

SBORNÍK

ČESKOSLOVENSKÉ SPOLEČNOSTI ZEMĚPISNÉ

ROČNÍK 1969 • ČÍSLO 1 • SVAZEK 74

LUDVÍK LOYDA

SLAPOVÉ VLNĚNÍ ZEMSKÉHO POVRCHU

Nejnámější dnešní představy o pohybech zemské kůry jsou svým původem už staršího data. Byly vysloveny před 100—200 i více lety (např. kontrakce, isostase) a snažily se přirozeným, srozumitelným a na svou dobu i dostačujícím způsobem objasnit nejen vznik zřetelných deformací zemského povrchu — pohoří a depresí, ale i zvedání a klesání pobřeží, deformace vrstev ap.

V dnešní době by vyslovení a hlavně uznání tak málo doložených hypotéz bylo nesrovnatelně obtížnější. Nestačilo by pouhé obecné vysvětlení, ale za zcela samozřejmé by se považovalo jejich řádné zdůvodnění skutečně zjištěnými příklady a kromě toho by nová hypotéza asi jen těžko přečkala své několikanásobné vyvrácení jako např. isostase, uznávaná a vžitá už více než 100 let.

Úroveň dnešních geologicko-geografických věd je sice mnohem vyšší oproti období, kdy se formovaly tyto staré domněnky, ale přesto moderní věda dosud nevytvořila žádnou novou a přitom i opravdu podloženou hypotézu o pohybech zemské kůry. Jasně řečeno — podstata pohybu ker, jeho průběh a příčiny zatím stále ještě zůstávají téměř neznámy (Bulanže 1965, aj.). A to je zřejmě i hlavním důvodem, proč se stále udržují při životě staré spekulativní představy, nikdy neověřené a několikrát už třeba vyvrácené.

K přežívání těchto starých názorů však došlo pravděpodobně i tím, že při rozvoji vědy a osamostatňování mladých vědních odvětví se uplatňovala i zcela samozřejmá snaha vymezit sféru působnosti každého nově vznikajícího oboru. Mladé vědní obory pak již mají své specifické úkoly a problémy, diferencují se od sebe, avšak už třeba jen tím, že se vzájemně respektují, vytvářejí mezi sebou stále zřetelnější hranice, jejichž překračování nebývá obvykle ani žádoucí. Pak je ovšem těžko požadovat od některého z těchto už přesně vyhraněných oborů studium širokých, obecných problémů.

Při zjišťování příčin a povahy pohybů by tento úkol měl tedy připadnout oboru nejméně specializovanému, jenž není omezován svým úzkým zaměřením, ale je schopen na celý problém pohlížet ze širokého hlediska. Jmenovitě zde si tuto možnost ze všech přírodních věd zachoval už vlastně jen o b e c n ý z e m ě p i s.

Od filosofie se zeměpis oddělil už ve starověku a stal se tak spolu s astronomií a medicinou vlastně první přírodní vědou vůbec. Teprve postupem času se z něj vyčlenily ostatní dnešní přírodní vědy, avšak obecný zeměpis si jako prvotní, základní přírodní věda v sobě stále uchovává nejen základy všech nově vzniklých nebo teprve se formujících vědních odvětví, ale i schopnost širokého pohledu na jejich vzájemné souvislosti. Má tedy zřejmě největší předpoklady

pro studium i hodnocení těch základních otázek a problémů, které se vymykají možnosti řešení kteréhokoliv jiného už specializovaného oboru. Jinou otázkou ovšem zůstává, do jaké míry jsou tyto možnosti zeměpisem dosud využívány.

Existence pohybů zemské kůry je známá v geologicko-geografických vědách už několik staletí — co však zůstalo nepoznáno, je vlastní průběh těchto pohybů a rovněž i jeho příčiny. Lze-li se opřít o zákon aktualismu, pak tektonické pohyby nemohou zůstat omezeny jen na období dávno minulá, ale musí, třebaže jen v menší intenzitě, probíhat stále. Na jejich recentní lokální projevy bývá také často upozorňováno, ale pro jejich sledování a přesné měření přece jen stále chybějí přístroje i metody, nutné ke zjištění aspoň některých jejich základních vlastností.

Předpoklady k tomuto studiu má jistě geofyzika, ale snad ještě větší možnosti má v dnešní době geodézie. Ovšem v důsledku již vzpomenuté izolovanosti vědních oborů nejsou výsledky jejího měření v geologii ani v zeměpise ještě náležitě zhodnoceny a využity. A tak za příčinu pohybu ker zemské kůry jsou proto stále považovány staré spekulativní hypotézy — isostase, kontrakce, různá podkorová proudění i hypotetické fyzikálně chemické pochody v zemském nitru — tedy vesměs jevy zcela nebo do značné míry pouze předpokládané a dosud nijak přesně nedoložené a také řádně neověřené. Přitom však geodézie už nejen objevila a změřila krátkodobé slapové vlnění zemského povrchu, vyvolané gravitací Slunce a Měsíce, ale zná i podobné pohyby o delší periodě.

Pozorování denních slapů v zemské kůře sahá vlastně až do starověku. Plinius Starší ve své *Historia Naturalis* se totiž zmiňuje o studni v blízkosti Cadixu, nedaleko Herkulových sloupů, v níž hladina vody pravidelně denně stoupá a klesá, někdy v souladu s mořským přílivem a odlivem, ale někdy i zcela opačně. Obdobně nesouhlasné kolísání vodní hladiny popisuje ještě u jiné studny z okolí Sevilly. Plinius samozřejmě vidí v pravidelném kolísání vody přímou souvislost s působením mořského přílivu a odlivu. Tento bystrý postřeh zůstal v platnosti téměř až do dnešních dnů.

Důkladnější pozorování tohoto jevu však byla prováděna až mnohem později. Jedním z nejznámějších příkladů se stal uhelný důl u Duchcova, zatopený náhlým provalením spodní vody r. 1879. Průběžně měřené oscilace vodní hladiny zde měly denně amplitudu kolem 3 cm a zjevně souvisely s lunárními slapovými vlnami. Kolísání tlaku vzduchu naopak nemělo s nimi vůbec žádnou souvislost (Klönne 1880). Mnohem později objevené pohyby vodní hladiny ve studni u Craddocku v Jižní Africe měly amplitudy dvojnásobé (Young 1913). Od té doby jsou poměrně často pozorovány podobné oscilace v artéských vrtech v USA, v Belgii a hlavně v Kongu, kde hladina horkého pramene v Kiabukwa se periodicky zvedá a klesá v rozmezí 17 cm (Bredehoeft 1967).

