

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2008-689**
(22) Přihlášeno: **30.10.2008**
(40) Zveřejněno: **09.12.2009**
(Věstník č. 49/2009)
(47) Uděleno: **02.11.2009**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **09.12.2009**
(Věstník č. 49/2009)

(11) Číslo dokumentu:

301 218

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01V 1/147 (2006.01)

G01V 1/04 (2006.01)

G01V 1/047 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

US 7477573 B2; SU 556395; MX pa06010466 A.

(73) Majitel patentu:

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha
2, CZ

(72) Původce:

Brokešová Johana RNDr. CSc., Praha 8, CZ

Málek Jiří RNDr. Ph.D., Praha 8, CZ

Štrunc Jaroslav Ing., Praha 8, CZ

(74) Zástupce:

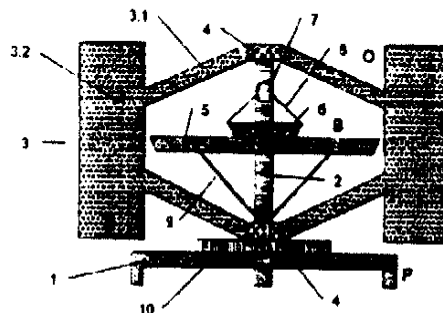
Hák Janeček & Švestka, RNDr. Roman Hák CSc., U
Průhonu 5, Praha 7, 17000

(54) Název vynálezu:

**Generátor rotačních seismických vln, seismická
měřicí souprava obsahující tento generátor a
způsob seismického průzkumu**

(57) Anotace:

Generátor (G) seismických rotačních vln obsahuje pevnou část (P) pro zakotvení do země, otáčivou část (O) a brzdící mechanismus (B) pro okamžité zastavení otáčivé části. Generátor případně dále obsahuje motor pro otáčení otáčivé části (O) a řídicí jednotku (U) pro realizaci měření a zpracování dat seismických pohybů. Seismická měřicí souprava obsahuje generátor (G) a alespoň jeden rotační seismický senzorový systém (S). Způsob seismického průzkumu využívá soupravu podle vynálezu, výhodně doplněnou počítačovým programem pro řízení činnosti soupravy, sběr dat a jejich vyhodnocení. Seismická měření pomocí generátoru (G) podle vynálezu, zejména ve spojení s rotačním seismickým senzorovým systémem (S), umožňují seismický průzkum s využitím rotačních pohybů půdy, což pomáhá upřesnit určení struktury hornin v hloubce.



CZ 301218 B6

Generátor rotačních seismických vln, seismická měřicí souprava obsahující tento generátor a způsob seismického průzkumu

5 Oblast techniky

Vynález se týká obecně oblasti seismických měření. Vynález se konkrétně týká generátoru seismických rotačních vln, měřicí soupravy obsahující generátor podle vynálezu a detekční zařízení na principu rotačního seismického sensorového systému a nakonec se týká i způsobu seismického měření využívajícího generátor podle vynálezu a rotační seismický sensorový systém. Seismická měření pomocí generátoru podle vynálezu a seismického rotačního sensorového systému umožňují seismickou prospekci s využitím rotačních pohybů půdy, což pomáhá upřesnit určení struktury hornin v hloubce.

15

Dosavadní stav techniky

Při seismických měřeních lze v principu měřit dva typy pohybů půdy: translační pohyb (posunutí a odvozené veličiny jako rychlost a zrychlení tohoto pohybu) a rotační pohyb (otáčení a odvozené veličiny jako rychlost a zrychlení tohoto otáčení). Při seismických měřeních se tradičně registrují translační pohyby, avšak v posledních letech se objevují publikace zdůrazňující význam rotačních pohybů (viz např. Takeo, M., Rotational Motions Excited by Earthquakes, In: Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects, Teisseyre, R., Takeo, M., Majewski E. (Eds.), Springer, 2006, a řada dalších příspěvků tamtéž).

25

Dosud byly rotační seismické pohyby generovány běžnými seismickými zdroji, přirozenými zemětřeseními nebo umělými zdroji, například odstřely trhavin, různými vibrátory nebo padostroji. Tyto zdroje však přeměňují pouze jistou (většinou velmi malou) část energie do rotačních složek seismických vln, zbytek seismické energie je vyzářen v běžných (translačních) složkách seismických vln. Popsaný generátor má podstatně vyšší účinnost při generování rotačních pohybů půdy. Žádný umělý dostatečně silný zdroj pro snadno opakovatelné generování převážně rotačních pohybů půdy není v rámci současného stavu techniky znám.

30

Jsou známy tři základní způsoby měření rotačních seismických pohybů:

35

1. Gyroskopy a náklonoměry používané například v letectví, případně komerčně dostupné trojosé rotační senzory pracující na elektrochemickém principu (Nigbor, RL. (1994). Six-degree-of-freedom ground motion measurement, Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 84, 1 665–1 669). Nevýhodou těchto přístrojů pro seismická měření je minimálně o řád menší citlivost než u předkládaného vynálezu a tudíž omezení na krátké vzdálenosti od zdroje (v řádu desítek metrů maximálně několika stovek metrů).

40

2. Seismické arraye (např. Huang, B.S. (2003), Ground rotational motions of the 1991 Chi-Chi, Taiwan earthquake as inferred from dense array observations, Geophys. Res. Lett., Vol. 30, 1307–1310), kdy rotační pohyb se zjišťuje pomocí aproximace prostorových derivací translačních seismických pohybů naměřených jednotlivými seismografy arraye.

45

3. Laserové gyroskopy založené na měření interference dvou protisměrných laserových paprsků (viz např. Schreiber, K.U. et al., Ring Laser Gyroscopes as Rotation Sensors for Seismic Wave Studies, In: Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects, Teisseyre, R., Takeo, M., Majewski E. (Eds.), Springer, 2006). Tyto gyroskopy poskytují velmi přesná měření. Nevýhodou je, že jsou velmi nákladné a vázané na jedno dané místo, neboť jsou velmi rozměrné a musejí být montovány ve speciálně uzpůsobených podmínkách (speciální stavby, podzemní prostory apod.). Tyto gyroskopy měří rotační pohyb vždy jen kolem jedné osy.

