohou dáti vznik vlnám kompresním a dilatačním, musíme se obrátiti k různým teoriím o vzniku zemětřesení. Máme-li na zřeteli tak zvaná zemětřesení tektonická, vyložíme zde krátce náhledy dvou amerických geologů, kteří, zdá se, nejvíce se přičinili o výklad mechanismu zemětřesení.

Nejprve teorie H o b b s o v a. H o b b s předpokládá, že vrchní vrstva zemské kůry tvoří jím tak nazvanou zonu zlomu (fracture zone), t. j. zemská kůra následkem zlomů a přesunů jest jakoby rozřezána na jednotlivé kry. Následkem náhlého posunutí takových ker podél čar — nebo spíše rovin zlomu, hlavně posunutí vertikálních, vzniká zemětřesení. H o b b s snaží se to ukázati zejména

na Kalabrijském zemětřesení, jež vzniklo 8. září 1905. Hlavní zvláštnost takového zemětřesení jeví se v tom, že největší katastrofální účinky možno očekávat na místech styku dvou ker, zejména na průsecích čar přesunů, což znovu může dáti původ vzniku druhotných ohnisek. Tyto náhledy, zdá se, byly přijaty sympaticky mnohými seismology i geology. Na příklad geologové Lais a Sieberg myslí, že takovým způsobem vzniklo zemětřesení v jižním Německu dne 16. listopadu 1911, to jest náhlým posunem kry zemské kůry, jež se nazývá Rauhe Alb. Oni ostatně nemohou s určitostí říci, jaká byla vlastní příčina pohybů Rauhe Alb, a předpokládají, že ohnisko tohoto zemětřesení leželo velmi hluboko pod povrchem zemským. (Různí seismologové obdrželi pro hloubku ohniska tohoto zemětřesení hodnoty od 10 do 100 km.)

Dalším důsledkem teorie Hobbsovy jest, že ohniskem zemětřesení může býti celá plocha styku dvou ker, jež se prostírá od povrchu země do jisté hloubky, tak že zde možno mluvíti pouze o největší hloubce ohniska.

Teorie Hobbsova představuje tedy docela určitý problém pro teorii pružnosti, jehož řešení však má známé obtíže. Mnozí geologové ostatně tvrdí, že teorie Hobbsova o struktuře zemské kůry může platiti pouze pro omezené části povrchu zemského.

Zajímavým důsledkem náhlého pohybu zemské kry — je-li vůbec možné — byl by fakt, že první pohyb kyvadla nalézajícího se na takové kře, nepocházel by od pružné vlny, nýbrž od pohybu kry.

Druhou teorií jest teorie Reidova, kterou tento geolog vybudoval v důsledku pozorování katastrofálního zemětřesení kalifornského, jež vzniklo dne 18. dubna 1906. Zemětřesení toto projevilo se ve svém účinku, jak známo, posunem značné části povrchu zemského podél čáry zlomu, již Američané nazývají San Andreas fault; čára tato probíhá přibližně ve směru poledníku. Při zemětřesení části povrchu zemského, jež se nacházejí na západ od čáry zlomu, posunuly se na sever, kdežto části na východ od čáry se posunuly na jih, tak že relativní pohyb podél a blízko čáry dosáhl na některých místech hodnoty 6 m.

Reid myslí, že náhlý pohyb může vzniknouti pouze při kráči malých rozměrů (3 až 4 km²). Poněvadž pak při kalifornském zemětřesení posuny byly konstatovány na ploše několika tisíc km² podél čáry zlomu, délky asi 430 km, nutno hledati jiný výklad zjevu. I on předpokládá, že pokenáhlý vzájemný pohyb obou stran San Andreas fault trval již několik desítekletí. Následkem toho vznikla ve vrstvách zemské kůry pružná deformace, která, když mez pružnosti byla překročena, byla dovršena zlomy na několika místech čáry. Vzniklý zlom šířil se rychle podél čáry

a při tom deformované části přišly náhle, jako by skokem, zpět do polohy rovnovážné. Proto Reid nazývá svoji teorii *elastic rebound theory*, a tato teorie má zřejmě charakteristické zvláštnosti, jimiž se odlišuje od teorie *Hobbsovy*.

Pro potvrzení teorie *Reidovy* bylo by proto nevyhnutelné prováděti v seismických oblastích geodetická měření v určitých intervalech (po roce, nebo dle okolností), kterážto měření by se ovšem mohla vztahovati jen k určitým omezeným plochám; tak i bylo usneseno učiniti v Kalifornii. Podobná měření by přinesla užitek nejen čisté vědě, ale i praktickému životu na př. při předpovídání zemětřesení a pod.