Ani všechna nová pozorování však nestačila k tomu, aby pravidelné oscilace vodní hladiny ve studních a vrtech byly považovány za jev, důležitý k poznání základní povahy tektonického pohybu. Pouze jediná představa (Melchior 1966) se snaží vysvětlit toto rovnoměrné kolísání vodního sloupce opakovaným rozesťupováním puklin v zemské kůře, spojeným s pravidelným zvedáním a klesáním ker při postupu slapové vlny. Podle Melchiora je možno očekávat podobné oscilace také u jiné tekuté výplně pukliny — u nafty nebo žhavé lávy. Tato představa je naprosto správná, avšak počítá pouze se zvedáním a klesáním ker a ne už s jejich vzájemným ukláněním při vlnitém pohybu zemské kůry.

Slapový povrch pevné zemské kůry se tedy zřejmě dal už dávno předpokládat, ale teprve jeho přímé a přesné změření mohlo správnost celé této představy

potvrdit. Zásluha o to patří především hydrostatickým nivelacím, jejichž úspěšné provedení už vlastně jen navázalo na starší měření kolísání vodní hladiny v horizontálně uložených trubcích.

a) Pohyby vodní hladiny v horizontálních trubcích

Měření tohoto druhu byla prováděna už před 50 lety a zřejmě v nich bude pokračováno dále. Měřicím přístrojem je v těchto případech vodorovně uložená trubice naplněná vodou a opatřená na obou koncích plováky nebo měřicím válcem. Kolísání úrovně hladiny vody lze na koncích trubice sledovat přímo mikroskopem nebo je možno pohyb plováků zaznamenat na film. Délka použité trubice byla původně 150 m (Michelson, Gale 1919), později 125 m (Egedal 1937), dnes se v Japonsku používá k měření zemských slapů trubcový sklonoměr o délce 60 m (Ozawa 1967), ale naopak ve Finsku se plánuje použití trubice dlouhé 1 km (Kukkamäki 1965).

b) Hydrostatické nivelace

S touto metodou začali dánští geodeti při provádění běžných nivelací v r. 1938. Ve snaze odstranit obtíže při převádění výškových údajů mezi jednotlivými ostrovy položili přes Velký Belt mezi Sjaellandem a Fynem 18 km dlouhou olovenou trubici o vnitřním průměru 1 cm, ukončenou na obou stranách vertikálním skleněným válcem. Po jejím naplnění vodou a seřízením rysek v obou válcích bylo možno sledovat pravidelné kolísání úrovně hladiny o periodě 12 hodin 25 minut a amplitudě 2–3 mm. Kontrolní měření provedená týmž způsobem na ostrově Sprogö, ležícím v poloviční vzdálenosti mezi Sjaellandem a Fynem, tyto údaje potvrdila (Nörlund 1945).

Tato dánská měření však zůstala delší dobu zcela ojedinelá, až teprve r. 1952 začaly podobné pokusy v Nizozemsku a v NSR. Nejdříve byl k těmto účelům využit nově zbudovaný plynovod přes Westerschelde v délce 4,2 km, naplněný vodou ještě před uvedením do provozu. Podobných hydrostatických nivelací bylo od té doby provedeno asi 40 a celková délka takto změřených úseků dosáhla zatím 150 km. Použito bylo potrubí buď olovené, kladené na mořské dno, nebo polyethylénové, resp. z tvrzeného kaučuku, které pro svou nízkou váhu zůstávalo i po naplnění vodou při hladině.

Z takto změřených úseků jsou v Nizozemsku a v NSR zatím nejdelší:

1. roku 1961 změřená trasa na ostrov Schouwen, dlouhá 7,2 km,
2. roku 1962 změřená trasa Kleiner Vogelsand—Gelbsand v ústí Labe, dlouhá též 7,2 km a
3. roku 1959 změřená trasa Vlieland—Terschelling, dlouhá 6,9 km.

Nejdelší hydrostatickou nivelací vůbec však zůstává stále trasa přes Velký Belt, měřená v roce 1938. Do budoucna se uvažuje položit nivelacní trubice i přes Doverskou úžinu (Waalewijn 1967). Amplituda vlnitého pohybu, zjištěného v průběhu 1 dne na všech trasách, dosahovala v průběhu hodnoty 2–3 mm.

Pokusně jsou zatím zaváděna hydrostatická nivelacní měření i ve vnitrozemí a jejich výhodou je možnost samočinné průběžné registrace vlnivých pohybů. Vhodně zvolená trasa, křížící zlomovou linii, musí zachytit oscilační pohyb sousedních ker, jeho amplitudu, rychlost i kratší periodicitu, takže tyto poměrně jednoduché nivelace jsou vlastně jedinou přímou a poměrně přesnou metodou zjišťování permanentního vlnivého pohybu zemské kůry.

Slapové zvedání a klesání zemského povrchu je tedy tímto druhem nivelac-

ního měření dokázáno a rovněž už byly rozlišeny hlavní solární a lunární vlny, probíhající zhruba v rozmezí jednoho dne (Melchior 1967).

Hlavní celodenní vlny:

1. solární vlna	P_1 o periodě	24 ^h 3 ^m 54 ^s
2. lunární vlna	O_1 o o periodě	25 ^h 49 ^m 8 ^s
3. lunisolární vlna	K_1 o periodě	23 ^h 49 ^m 3 ^s

Hlavní polodenní vlny:

4. solární vlna	S_2 o periodě	12 ^h
5. lunární vlna	M_2 o periodě	12 ^h 25 ^m 14 ^s
6. lunární vlna	N_2 o periodě	12 ^h 39 ^m 30 ^s

Krátkodobé, tj. denní slapové vlnění se ovšem neomezuje pouze na těchto 6 hlavních vln, ale je tvořeno několika desítkami dalších vln, na jejichž průběhu se podílí složky gravitační, rotační i slapové.

Nezávisle na tomto způsobu zjišťování denních slapů zemské kúry však byly objeveny při běžném opakovaní nivelačních měření i ve vnitrozemí mnohem déle trvající zdvihy a poklesy zemského povrchu. Protože intervaly mezi jednotlivými nivelacemi bývají obvykle 20—40 let, nemohou být jimi zachyceny kratší, tj. denní nebo i roční slapové vlny, ale pouze pohyby trvalejšího rázu. Při těchto dlouhodobých pohybech ovšem obvykle není možno určit nejen peridicitu pohybu, ale ani amplitudu zdvihu nebo poklesu, a proto také nelze zatím ani bezpečně rozhodnout o planetárním zdroji, který je jeho příčinou.