50

55

V oboru seismické prospekce existuje potřeba relativně malého, mobilního zařízení, které může generovat rotační seismické pohyby, a to snadno opakovatelným způsobem. Tuto potřebu řeší generátor podle vynálezu, který je dále popsán. Výhodně je generátor podle vynálezu v soupravě s rotačním seismickým senzorovým systémem, což umožňuje provádět terénní prospekci s využitím rotačních pohybů půdy s citlivostí až řádově přesahující citlivost měření známých ze stavu techniky.

Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu je generátor rotačních seismických pohybů obsahující pevnou část pro ukotvení v zemi, otáčivou část a brzdící mechanismus pro okamžité zabrzdění otáčivé části, kde dochází ke generování rotačních seismických pohybů okamžitým zastavením otáčivé části, při kterém dojde k přenosu energie do horninového masívu.

Termínem rotační seismické vlny se v tomto popisu označují rotační pohyby, které souvisejí se šířením seismických vln v půdě a nemusejí mít nutně vlnový charakter. Názvy rotační vlny a rotační pohyby se ve výše uvedeném smyslu mohou užívat zaměnitelně.

Generátor podle vynálezu obsahuje tyto základní části: pevnou část, otáčivou část a brzdící mechanismus.

Pevná část zakotvuje generátor do země a slouží jako osa pro otáčivou část.

Otáčivá část rotuje kolem svislé osy, která je tvořena alespoň otáčivými rameny. Na konci otáčivých ramen vzdáleném od osy otáčení jsou umístěna závaží, která představují většinu hmotnosti otáčivé části generátoru. Otáčivá část může být realizována i v jiné podobě, například jako rotující disk nebo prstenec. Odborník snadno nalezne obdobné řešení otáčivé části, které by mělo shodnou funkci. Brzdící mechanismus umožňuje okamžité zabrzdění otáčivé části. Ve výhodném provedení má výše popsaný generátor brzdící mechanismus, jehož základní součástí jsou brzdné tyče, kdy zabrzdění je realizováno nárazem otáčivých ramen do brzdných tyčí, nebo ozubené kolo upevněné na otáčivé části, kdy zabrzdění je realizováno zapadnutím zubů tohoto kola do mezer mezi zuby ozubeného segmentu pevné části. Odborník snadno nalezne analogický brzdící mechanismus, který umožní okamžité zabrzdění otáčivé části.

Generátor případně dále obsahuje motor, který roztáčí otáčivou část, a případně obsahuje také řídicí jednotku.

Dalším předmětem vynálezu je seismická měřicí souprava, obsahující výše popsaný generátor rotačních seismických vln a rotační seismický senzorový systém, který obsahuje alespoň jeden pár rovnoběžných shodných senzorů, pevně spojených s nedeformovatelnou kostrou, jak je podrobněji popsán dále, který měří generovaný rotační pohyb i rotační pohyby související s odraženými a/nebo refragovanými vlnami prošlými horninou. Řídicí jednotka pak může měřit otáčky generátoru, vydávat povely ke spuštění a vypnutí motoru a spuštění brzdícího mechanismu, případně k uvedení celého zařízení do výchozího stavu před opakováním měření, a zaznamenávat časový průběh signálu ze snímače rotačních pohybů. Řídicí jednotka může být využita tedy nejen k ovládání samotného generátoru, ale také k řízení celého postupu seismického měření. V řídicí jednotce může probíhat rovněž skládání signálů z opakovaných měření za účelem dosažení vysoké citlivosti, případně úplné matematické zpracování měření až do výsledného seismogramu, který je pak poskytnut v analogové nebo digitální podobě.

Výhodně souprava podle vynálezu obsahuje v řídicí jednotce implementovaný počítačový program realizující způsob měření a zpracování dat, což vede k významnému zvýšení citlivosti měření rotačních seismických pohybů.

Dalším předmětem vynálezu je způsob generování rotačních seismických pohybů půdy, který spočívá v tom, že se použije generátor podle vynálezu, který se pevnou částí ukotví v zemi, a

pohyblivá část generátoru se po uvedení do pohybu okamžitě zastaví pomocí brzdicího mechanismu, přičemž při tomto v podstatě okamžitém zastavení dojde k přenosu energie do horninového masívu.

- 5 Předmětem vynálezu je také způsob seismického průzkumu, který spočívá v tom, že se generátorem podle vynálezu generují rotační seismické pohyby a odezva se měří senzorovým systémem, který sestává z alespoň jedné dvojice rovnoběžných shodných senzorů, pevně spojených s tuhou nedeformovatelnou kostrou, a měření se zpracují a vyhodnotí řídicí jednotkou. Při způsobu podle
- 10 vynálezu se provádí měření časového průběhu budících seismických signálů generovaných generátorem podle vynálezu a měření časového průběhu odražených seismických signálů. Specifické provedení způsobu vyhodnocení měření zahrnuje kroky, kdy se v kroku 1) vypočítá korelační funkce podle vzorce V1 (podrobně uveden dále), v kroku 2) se sčítá podle vzorce V2 (podrobně uveden dále) přes jednotlivé pokusy (index i), a v kroku 3) se sčítá se podle vzorce V2 přes dvojice snímačů (index j), kdy sčítání je obvyklé sčítání nebo nelineární zobecněné sčítání,
- 15 přičemž v případě nelineárního zobecněného sčítání se kroky 2 a 3 provádějí v uvedeném pořadí.

- Výhodně je řízení celého měření a vyhodnocení dat prováděno pomocí počítačového programu, který je implementován v řídicí jednotce. Řídicí jednotkou může být např. komerčně dostupný přenosný počítač. Řídicí jednotka může také komunikovat bezdrátově či pomocí vodičů se vzdá-
- 20 leným počítačem, kde je zmíněný program nebo jeho část implementována. Řídicí jednotka může také obsahovat prostředek pro ukládání naměřených dat (např. RAM paměť, zařízení typu pevný disk, datové DVD a pod.), která jsou zpracována následně.