Dříve panovala domněnka, že zemětřesení i větší mohou vzniknouti následkem výbuchů uvnitř země (výbuch plynů, náhlá krystalisace magmatu a podobně). Jest zřejmo, že seismické vlny při takovýchto zemětřeseních musí opětjeviti své charakteristické zvláštnosti.

Teoretická seismologie a seismometrie, která nucena byla ve svých začátcích utvořiti jednoduchou teorii o vzniku zemětřesení, má na zřeteli pouze právě zmíněný způsob vzniku, t. j. předpokládá ohnisko bodové. Vzniká však otázka, není-li možno jednodušeji vysvětliti mnohá zemětřesení tím, že se zejména přihlédne k začátečním podmínkám při vzniku zemětřesení.

Velmi jasný pojem o tom, jak zemětřesení vzniklo, může dáti zejména první podélná vlna, poněvadž poznati způsob vzniku dle vln ostatních problém již složitější. Kdybychom měli k dispozici dostatečný počet stanic, tak že charakter první vlny bylo by možno určití na ploše povrchu zemského, pokud možno velké, bylo by možno souditi o formě první vlny, i o tom, jak asi zemětřesení vzniklo, jaké jsou asi rozměry ohniska, jeho tvar a hloubka. Bylo by proto užitečné sestrojiti pokud možno jednoduché přístroje, jichž úkolem by bylo určití pouze charakter první podélné vlny, po případě zároveň s určením maximálního urychlení pohybu půdy, i umístiti je hustě na prostoru zemského povrchu pokud možno velkém.

*

Sur les ondes de compression et de dilatation dans les tremblements de terre.

(Extrait de l'article précédent.)

La première onde élastique qui arrive à une station d'un foyer sismique est une onde longitudinale. Mais cette onde longitudinale est parfois une onde de compression, une autre fois une onde de dilatation. L'auteur montre l'importance de ce phénomène pour l'étude de l'origine des tremblements de terre et se sert pour

cela des dates fournies par les observations effectuées aux stations sismiques russes, comme il a eu l'occasion de le faire en 1916 en Russie.

Les observations montrent les résultats suivants :

1. Le même tremblement de terre arrive à une station avec une onde de compression, à une autre station avec une onde de dilatation. On voit par là, si l'on considère une telle onde élastique dans l'espace, quelles sont les particularités que l'on peut constater par les observations, et en même temps, qu'il est possible de faire des conclusions sur le mécanisme de la naissance du tremblement de terre considéré. L'auteur mentionne un exemple idéal de Lord Kelvin, où il n'y a qu'une onde — onde de distortion — en absence des ondes longitudinales.

2. Le même foyer sismique peut donner, dans une même station, une fois une onde de compression et une autre fois une onde de dilatation. Si l'on peut déterminer la position du foyer sismique assez exactement, on voit qu'on a ici un nouveau moyen pour faire des conclusions sur le mécanisme du trembl. de terre.

3. Il est possible qu'une région sismique émet plutôt une onde qu'une autre. Pour pouvoir constater ce fait on a formé 4 groupes de régions sismiques et on a compté le nombre des trembl. de terre avec l'onde respective pour 4 stations sismiques: Poulkovo, Ekaterimbourg, Tachkent et Irkoutsk. Dans le 1^{er} groupe (Kamchatka, Japon, N. Guinée et Soumatra) le rapport du nombre des trembl. de terre avec l'onde de compression à celui des trembl. de terre avec l'onde de dilatation est 3 : 1. Dans le 2^{me} groupe (Asie mineure, et centrale) ce rapport est d'un autre caractère, et on constate surtout un grand nombre de trembl. de terre qui sont arrivés à Tachkent avec l'onde de dilatation; il s'agit ici des trembl. de terre venant des distances d'environ 2000 km.

Les deux groupes restants (3^{me} gr.: Italie, Grèce; 4^{me} gr.: Amérique centrale et du Sud) n'ont pas un caractère exprimé, parce que les observations sont moins nombreuses.

Pour pouvoir étudier les causes des ondes de compression ou de dilatation, l'auteur mentionne deux théories principales sur l'origine des trembl. de terre — la théorie de Hobbs et de Reid — et indique des particularités de ces deux théories dans l'explication de la naissance des ondes de compr. et de dil.

L'auteur montre ensuite l'avantage, qu'on aurait, si l'on pouvait constater le caractère de la première onde longitudinale sur une grande superficie de la surface de la terre, et propose pour cela la construction des appareils sismiques très simples, qui n'indiqueraient que la composante verticale du trembl. de terre, et qui seraient répartis sur un grand nombre de points de la surface terrestre.