Nivelační měření se opakují poměrně často v Estonsku, kde už také bylo sestaveno 11 map, zachycujících rozsah a velikost zvedání a klesání zemského povrchu. Vlastnosti vlnivého pohybu ani jednotlivých vln se však nepodařilo zjistit, protože ani z těchto map se spolu neshodují. A právě nemožnost objevení periodičnosti nebo jiné pravidelnosti v průběhu těchto vertikálních pohybů přímým měřením vede zatím k jedinému východisku, a to k převzetí izostase pro jejich zdůvodňování.

Přesnost, a tím i věrohodnost výsledků opakovaných nivelací, vylučující jak dosud často zveličovaný význam chyb v měření, tak i obvyklá podezření na vliv lokálních podmínek (sedání ap.), se podařilo dostatečně ověřit ve Finsku, a to měřením jiného druhu, zcela nezávislým na nivelační síti napojené na mareografy Finského a Botnického zálivu. Na základě údajů limnigrafů, zřízených na četných jezerech, byla sestavena mapa izobas pro část území Finska, která se v zásadě zcela shoduje s podobnou mapou sestavenou podle výsledků opakovaných nivelací (obr. 1, 2).

Uvedené mapy Finska, Estonska a jiných větších oblastí nemohou ovšem přihlížet k detailům a zaznamenávají proto generalizovaně jen celkovou tendenci ke zdvihům a poklesům a rychlost těchto pohybů v určitém období. Diferencované pohyby jednotlivých a zvláště menších ker v těchto přehledných mapách nemohou být zachyceny. Je tedy celkem pochopitelné, že za původce např. zvedání Skandinávie, známého zatím jen v hrubých rysech, bývá považována třeba glacioizostase nebo podkorové proudění přicházející od Alp ap., tedy příčiny nejen převážně spekulativní, ale i zcela obecné, které mohou být prozatímním zdůvodněním mnohých jevů, jejichž podstatu dosud věda neobjevila.

Pohyby jednotlivých ker už byly ovšem také pozorovány. Zvláště z mořského pobřeží jsou známy opakované zdvihy a poklesy, které izostase ani jiná spekulace nevysvětlí. Z opakovaných nivelačních měření na kratších úsecích

je pak zřejmé, že tu jde o samostatné pohyby dislokacemi od sebe oddělených jednotlivých ker (obr. 3).

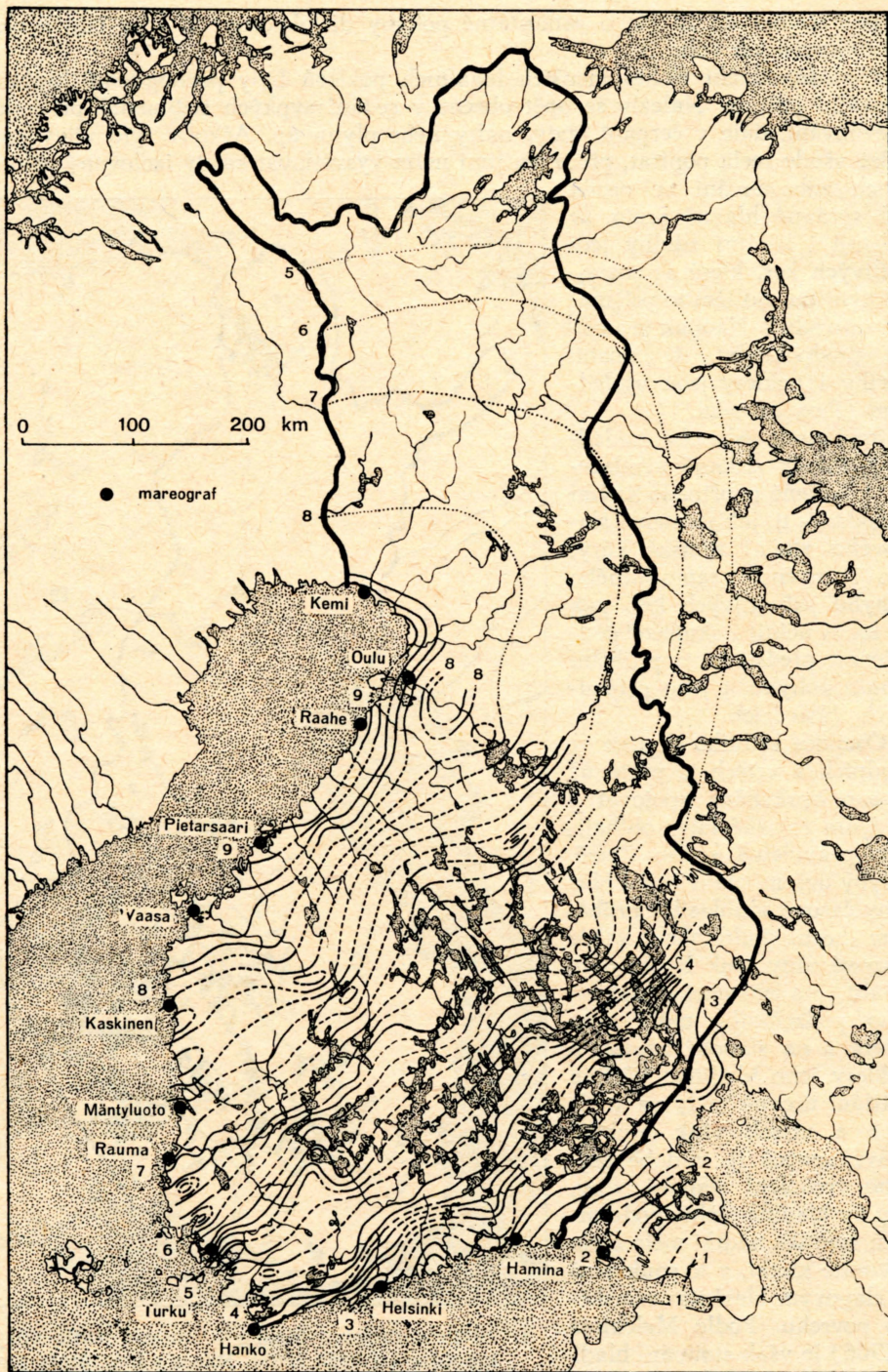
Pro zdůvodnění těchto menších lokálních poklesů byly pochopitelně hledány i lokální příčiny. Nalezly se opět obecně v sedání sypkých sedimentů při jejich zpevňování, dále v čerpání vody, nafty nebo plynu ap. Ačkoliv tyto vlivy jistě nelze všude zcela popírat, přece jen jimi nelze vysvětlovat každý izolovaný pokles. Jejich zobecňování se nezdá být správné hlavně proto, že existují i lokální zdvihy jednotlivých ker, které samozřejmě není možno těmito příčinami zdůvodnit. Naopak je možno předpokládat, že místní zdvihy i poklesy jsou výsledkem téhož procesu.