- Generátor rotačních seismických vln podle vynálezu pracuje následujícím způsobem: Roztočí se,
- 25 výhodně pomocí motoru, otáčivou část. Po dosažení požadovaných otáček se motor vypne, aby nerušil následné měření, a otáčivá část se pak dále pohybuje setrvačným pohybem. Poté řídicí jednotka aktivuje brzdicí mechanismus, který okamžitě zabrzdí otáčivou část. Tím se kinetická energie přenesa do pevné části zakotvené do země. Tato energie se transformuje do energie rotačních seismických vln, které jsou vyzařovány směrem dolů do horninového masívu. Zdrojový
- 30 impuls je registrován rotačním seismickým senzorovým systémem, který je umístěn pod generátorem. Rotační seismické vlny procházejí horninovou strukturou a odrážejí se od nehomogenit v horninách a/nebo dochází k jejich refrakci, takže část energie těchto vln opět dosáhne zemského povrchu, kde jsou zaznamenány jedním, popřípadě více rotačními seismickými senzorovými systémy, měřícími rotační složky seismických pohybů. Zpracování naměřených dat vede
- 35 k určení času šíření odražených a/nebo refragovaných vln a jejich amplitud. Tato data jsou spolu s dalšími údaji potřebná pro určování struktury hornin v hloubce.

- Pro účely seismické prospekce by mohl být generátor rotačních vln použit ve spojení s některým z rotačních seismických snímačů odborníky známých ze stavu techniky (ovšem tato měření
- 40 budou méně přesná), nebo výhodně v kombinaci s nově vyvinutým rotačním seismickým senzorovým systémem, který je dále také podrobněji popsán. V kombinaci s tímto systémem je pak výhodné použít speciální metodiku měření a zpracování výsledků, která značně zvyšuje citlivost měření, a která je dále popsána.

- Popsaný generátor má podstatně vyšší účinnost při generování rotačních pohybů půdy než
- 45 všechny dosud používané umělé zdroje známé ze stavu techniky. To umožňuje rozvoj nových metod seismické prospekce založených na zpracování rotačních složek seismického pohybu. Tyto složky by měly být zpracovávány spolu s tradičně měřenými translačními složkami. Bez rotačních složek nemůže být popis seismického pohybu úplný neboť, podle obecně přijímaných
- 50 fyzikálních představ, pohyb obecného hmotného bodu má 6 stupňů volnosti a může být jednoznačně popsán pouze s uvážením jak tří translačních, tak tří rotačních složek.

- Pro daný účel je podstatné, aby byl generován pulz rotačních seismických vln s relativně vysokou frekvencí (desítky Hz), který má vhodnou rozlišovací schopnost pro nehomogenity horninového
- 55 masívu. Toho je dosaženo okamžitým zastavením otáčivé části bez zpětného rázu. Řešení podle

vynálezu navíc umožňuje generátor používat pro mnoho pokusů po sobě s tím, že je stále generován v podstatě stejný pulz rotačních seismických vln.

5 Přehled obrázků na výkresech

Obr. 1: Schematické znázornění prospekčního měření s využitím vynálezu.

Obr. 2a: Bokorys generátoru s otáčivými rameny při pohybu.

Obr. 2b: Půdorys generátoru s otáčivými rameny při pohybu.

Obr. 3a: Bokorys generátoru s otáčivými rameny po zabrzdění.

10 Obr. 3b: Půdorys generátoru s otáčivými rameny po zabrzdění.

Obr. 4: Jedna z možných realizací rotačního seismického senzorového systému.

Obr. 5: Blokové schéma činnosti řídicí jednotky.

Obr. 6: Schéma zpracování měření procesorem.

Obr. 7: Fotografie jednoho provedení rotačního seismického senzorového systému.

15 Obr. 8a: Naměřené signály z geofonů a, b, c, d.

Obr. 8b: Rotační seismogramy.

Příklady provedení vynálezu

20 Příklad 1 Generátor rotačních seismických vln

Prospekční měření s využitím generátoru G podle vynálezu je schematicky znázorněno na obr. 1, kde generátorem G vyvolané rotační seismické vlny odražené od jednotlivých rozhraní v horninové struktuře jsou měřeny například souborem tří senzorových systémů S1, S2 a S3.

25 Pevná část P generátoru G (obr. 2a, 2b) je tvořena alespoň dvěma, výhodně třemi, pevnými rameny 1, která se zakopávají do země a jsou pevně spojena se středovým sloupem 2. Pro ukotvení jsou konce ramen 1 zapuštěny kolmo do země do děr, které jsou předvrtány půdním vrtákem. Středový sloup 2 je umístěn v ose otáčení otáčivých ramen 3 otáčivé části O generátoru G, která jsou ke sloupu 2 upevněna pomocí dvou ložisek 4 s malým třením při otáčení. Mezi ložisky 4 je ke středovému sloupu 2 upevněn brzdící mechanismus B.

35 Otáčivá část O má výhodně podobu dvou či více otáčivých ramen 3 rozmístěných v pravidelných úhlových intervalech kolem osy otáčení, tj. středového sloupu 2. Každé rameno 3 je tvořeno dvěma tyčemi 3.1, které jsou šikmo připevněny ke středovému sloupu 2 s použitím ložisek 4. Na konci tyčí je upevněno závaží 3.2, které může být realizováno různými způsoby. Výhodné řešení je použít jako závaží 3.2 dutou válcovou nádrž, do které se například napouští voda nebo nasype písek. To umožňuje snadnější přepravu a plnění závaží 3.2 až na místě měření. Válcový tvar závaží 3.2 je zvolen jako výhodný kvůli malému odporu vzduchu při rychlém otáčení.

40 Otáčivá část O generátoru G může být alternativně tvořena například prstencem nebo diskem rotujícím v rovině kolmé na středový sloup 2, který je zároveň osou rotace. Prstenec nebo disk nebo je ke středovému sloupu 2 připojen pomocí ložisek 4 umožňujících otáčivý pohyb s minimálním třením.

45 Brzdící mechanismus B generátoru G slouží k okamžitému zabrzdění otáčivé části O.

Výhodnou variantou brzdícího mechanismu B, vhodného zejména je-li otáčivá část tvořena rameny 3, jsou brzdící tyče 5. Na obr. 2a, 2b je znázorněn generátor G s otáčivými rameny 3 ve stavu před zabrzděním, na obr. 3a, 3b je stav po zabrzdění. Brzdící mechanismus B obsahuje dvě

nebo více brzdných tyčí 5. Ve výhodném řešení je zvolen stejný počet brzdných tyčí 5 jako je otáčivých ramen 3. Brzdné tyče 5 jsou umístěny tak, aby nebránily pohybu ramen 3 a jsou zajištěny pomocí západky 6, která je ovládána například elektromagneticky pomocí relé 7 a táhel 8. Na povel z řídicí jednotky U je západka uvolněna a brzdná tyč 5 pře kříží dráhu spodní tyče 3.1 otáčivého ramena 3. Brzdné tyče 5 padají po uvolnění směrem dolů jednak vlastní tíhou, jednak je pohyb urychlen pružinou 8. Spodní část brzdných tyčí 5 zapadne do žlábků v disku 10, který je pevně spojen se středovým sloupem 2. Po zabrzdění je třeba zabránit zpětnému rázu. To může být realizováno různými způsoby, např. gumovou přísavkou nebo elektromagnetem (další ekvivalentní možnosti odborník snadno nalezne). Výhodné řešení je použít mechanickou západku. V brzdné tyči 5 je otvor v místě nárazu do tyče 3.1, a do tohoto otvoru při nárazu vsune západka, spojená s tyčí 3.1 otáčivého ramena 2. Západkový mechanismus může být například realizován v podobě západky, která je z obou stran vybavena trojúhelníkovými segmenty, které jsou od sebe oddalovány pružinou. Při průchodu otvorem se tyto segmenty stlačí, po průchodu se roztáhnou a zabrání zpětnému rázu. Výhodné řešení je, aby tato západka byla ovládána též elektromagneticky. To umožní řídicí jednotce U po skončení pokusu uvést zařízení opět do počátečního stavu bez ručního zásahu obsluhy. Tato vlastnost je výhodná kvůli tomu, že vysoké citlivosti se dosahuje mnohonásobným opakováním měření.

Jinou výhodnou variantou zabrzdění otáčivé části Q, zejména je-li tvořena rotujícím diskem, jak bylo zmíněno výše, je zapadnutí zubů ozubeného kola pevně spojeného s otáčivou částí Q do mezer mezi zuby ozubeného segmentu pevně spojeného s pevnou částí P. Oba ozubené prvky leží v rovině kolmé na osu otáčení, tj. středový sloup 2. K aktivaci dojde například po uvolnění západky tak, že pohyblivá část se vlastní tíhou posune svisle dolů a přitlačí ozubené kolo otáčivé části k ozubenému segmentu pevné části.

Motor generátoru (na obr. 2a až 3b není znázorněn) roztáčí otáčivou část Q, na niž je točivý moment motoru přenášen například pomocí klínového řemenu. Výhodné řešení je použít motor, který může roztáčet generátor buď na jednu, nebo na druhou stranu. Součástí motoru je výhodně i elektrický akumulátor, který slouží ke startování motoru, k napájení řídicí jednotky a k napájení elektromagnetického ovládání brzdícího mechanismu.

Příklad 2 Seismická měřicí souprava

Výhodně generátor G podle vynálezu společně s novým typem senzorového systému s vytváří seismický měřicí systém, který umožňuje generování a mimořádně citlivé snímání rotačních seismických pohybů.

Rotační seismický senzorový systém s zcela nové konstrukce obsahuje jeden nebo více párů shodných (termín shodný je míněn ve smyslu charakteristik výstupního signálu) seismických senzorů 12 a/nebo 13 např. běžně dostupných geofonů (tj. seismických snímačů, které jsou založeny na elektromagnetickém snímání pohybu setrvačné hmoty, zavěšené na speciálně tvarované pružině). Pár senzorů 12, 13 je vždy spojen pevně s tuhou kostrou 14 senzorového systému S a je umístěn tak, že osy senzorů 12, 13 leží na dvou rovnoběžných přímkách (toto umístění je v popisu stručně označováno termínem rovnoběžné senzory), přičemž tyto přímky jsou od sebe ve vzdálenosti mnohem menší než je vlnová délka podélných seismických vln (P-vln) v okolní hornině. Obvykle se jedná o vzdálenost několika decimetrů. Přitom spojnice senzorů 12 nebo 13 v daném páru je kolmá na osu rotačního pohybu, který se měří, a zároveň nesmí být rovnoběžná s osou, podél které se měří translační pohyby. Počet párů senzorů 12, 13 závisí na počtu složek rotačního pohybu (počet os otáčení, kolem kterých probíhá měření současně) a dále na maximalizaci poměru citlivost/cena. Senzorový systém S s více páry senzorů 12, 13 je citlivější, avšak je dražší. Jednotlivé senzory 12 nebo 13 měří jednu translační složku seismických pohybů.

Princip měření rotačních složek pomocí páru rovnoběžných shodných senzorů 12 nebo 13 spočívá v tom, že se vypočte rozdíl mezi signálem z obou senzorů 12 nebo 13 (diferenciální pohyb).

Pokud by v signálech nebyla rotační složka, byly by signály z obou senzorů 12 nebo 13 zcela identické, protože jsou pevně spojeny s tuhou kostrou 14, která se nemůže nijak deformovat. Diferenciální pohyb z páru senzorů 12 nebo 13 s rovnoběžnými osami tedy odpovídá rotačnímu pohybu v rovině dané těmito osami. Citlivost měření daného páru je přitom přímo úměrná citli-

5 vosti jednotlivých senzorů 12 nebo 13 a vzdálenosti os senzorů 12 nebo 13. Vzdálenost senzorů 12 nebo 13 tvořících daný pár však nelze příliš zvětšovat, protože musí být zachována podmínka, že kostra 14 je nedeformovatelná a že její rozměry jsou v podstatě zanedbatelné vůči vlnové délce P -vln.

10 Výhodnou konkrétní realizací výše uvedeného senzorového systému S je rotační seismický senzorový systém S pro měření rotačního pohybu kolem vertikální nebo horizontální osy (os). Pojmy „vertikální“ a „horizontální“ se vztahují k poloze (orientaci) přístroje vzhledem ke gravi-

15 tačnímu poli v průběhu měření při upevnění senzorového systému S k zemi. Není-li systém S fixován k zemi, užívají se tyto pojmy pouze k rozlišení dvou navzájem kolmých směrů, podél nichž mohou být orientovány osy senzorů 12 nebo 13 tvořících senzorový systém S.