Spojíme-li tedy oba základní poznatky získané nivelacemi a ověřené popřípadě jinými metodami, tj. jak existenci slapového vlnění zemské kůry, tak i možnost samostatného pohybu jednotlivých ker, pak už lze si učinit i skutečně podloženou představu o průběhu tohoto pohybu a jeho případných důsledcích.

Oscilace vodního sloupce ve studních a vrtech je proto už možno oprávněně spojovat s vlněním zemské kůry obíhajícím pravidelně kolem Země. Kdyby ovšem zdvih vodní hladiny časově souhlasil s průběhem horní kulminace každé slapové vlny, pak by se dalo soudit i na existenci rozsáhlejšího podzemního moře nebo jezera a na slapové zdvihy a poklesy jeho hladiny. Většina zvedání úrovně vody ve studních a vrtech však probíhá právě opačně tj. v době dolního vrcholení slapové vlny, kdy by hladina těchto podzemních vodních nádrží měla zcela zákonitě klesat, a to souhlasně se slapovým klesáním zemského povrchu. Podle Melchiora (1966) je však stoupání hladiny vody ve vrtech a studních



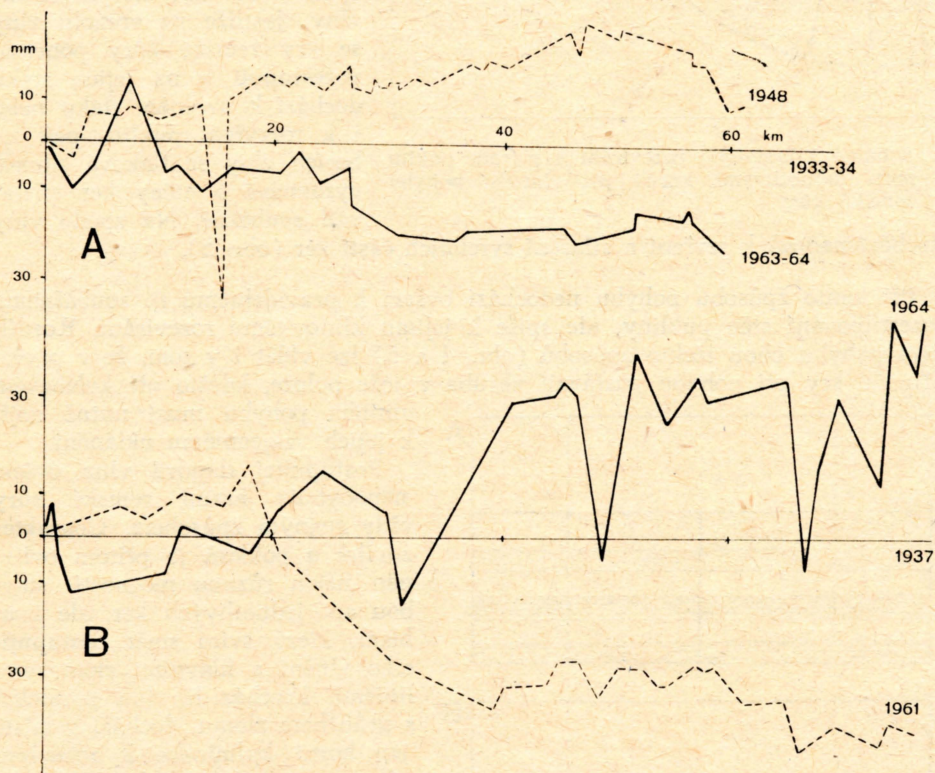
1. Zdvih vnitrozemí Finska v mm/rok podle údajů limnigrafů (Sirén 1963). Jezera s limnigrafy jsou vyplněna černě.



2. Zvedání Finska v mm/rok podle údajů opakovaných nivelací (Kääriäinen 1963).

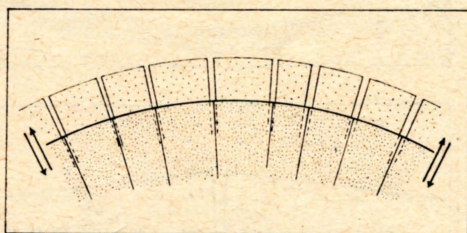
v době této spodní kulminace vyvoláno sevřením stěn pukliny, při němž dochází i ke stlačení a tím i k vertikálnímu protažení vodního sloupce, který puklinu vyplňuje. Naopak rozevírání pukliny při vyklenutí kůry v době průběhu kladné slapové vlny musí vyvolat jev zcela opačný — tj. pokles hladiny vody v puklině při rozestupování jejich stěn.

Tato úvaha je zcela logická, avšak je třeba si objasnit, jakým způsobem může

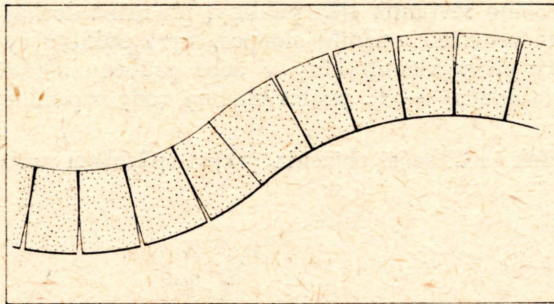


3. Diferencované pohyby ker na území Estonska, zjištěné opakovanými nivelacemi (Želnin 1965). A — trasa Rakvere—Jychvi, B — trasa Pyltsamaa—Lelle.

dojít k opakovanému svírání a rozestupování stěn pukliny. Nejjednodušší představou je zhruba rovnoměrný zdvih ker, provázející každé vyklenutí zemského povrchu. Je to zřejmě jakási obdoba rozestupování a vzdalování ker v hypotéze o dilataci Země. Po období této lokální dilatace se ovšem kry opět vrátí do výchozí polohy a přitom dosud rozevřené pukliny se opět sevřou a sousední kry k sobě znovu těsně doléhají (obr. 4).