Mohou být tedy rozlišeny páry vertikálních senzorů 12 a horizontálních senzorů 13. Výhodné uspořádání senzorového systému S je takové, při kterém jak senzory 12 vertikálních párů tak i senzory 13 horizontálních párů leží v rovnoběžných rovinách. Jak vertikální senzory 12 tak

20 horizontální senzory 13 leží ve vrcholech pravidelných mnohoúhelníků 15 se sudým počtem vrcholů (ve speciálním případě dvou senzorů se takový mnohoúhelník 15 redukuje na úsečku). Vertikální senzory 12 i horizontální senzory 13 jsou pevně připojeny k pevné, např. kovové, kostře 14, jejíž podstatnou vlastností je to, že je nedeformovatelná.

25 Pro měření rotace kolem jedné osy je potřeba alespoň jeden pár senzorů 12 nebo 13 s osami v rovině kolmé na tuto osu. Pro současné měření kolem tří navzájem kolmých os rotace je tedy třeba alespoň tři páry senzorů 12, 13, kdy osy senzorů 12 nebo 13 v každém páru leží v jedné ze tří navzájem kolmých rovin. Pro dosažení větší citlivosti měření je na pevné kostře 14 namonto-

30 váno více párů senzorů 12, 13, než jsou výše uvedené minimální počty. Rotační seismický senzorový systém s obsahuje tedy alespoň jeden pár senzorů 12 nebo 13, výhodně alespoň tři páry senzorů 12 nebo 13, výhodněji více než tři páry senzorů 12 nebo 13, a to ve specifickém uspořádání výše popsaném.

Jedna z možných variant takového řešení je na obr. 4. V tomto provedení je použito pět párů

35 senzorů 12 a/nebo 13, které měří ve 3 navzájem kolmých směrech, 2 páry ve svislém a 3 ve vodorovném směru. Vertikální senzory 12 a horizontální senzory 13 jsou uchyceny na pevná kruhové kostře 14 ve vrcholech pomyslných mnohoúhelníků 15, přičemž všechny dvojice senzorů 12 a/nebo 13, pomyslné mnohoúhelníky 15 a pevná kostra 14 kruhového tvaru mají identický průmět 1 středů. Jiné výhodné provedení je ukázáno na obr. 7.

40 Výhodně je souprava obsahující generátor G podle vynálezu a rotační seismický senzorový systém S ovládána řídicí jednotkou U, která automaticky ovládá generátor i senzorový systém, a výhodněji ještě zpracovává a vyhodnocuje naměřená data.

45 Řídicí jednotka U je realizována v podstatě jako počítač, který ve výhodném provedení zaznamenává údaje ze senzorů 12 a/nebo 13, zapíná a vypíná motor, aktivuje brzdící mechanismus B a uvádí generátor G do původního stavu. K řídicí jednotce U je připojen motor, elektromagnetická relé, seismický rotační senzorový systém S a otáčkoměr, např. optický otáčkoměr. Princip optického otáčkoměru spočívá v tom, že optický paprsek je přerušován průchodem otáčejících se

50 ramen 3. K aktivaci brzdícího mechanismu B dochází například ve vhodné poloze otáčivých ramen 3 vůči brzdícím tyčím 5.

Ve výhodném řešení v řídicí jednotce U probíhá také zpracování naměřených dat způsobem, který je popsán dále. Řídicí jednotka U výhodně obsahuje implementovaný počítačový program,

55 který realizuje způsob vyhodnocení a zpracování dat, který je popsán vývojovým diagramem na

obr. 5 a v jednom konkrétním provedení je popsán v dalším příkladu. Uvedený počítačový program může být implementován i do vzdáleného jiného počítače, který je využit ke zpracování dat.

Příklad 3 Měření uměle generovaných rotačních pohybů užitím prototypu

Generátor a jeho funkce

Generátor G v tomto konkrétním provedení odpovídá v podstatě schématu na obr. 2a až 3b. Má dvě otáčivá ramena 3 umístěná protilehle vzhledem k ose otáčení. Na tyčích 3.1 ramen 3 jsou připevněny nádrže 3.2 válcového tvaru o obsahu 16 l. Před uvedením do činnosti se pomocí půdňho vrtáku připraví díry k ukotvení generátoru G a zakope se podzemní část pevné části P. Nádrže 3.2 se naplní vodou, každé ze závaží tak má hmotnost 21 kg. Přitom se kontroluje vodorovné uložení pomocí libely. Poté se spustí pomocí řídící U jednotky měření. Dále celý postup kontroluje řídící jednotka U. Nastartuje motor a tím se začnou roztáčet ramena 3. Při dosažení požadované hodnoty rychlosti otáčení vypne motor. Po několikasekundové pauze spustí brzdící mechanismus B. Přitom zajistí, aby brzdné tyče 5 byly spuštěny ve vhodný okamžik tak, aby zcela zapadly do žlábků dřívě, než do nich narazí tyče 3.1 otáčivých ramen 3. Při nárazu dojde mechanicky k přichycení tyčí 3.1 otáčivých ramen 3 k brzdným tyčím 5, k zastavení pohybu otáčivých ramen 3 a ke generování rotačních seismických vln. Od okamžiku nárazu se začne zaznamenávat výstup z rotačního seismického senzorového systému S. Nejprve je použito malého zesílení, aby byl věrně zaznamenán silný budicí impuls, poté dojde ke zvýšení citlivosti (například stokrát) pro záznam odražených vln. Po ukončení záznamu jsou vypnuty západky 6 a otáčivá ramena 3 jsou pootočena zpět o několik desítek stupňů. Brzdné tyče 5 jsou vytaženy vzhůru a zajištěny pomocí západek 6. Tím je generátor G připraven k dalšímu použití.

Pro rozpoznání velmi slabých odrazů se celý postup mnohokrát opakuje a výsledky se sčítají (viz další příklad). Přitom v polovině případů se roztáčí ramena 3 generátoru G ve směru hodinových ručiček, v polovině případů proti směru hodinových ručiček.

Pokus s prototypem generátoru

Byl proveden pokus s prototypem generátoru G, v podstatě odpovídajícím zařízení na obr. 2a až 3b, který potvrdil technickou proveditelnost zařízení a jeho správnou funkci. Pevná část P generátoru G byla zapuštěna do země. Otáčivá ramena 3 byla čtyři. Brzdící mechanismus B byl vytvořen železnými trubkami 5, které byly drženy původně ve vodorovné pozici a ve vhodný okamžik zablokovaly otáčení ramen 3 (zapadly do drážek vyhloubených do země). Tím došlo k nárazu tyčí 3.1 otáčivých ramen 3 na brzdných tyčí 5, a tedy prakticky k okamžitému zastavení otáčivých ramen 3 a tudíž ke generování rotačních seismických pohybů. Ty byly registrovány senzorovým systémem S, který sestával ze čtyř horizontálních senzorů 13, tj. geofonů typu LF-24 (Sensor Nederland b.v.) s plochou frekvenční charakteristikou pro frekvence větší než 1 Hz. Geofony 13 byly připevněny na tuhé kostře 14 ve tvaru válce (Obr. 7) o průměru 40 cm. Senzorový systém S byl umístěn na povrchu v blízkosti pevné části P generátoru G. Jako řídící jednotky U byl použit počítač typu laptop s převodníkovou kartou UDAQ 1408 (Tedia).

Bylo provedeno 5 pokusů, při kterých se otáčivá ramena 3 otáčela po směru hodinových ručiček a 5 pokusů, při kterých se ramena 3 otáčela proti směru hodinových ručiček.

Výsledky dvou z těchto pokusů jsou znázorněny na obr. 8a, 8b. Na obrázku 8a jsou časové průběhy výstupů ze 4 geofonů (a,b,c,d). Rozdíly mezi těmito záznamy jsou způsobeny právě rotačními složkami, které jsou znázorněny na obr. 8b pro 2 dvojice geofonů 13 (a,c) a (b,d).

Výpočet citlivosti senzorového systému

Výpočet je proveden pro konkrétní prototyp senzorového systému S, pomocí kterého se uskutečnilo výše popsané pokusné měření. Při použití kvalitnějších komponent je možno dosáhnout ještě řádově vyšší citlivosti.

Byly použity geofony 13 od firmy Sensor Nederland b.v. typu LF-24, které mají základní citlivost 15 V/(m/s) . Signál je dále zesílen 100 krát, takže celková citlivost je 1500 V/(m/s) . Tento analogový signál je digitalizován pomocí A/D převodníku (Tedia s.r.o.), s nastaveným rozsahem $\pm 5 \text{ V}$. Odtud plyne, že maximální rozsah zaznamenané rychlosti kmitání je přibližně $\pm 3,33 \text{ mm/s}$. Převodník má dynamiku 21 bitů, to znamená, že jeho celkový rozsah je rozdělen na přibližně $\pm 10^6$ úrovní. Nejmenší rychlost kmitání, kterou je možno rozpoznat (LSB) je proto $3,33 \text{ nm/s}$. Poloměr disku, na kterém jsou geofony 13 upevněny, je 20 cm. Z toho plyne, že LSB vyjádřená v radiánech činí $16,65 \text{ nrad/s}$. Toto lze považovat za základní citlivost tohoto konkrétního senzorového systému S. Tato citlivost je konstantní ve frekvenčním pásmu 1 až 200 Hz.

Metodika provádění měření a zpracování výsledků

Výhodně je měření a zpracování výsledků prováděno pomocí jedné, případně i více řídicích jednotek U, ovládajících generátor G podle vynálezu a senzorové systémy S a provádějící zpracování popsané dále. Obr. 5 ukazuje provedení, kdy všechny tyto činnosti vykonává jedna řídicí jednotka U, která ovládá generátor G (v tomto provedení obsahující otáčivá ramena 3 a brzdné tyče 5) a soubor SOS senzorových systémů S (resp. S1 až SN). Řídicí jednotka U sestávající z operační jednotky U1 a procesoru U2. Tato jednotka vyšle povel 101 generátoru G k uvedení do výchozího stavu (inicializace G1). Poté vyšle jednotka povel 112 ovladači G2 motoru ke spuštění motoru. Optická závora G3 vysílá signály 113 o rychlosti otáčení a momentální poloze ramen 3, tyto údaje jsou v řídicí jednotce U průběžně vyhodnocovány. Po dosažení dostatečné rychlosti ramen 3 vyšle jednotka povel 114 k vypnutí motoru. V optimální poloze ramen 3 pak vyšle jednotka U povel 115 ovladači G4 brzdného mechanismu B ke spuštění a zároveň povel 116 ke snížení citlivosti senzorového systému S1 umístěného těsně pod generátorem G. Tento senzorový systém S1 zaznamená budící rotační signál a vyšle o tom zprávu 117 řídicí jednotce U. Bezprostředně poté vyšle jednotka U povel 118 ke zvýšení citlivosti senzorového systému S1. Senzorový systém S1 a případně další systémy S2 až SN poté zaznamenají rotační signály 119, 110, které se vracejí zpět z horninového masivu (například odražené od nehomogenit). Poté se všechna nashromážděná data předají 111 procesoru U2, kde dochází k jejich průběžnému a/nebo pozdějšímu zpracování. Je výhodné celý proces inicializace, spuštění a zastavení generátoru G mnohokrát opakovat s cílem zvýšení citlivosti měření. Výsledkem měření a zpracování v procesoru U2 jsou výstupní rotační seismogramy 112), odpovídající jednotlivým senzorovým systémům S1 až SN.

Procesor provádí zpracování podle schématu na obr. 6, kde se k měření používá generátor G, rotační seismické senzorové systémy S1, S2 .. SN a měří se tři složky C1 až C3 rotačního pohybu. Obrázek odpovídá situaci, kdy se užívá více senzorových systémů S než jeden a každý z nich měří rotační pohyb kolem tří navzájem kolmých os (rovnoběžných pro všechny senzorové systémy S1 až SN). Modifikace ovládání generátoru G a senzorových systémů S1 až SN, např. v provedení, kdy je odlišný brzdící mechanismus B, je odborníkovi zřejmá.