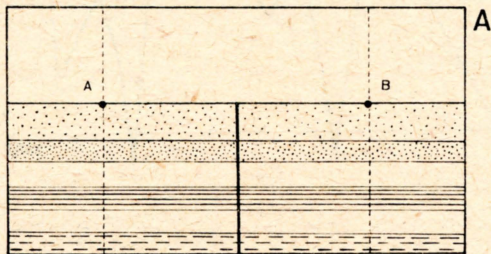
4. Schéma rovnoměrného zvedání a kle­sání ker, nepřihlížející ke slapovému vlnění zemské kůry.



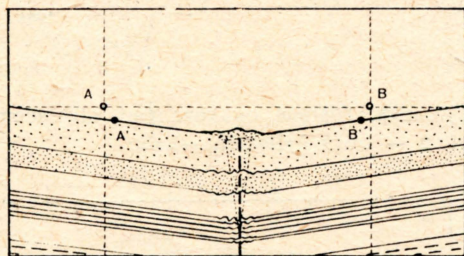
5. Schéma klínovitého rozevírání a svírání puklin mezi jednotlivými krami při vlnitém pohybu zemské kůry.

dochází naopak k sevření a stlačení svrchních částí ker (obr. 5).

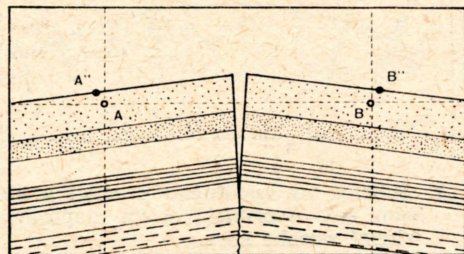
Při tomto způsobu pohybu nedochází ovšem k pravidelnému tj. souběžnému rozestupování stěn pukliny, ale spíše k jejímu klínovitému rozevírání. Rozdílnost pohybu obou těchto způsobů (obr. 4 a 5) lze vidět i v tom, že v prvním případě kry při pohybu zůstávají zhruba v téže poloze, kdežto při kolébavém vlnitém pohybu musí nutně dojít k jejich vzájemnému uklánění.



A



B



C

V této představě se zřejmě vůbec nepočítá s horizontálním postupem slapových vln, při němž každé zvedané místo se ocitá postupně jak na bocích, tak i na vrcholu a naopak i na dně koryta každé vlny. Jestliže na vrcholu vlny se kry zemské kůry poněkud rozestupují a na jejich styku dochází k uvolnění tlaku nebo i k rozevření puklin, pak na bocích vlny se tlaková situace vyrovnává a stěny ker zůstávají souběžné. Na spodu vlny

Postupující slapová vlna ovšem nepohybuje krami zemské kůry vždy stejným způsobem. Charakter zdvihů a poklesů je přitom ovlivněn nejen různou mocností, stavbou ap. jednotlivých ker, ale i úhlem, který svírá směr postupujícího vlnění s hlavními zlomovými liniemi. Prochází-li vlna paralelně s průběhem zlomu, dochází v místě její horní kulminace k rozevření puklin a nad dolní kulminací k je-

6. Schéma pohybu ker při vlnění kůry. Slapová vlna postupuje ve směru zlomu a zvedá svým hřbetem sousední kry. Úkon ker odpovídá jejich poloze nad vrcholem, křídly nebo korytem vlny. Uklánění ker při vlnění kůry musí nutně vést nejen k vertikálnímu, ale i k horizontálnímu posunu geodetických bodů: body A a B se při poklesu dostávají do polohy A' a B', při zdvihů do polohy A'' a B''.

jich sevření a stlačení. Kry se přitom zvedají i klesají *současně* (obr. 6). Postupuje-li naopak vlna kolmo nebo šikmo k průběhu zlomu, musí nutně způsobit *postupně* zvedání a klesání jednotlivých ker (obr. 7). Kromě rozevírání a svírání puklin zde pak dochází k menším vzájemným vertikálním a horizontálním posunům, které se ovšem hned po přechodu vlny vyrovnávají. Tento vyrovnávací pohyb vln už byl zjištěn mnohokrát např. na mořském pobřeží (Richter 1963) a je tak dalším potvrzením slapového vlnění ker zemské kůry.

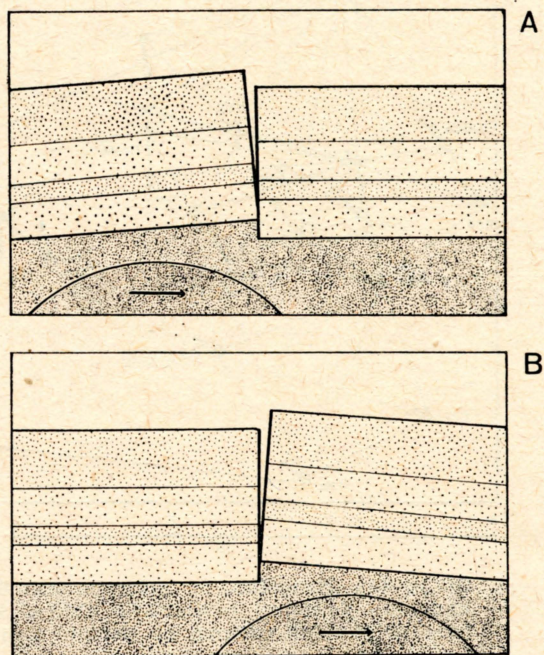
Schematický obrázek č. 6 ukazuje, že právě při tomto pohybu musí nutně docházet nejen k vertikálnímu, ale i k horizontálnímu posunu, zvláště na rozhraní sousedních ker a to jak při vyklenutí tak při prohybu zemské kůry. Rychlejší uklánění jednotlivých ker vyvolané denními nebo jinými krátkými slapovými vlnami je prakticky nemožno přesně zjišťovat. Pouze pohyb o delší periodě by mohla zachytit současně prováděná nivelační a triangulační měření, opakovaná v dostatečně dlouhých intervalech.

Tento jedině možný způsob je však ve většině případů neuskutečnitelný proto, že:

a) Nivelační a triangulační body nejsou totožné, takže není možno u kteréhokoliv z nich zjišťovat zároveň horizontální posun i vertikální zdvih nebo pokles.