Při zpracování seismického měření jsou k dispozici následující časové průběhy:

a) budící signály $b_{ik}(t)$ (prvních několik desetin sekundy záznamu),

b) odražené a/nebo refragované signály $x_{ik}(t)$ (zbytek záznamu),

kde i je číslo pokusu a k je číslo seismického snímače.

Zpracování se provádí v několika krocích:

I. V závislosti na orientaci snímačů 12 nebo 13 ve dvojici se odečtou nebo sečtou signály z protilehlých snímačů 12 nebo 13. Tím se dosáhne toho, že se odečtou translační složky a zbudou pouze rotační složky. Tak se dostane rotační budící signály $B_{ij}(t)$ a hledají se odražené a/nebo refragované rotační signály v časových průbězích $X_{ij}(t)$, kde i je číslo pokusu a j je číslo dvojice snímačů 12 nebo 13.

II. Využije se toho, že odražené a/nebo refragované vlny by měly mít stejný časový průběh jako budící signál. Vypočtou se proto korelační funkce podle vzorce V1:

$$K_{ij}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} B_{ij}(\tau) X_{ij}(\tau+t) d\tau \quad (V1)$$

5 V praxi je ovšem budící signál nenulový pouze v krátkém časovém intervalu, proto stačí integrovat pouze v těchto mezích. Pokud má odraz přicházející v čase t stejnou orientaci jako budící signál je funkce $K_{ij}(t)$ kladná, jinak je záporná. Pokud žádný odraz nepřichází, je $K_{ij}(t)$ nulová (pokud se předpokládá ideální případ bez šumu). Odrazy se tedy mohou identifikovat tak, že se

10 najdou lokální maxima funkce $|K_{ij}(t)|$.

III. Všechny funkce $K_{ij}(t)$ by měly být teoreticky totožné. V praxi však vždy existuje šum, který způsobí, že tyto funkce nejsou stejné a že některé slabé odrazy zanikají v šumu. Rozdíly mezi jednotlivými páry senzorů 12 nebo 13 jsou větší než rozdíly mezi jednotlivými pokusy, protože zde se přidává ještě chyba způsobená nestejnými charakteristikami jednotlivých senzorů 12 nebo

15 11, například geofonů, nedokonalou tuhostí kostry 14 senzorového systému S atd. Proto se provádí sčítání nejprve přes jednotlivé pokusy (index i). Tím se potlačí šum a dostane se součtová funkce $S(t)$.

$$S(t) = \sum_i \sum_j K_{ij}(t) \quad (V2)$$

20 V tomto vzorci se může použít nelineární skládání signálů například metodou GAS (Málek J., Kolínský P., Štrunc J., Valenta J. 2007: Generalized average of signals (GAS) – a new method for detection of very weak waves in seismograms. Acta Geodyn. et Geomat., 4, No.3., 5–10). Při použití této metody je nutno provést pouze menší počet pokusů, avšak na druhou stranu dochází k určitému zkreslení signálu. Výhodnost použití nelineárního skládání je proto různá pro různé

25 případy. Pořadí sčítání je podstatné právě v případě, že se používá zobecněné nelineární sčítání.

IV. Odečtou se časy a amplitudy odražených a/nebo refragovaných vln.

30 V. Odečtené amplitudy a časy šíření odražených a/nebo refragovaných vln vstupují do výpočtu struktury geologického prostředí. Tento výpočet není součástí předkládaného vynálezu.

Tento postup se liší oproti dosud používaným postupům, především v pořadí prováděných operací při použití nelineárního sčítání:

- 1) výpočet korelační funkce podle vzorce V1,
- 35 2) sčítání podle vzorce V2 přes jednotlivé pokusy (index i),
- 3) sčítání podle vzorce V2 přes dvojice snímačů (index j),

kdy sčítání je obvyklé sčítání nebo nelineární zobecněné sčítání, přičemž v případě nelineárního zobecněného sčítání se kroky 2 a 3 provádějí v uvedeném pořadí.

40 Výhodou výše popsaného postupu je to, že i když jednotlivé naměřené rotační seismogramy nejsou zcela totožné (vlivem šumu, ne zcela stejné charakteristiky použitých senzorů, např. geofonů, atd.), korelační funkce jsou si navzájem mnohem podobnější. Rovněž záznamy z různých pokusů jsou si podobnější než záznamy z různých párů senzorů 12 nebo 13. Při jejich skládání proto dojde k velkému zesílení signálu, zvláště pokud se použije nelineární metoda

45 GAS. Tím se značně zvyšuje citlivost celého zařízení.

Sčítání korelačních funkcí, jak je schematicky znázorněno na obr. 6, probíhá tedy nejprve pro všechna opakovaná spuštění a následného zastavení generátoru G a teprve poté se sčítají korelač-

ní funkce odpovídající dané složce rotačního pohybu pro všechny páry senzorů 12 a/nebo 13 daného senzorového systému S_m, $m=1..N$.