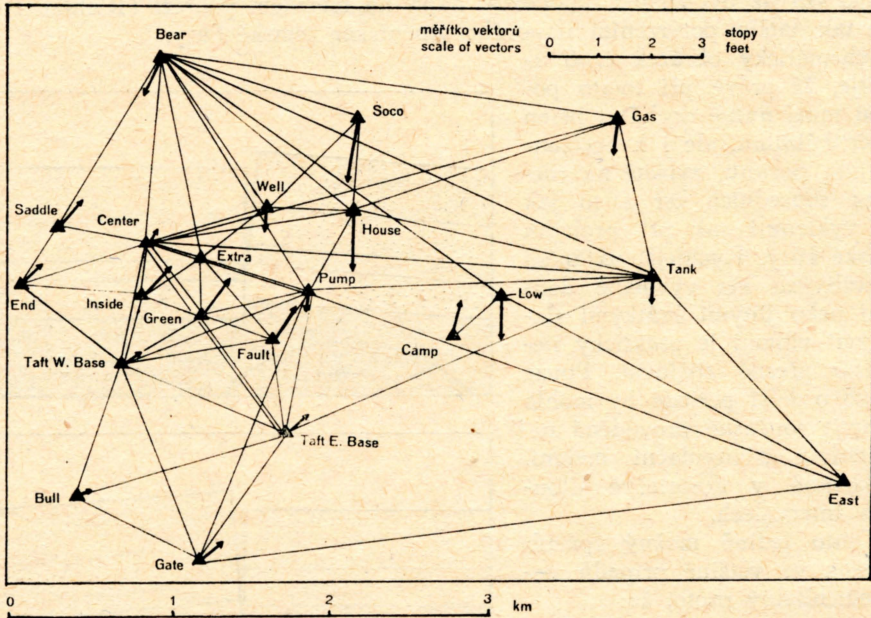
b) K tomuto účelu by bylo třeba zřídit na poměrně malé ploše hustou triangulační a nivelační síť a na ni provádět opakovaná přesná měření. Kladný výsledek by pak byl podmíněn tím, probíhá-li či neprobíhá v těchto místech živá zlomová linie.

U nás byl zřízen podobný polygon v jižních Čechách na rozhraní zvedajícího se krystalinika Lišovského prahu a pokleslé Budějovické pánve. Výsledky opakovaných přesných měření na husté geodetické síti jsou však už dnes známy z naftového pole Buena Vista Hills v Kalifornii (Whitten 1967). Po obou stranách známé zlomové linie San Andreas zde byla prováděna po deseti letech i častěji opakovaná měření, která zjistila pohyby triangulačních bodů typu posunování (creeping) ve směru ke zlomové linii (obr. 8). Na témže místě provedená nivelační měření ukázala téměř současný pokles jak těchto triangulačních bodů, tak i jejich celého okolí. Velikost poklesu byla největší právě také při zlomové linii (obr. 9).



7. Schéma pohybu ker při vlnění kůry. Slapová vlna postupuje kolmo nebo šikmo ke směru zlomové linie a proto nezvedá sousední kry současně, ale postupně za sebou. Výsledná poloha ker se po přechodu vlny vyrovnává, avšak při postupu vlny musí docházet k podobnému posunování geodetických bodů jako na obr. 6.

Sevření ker na zlomové linii San Andreas při současném úklonu jejich povrchu je tedy doloženo nejen provedením opakované nivelace a triangulace, ale i tím, že v naftovém poli Buena Vista Hills došlo přitom na několika místech i ke zmizení nafty.



8. Opakovaná triangulace na naftovém poli Buena Vista Hills při zlomu San Andreas v Kalifornii, provedená r. 1932 a 1959 (Whitten 1967). Triangulační body se posunují směrem ke zlomové linii.

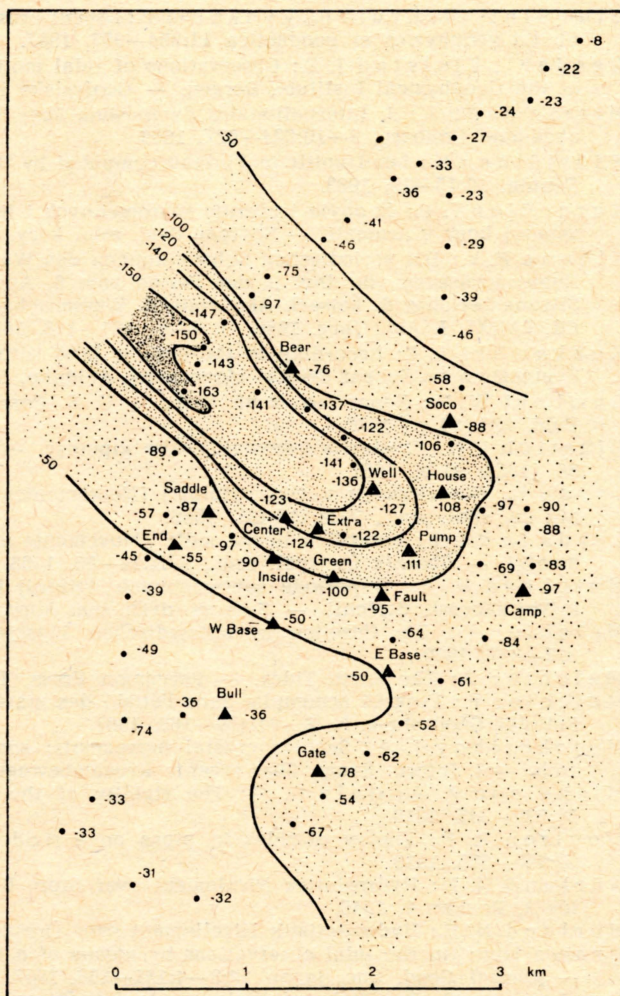
Výskyt nafty i její náhlé zmizení zde nebylo dost dobře možno vysvětlovat jen čerpáním a sedáním nadloží právě vzhledem k této zlomové linii. Při sedání vrstev by pravděpodobně došlo k rovnoměrnému poklesu celého území, pod nímž byla voda, nafta nebo plyn odčerpány. Zároveň nelze předpokládat, že náhlé zmizení nafty, které není prokazatelně výsledkem vyčerpání veškerých zásob, bylo vyvoláno jen vahou nadloží, nemění se vůbec v průběhu těžby. Jedinou možností je tedy vysvětlení této migrace zvětšením tlaku v bezprostředním sousedství zlomové linie a stlačením hornin v jejich nejbližším okolí. Nafta pak samozřejmě uniká do míst, kde v důsledku kolébání ker došlo k opačnému jevu, tj. k uvolnění tlaku nebo i k rozevření puklin.

I když zde nejde o projev krátkodobého slapového vlnění zemské kůry, které způsobuje známé oscilace vody ve studních a vrtech, přece princip periodických tlakových a polohových změn při uklánění ker i zde musí zůstat stejný. Tím pak lze také vysvětlit, proč geodetická měření třeba právě v Kalifornii zjistila, že kromě četných poklesů některé z niveláčnických bodů vůbec nezměnily svou výškovou polohu a jiné se dokonce zvedly o několik centimetrů — např. v oblasti San Jose nebo v areálu Tulare-Wasco, kde kromě poklesů, dosahujících zde až 11 stop, byly zaznamenány i zdvihy vyšší než 2 stopy (Small 1966).

9. Opakovaná nivelace na naftovém poli Buena Vista Hills při zlomu San Andreas v Kalifornii (Whitten 1967). Niveláč- ní body klesají nejvíce při zlomové linii (klesá- ní je uvedeno v mm za období od března 1961 do července 1964).

Tato i četná jiná přesná měření tedy jen potvr- dila, že představa vlnivé- ho slapového pohybu zem- ského povrchu, při níž mu- sí docházet jak k pokle- sům, tak i ke zdvihům, je zřejmě správná. Proto je také možno připustit, že tento skutečně zjištěný krátkodobý diferencovaný pohyb ker zemské kůry ne- dokáže vysvětlit žádná ji- ná ze starých spekulativ- ních hypotéz — izostase, podkorové proudění ani fyzikálně chemické pocho- dy v zemském nitru apod. Přitom lze i předpokládat, že ani dlouhodobé klesání a zvedání zemského pov- rchu není výsledkem jiného

než slapového pohybu ovšem o mnohem delší periodě (sta, tisíce i více let), jehož přímé sledování nemohlo být pochopitelně průběžně prováděno. Zcela podobný charakter tohoto pohybu však ukazuje i na podobné, tj. planetární příčiny. Zdá se tedy, že staré hypotézy se už snad přece jen dočkají svého historického zhod- nocení a základem dalšího studia tektonických pohybů se stane slapové vlnění pláště a kůry zemské. Zeměpis i geologie tak stojí zřejmě před novým rozsáhlým úkolem, spojeným ovšem i s částečným přehodnocením některých výsledků vlast- ních výzkumů.



Literatura

- Bredhoeft J. D.: Response of well-aquifer systems to the earth tides. — Journ. Geophys. Research, 72:12:3075—3087, 1967.
 Bulanžev J. D.: Po povodu izučeniya sovremennykh dviženij zemnoj kory na stacionar- ných poligonach. — Sovrem. dviž. zem. kory, 2, Tartu, 338—343, 1965.

- Cimbálník M., KrUIS B., Vyskočil P.: Recent crustal movements in the ČSSR. — *Studia geophysica et geodaetica* 11:354—357, 1967.
- Egedal J., Fjelstad J. E.: Observations of tidal motions of the earth's crust made at the Geophysical Institute, Bergen. — *Geofysiske Publikasjoner*, Oslo, 11:14, 1937.
- Hiersemann L.: 3. Internationales Symposium über Erdzeiten in Triest. — *Bergakademie Freiberg*, 9—10:624—627, 1959.
- Kääriäinen N.: Land uplift in Finland computed by the aid of precise levellings. — *Fennia*, 89:15—19, 1963.
- Kazančjan P. P.: Iz opyta izučeniya sovremennykh i lokal'nykh vertikal'nykh dviženij zemnoj kory v Armenii. — *Sovrem. dviž. zem. kory*, 2, Tartu, 269—273, 1965.
- Klönne F. V.: Die periodischen Schwankungen des Wasserspiegels in den inundierten Kohlschächten von Dux in der Periode vom 8. April bis 15. September 1879. — *Sitzungsberichte d. kaiserl. Akademie d. Wissenschaften*, Wien, Math. naturw. Cl., Bd. LXXXI, I. Abt., Jhrg. 1880, H. I—V, 101—118, 1880.
- Kukkamäki T. J.: Recording to the secular land tilting with pipe level. — *Second Symposium on Recent Crustal Movements*, Aulanko, Finland, 4 p., 1965.
- Lambert W. D.: Report on earth tides. — *U. S. Coast and Geodetic Survey*, Spec. Publ. 223, 24 p., 1940.
- Ljustich J. N.: Izostazija i izostatičeskiye gipotezy. — *Trudy Geofiz. Inst. AN SSSR*, 38, [165], 90 p., 1957.
- Loyda L.: Neotektonika v geomorfologii (Neotectonics in Geomorphology). — *Sborník Čs. spol. zem.*, 71:2:115-141, 1966.
- Loyda L.: Pohyby pobřeží a lidská sídla (Movements of the coast and human settlements). — *Sborník Čs. spol. zem.*, 73:1:14—26, 1968.
- Matckova V. A.: O periode sovremennykh dviženij i kačestvennoj charakteristike krivoj skorosti dviženij. — *Sovrem. dviž. zem. kory*, 2, Tartu, 233—240, 1965.
- Melchior P.: Die Gezeiten in unterirdischen Flüssigkeiten. — *Erdoel-Kohle*, 13: 312—317, 1960.
- Melchior P.: *The Earth Tides*. — Pergamon Press, 458 p., 1966.
- Melchior P.: Progrès accomplis dans l'étude des marées terrestres (1957—1967). — *Bulletin Géodésique*, N. S., 84:159—185, 1967.
- Mescherikov J. A.: Secular crustal movements: some results and tasks of research. — *I. Intern. Symp. über rezente Krustenbewegungen*, Leipzig, 304—314, 1962.
- Michelson A. A., Gale H. G.: The rigidity of the Earth. — *Astrophys. Journal*, 50:330—345, 1919.
- Moulton R. F.: Theory of tides in pipes on a rigid Earth. — *Astrophys. Journal*, 50:346—355, 1919.
- Nörlund N. E.: Hydrostatisk Nivelement over Store Belt. — *Dan. Geod. Inst., Skrifter* 3, Raekke 6, 1945.
- Nörlund N. E.: Hydrostatisk Nivellement over Öresund. — *ditto* 1946.
- Ozawa Izuo: On the tidal observations by means of a recording water-tube tiltmeter. — *Journal Geod. Soc. Japan* 12:3—4:151—156, 1967.
- Quelennec R. E.: Etude générale sur le franchissement d'estuaries et application, a la liaison „Oléron-Continent“ lors de la construction du viaduc d'Oléron. — *Géomètre*, 111:3:14—29, 1967.
- Reinhardt E.: Zweites Symposium der Kommission für rezente Krustenbewegungen (CRCM). — *Allgemeine Vermessungsnachrichten*, 73:3:81—90, 1966.
- Richardson R. M.: Tidal fluctuations of water level in wells in East Tennessee. — *Trans. Amer. Geophys. Union*, 37:461—462, 1956.
- Richter V. G.: Sovremennye vertikal'nyje dviženija zemnoj kory po unasledovannyj razlomam. — *Sovrem. dviž. zem. kory*, 1, Moskva, 359—364, 1963.
- Robinson T. W.: Earth tides shown by fluctuations of water-levels in wells in New Mexico and Iowa. — *Trans. Amer. Geophys. Union*, 20:656—666, 1939.
- Sirén A.: Recent land uplift in Finland computed from lake water level records. — *Fennia*, 89: 11—13, 1963.
- Small J. B.: Progress on precise levellings and study of vertical crustal movement in the United States. — *Revista Cartográfica*, Año XV, Buenos Aires, 15:189—199, 1966.
- Theis C. V.: Earth tides as shown by fluctuations of water level in artesian wells in New Mexico. — *Intern. Union Geodesy and Geophysics (U. S. Geological Survey, open-file report)*, 10 p., 1939.

- Waa lewijn M.: Nivellement hydrostatique au Néerland. — *Géomètre*, 111:5:18—30, 1967.
- Whitten C. A.: Geodetic networks versus time. — *Bulletin Géodésique*. N. S., 84: 109—116, 1967.
- Young A.: Tidal phenomena at inland boreholes near Craddock. — *Trans. Roy. Soc. South Africa*, 31:61—106, 1913.
- Želnin G. A.: O kolebatel'nom charaktere sovremennykh dviženij zemnoj kory v Estonskoj SSR. — *Sovrem. dviž. zem. kory*, 2, Tartu, 241—247, 1965.

TIDAL UNDULATORY MOVEMENTS OF THE EARTH'S SURFACE

The development of science is always followed by a differentiation of problems and tasks as well as by the origin of specialized scientific branches which are becoming separated from one another by more and more distinct limits. Thus specification makes it difficult to study most general natural phenomena e. g. the character of tectonic movements and their causes, thus not permitting a study of this problem from a wide and general point of view. The relatively best conditions for study and assessment of these basic questions and problems which cannot be solved within the range of any of the specialized branches, have been retained by general geography only.

Isostasy, contraction, various subcrustal flows, and other hypotheses mainly of a speculative origin have been unable heretofore to explain the oscillatory movement of the earth's surface which was recently proved by geodetic measurements. Oscillatory movements of water level in wells and artesian boreholes demonstrated quite distinctly the existence of short — timed tidal waves, mostly of solar and lunar origin circulating periodically in the earth's crust.

The differences of the data obtained by repeated levellings were explained for a long time as caused in individual cases by inexact measurements or by local factors (subsidence of soil, water and oil pumping, etc.) but in larger areas only by those speculative conceptions mentioned above. The accuracy of geodetic measurements, however, was verified by means of limnological data obtained from exact measurements on many Finnish lakes (Fig. 1, 2).

The earth's crust does not bend elastically in the course of undulatory tidal movements but brakes up into blocks which move individually and often in different ways. The common conception of arching seems unsuitable (Fig. 4) because it does not take into account the tidal waves advancement accompanied by mutual blocks tilting and therefore even by the wedge-shaped opening and closing of the cracks or faults between them (Fig. 5).

The circulating movement of tidal waves can either be parallel (Fig. 6) or perpendicular (Fig. 7) to the direction of the fault zone. In both cases the upward and downward movement as well as continuous closing and opening of the cracks, without exceptions accompanying the blocks tilting and also vertical and horizontal shifting of geodetic points on the earth's surface, have to take place.

We must distinguish: in the case of Fig. 6 the neighbouring block fall and lift at the same time whereas in accordance with Fig. 7 they have to move successively. The resulting position of blocks may be the same as it was before the wave had passed.

The cracks closing, as well as the blocks tilting, resulting from tidal undulatory movements of the earth's crust have been confirmed by precise levelling and triangulation repeated in the oilbearing area of Buena Vista Hills, California (Fig. 8, 9). The closing of blocks on the San Andreas fault line had evidently caused pressure to rise and the migration of oil to the areas where during this undulatory movement of the earth's crust the strain was diminished.

List of figures

1. The uplift of Finland in mm/year based on limnological data (Sirén 1963). Lakes with limnographs are filled in black.
2. The uplift of Finland in mm/year according to the results of precise relevellings (Kääriäinen 1963).
3. Differentiated blocks movement on the territory of Estonian SSR established by relevellings (Želnin 1965). A — line Rakvere—Jychvi, B — Pyltsamaa—Lelle.
4. Scheme of the regular uplift and sink of blocks with no regards to tidal undulation of the earth's crust.

5. Schematic wedge-shaped opening and closing of cracks between individual blocks caused by undulatory crustal movement.
6. Scheme of blocks movement caused by the undulating of the earth's crust. Tidal wave follows the direction of the fault and the neighbouring blocks are lifted by its top part. The tilting of blocks depends on their position above the top, on the flanks, or on the trough of the wave. The process of tilting must result in both vertical and horizontal shift of geodetic points: the points A and B changed their position into A' and B' as a result of tilting of the blocks and into A'' and B'' on the ground of reverse movement.
7. Scheme of blocks movement caused by the undulating of the earth's crust. Tidal wave advances perpendicularly or aslant to the direction of the fault line and therefore the neighbouring blocks are not uplifted in the same time but successively. Since the wave has passed off, the resultant position gets balanced. Nevertheless a vertical and horizontal shifting of geodetic points similar to that of Fig. 6 must take place during the wave's advancement.
8. Repeated triangulation in the oil-field of Buena Vista Hills, California, set up on the San Andreas fault line and measured in 1932 and 1959 (Whitten 1967). The points of triangulation creep slowly to the course of the fault line.
9. Relevellings traced out on the oil-field of Buena Vista Hills, California (Whitten 1967). The subsidence of levelling-net points was established mostly close to the fault line during the period from March 1961 to July 1964 (in millimeters).