5

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Generátor (G) rotačních seismických vln, **vyznačující se tím**, že obsahuje
10 pevnou část (P) pro zakotvení do země, otáčivou část (O) a brzdící mechanismus (B) pro okamžité zastavení otáčivé části (O).
2. Generátor (G) rotačních seismických vln podle nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**,
15 že pevná část (P) je tvořena dvěma nebo více pevnými rameny (1) a středovým sloupem (2), otáčivá část (O) je tvořena dvěma nebo více otáčivými rameny (3) a brzdící mechanismus (B) obsahuje brzdné tyče (5), které při brzdění narazí do tyčí (3.1) otáčivých ramen (3), nebo obsahuje ozubené kolo upevněné na otáčivé části (O), jehož zuby při zabrzdění zapadnou do ozubeného segmentu pevné části (P).
- 20 3. Generátor (G) rotačních seismických vln podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje motor pro otáčení otáčivé části (O).
4. Generátor (G) rotačních seismických vln podle nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**,
25 že dále obsahuje řídicí jednotku (U) pro realizaci měření a zpracování dat seismických pohybů.
5. Seismická měřicí souprava, **vyznačující se tím**, že obsahuje generátor (G) podle
nároku 4 a rotační seismický senzorový systém (S), který obsahuje jeden nebo více párů
shodných seismických senzorů (12, 13), kde pár senzorů (12, 13) je vždy spojen pevně s nedefor-
movatelnou kostrou (14) systému (S) a senzory (12, 13) jsou umístěny tak, že jejich osy leží na
30 dvou rovnoběžných přímkách, přičemž tyto přímky jsou od sebe ve vzdálenosti mnohem menší než je vlnová délka P-vln v okolní hornině, a spojnice senzorů (12, 13) v daném páru je kolmá na osu rotačního pohybu, který se měří, a zároveň nesmí být rovnoběžná s osou, podél které se měří translační pohyby.
- 35 6. Způsob generování rotačních seismických pohybů půdy, **vyznačující se tím**, že se použije generátor (G) podle nároků 1 až 4, který se pevnou částí (P) upevní v zemi, a otáčivá část (O) generátoru (G) se po uvedení do pohybu naráz zastaví pomocí brzdícího mechanismu (B), přičemž při tomto v podstatě okamžitém zastavení dojde k přenosu energie do horninového masivu.
- 40 7. Způsob seismického průzkumu, **vyznačující se tím**, že užitím seismické měřicí soupravy podle nároku 5 se pomocí generátoru (G) seismických rotačních vln generují rotační seismické pohyby, rotačním senzorovým systémem (S) se měří odezva na rotační seismické pohyby generované generátorem (G) a pomocí řídicí jednotky (U) se měření zpracovávají a
45 vyhodnocují.
8. Způsob seismického průzkumu podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že se rotačním senzorovým systémem (S) měří časový průběh budících seismických signálů generovaných generátorem (G) a časový průběh odražených a/nebo refragovaných seismických signálů.
- 50 9. Způsob seismického průzkumu podle nároku 7 nebo 8, **vyznačující se tím**, že vyhodnocení seismického měření zahrnuje kroky, kdy se
1) vypočítají korelační funkce $K_y(t)$ podle vzorce V1:

$$K_{ij}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} B_{ij}(\tau) X_{ij}(\tau+t) d\tau,$$

kde B_{ij} je budicí signál v čase τ , X_{ij} je odražený nebo refragovaný signál v čase $\tau+t$, i je číslo pokusu a j je číslo dvojice snímačů,

2) pro výpočet součtové funkce $S(t)$ se sčítá podle vzorce V2:

$$S(t) = \sum_j \sum_i K_{ij}(t)$$

přes index i , přičemž i a j mají shodný význam jako ve vzorci V1, a

3) sčítá se podle vzorce V2:

$$S(t) = \sum_j \sum_i K_{ij}(t)$$

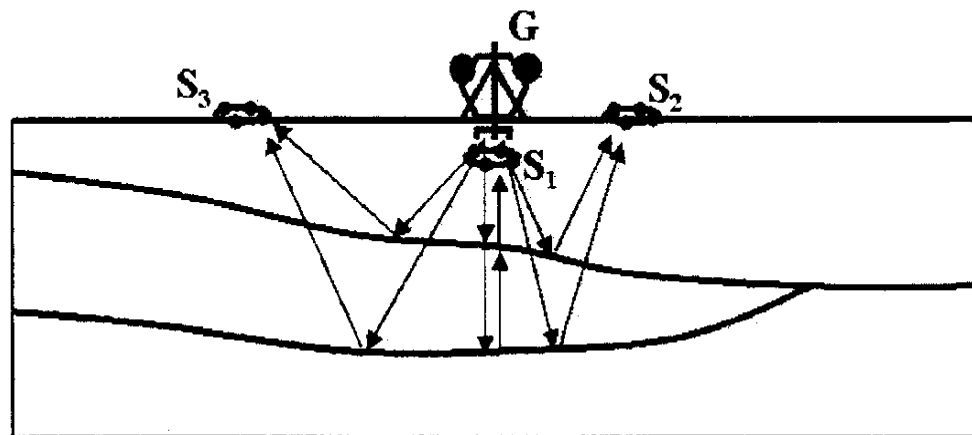
přes index j , přičemž i a j mají shodný význam jako ve vzorci V1,

přičemž sčítání je obvyklé sčítání nebo nelineární zobecněné sčítání, a v případě nelineárního zobecněného sčítání se kroky 2 a 3 provádějí v uvedeném pořadí.

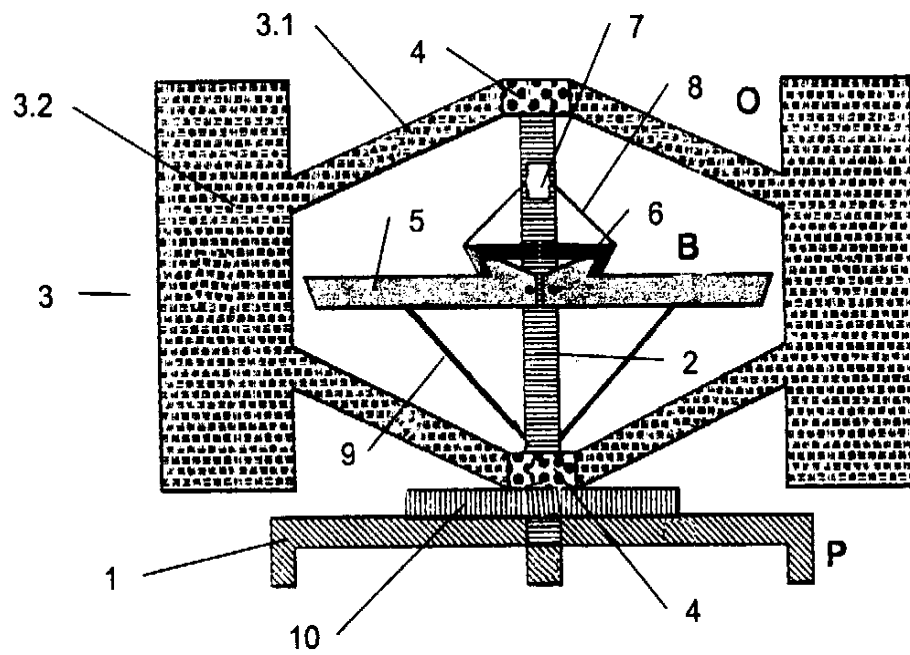
10. Seismická měřicí souprava podle nároku 5, vyznačující se tím, že v řídicí jednotce (U) je implementovaný počítačový program pro realizaci způsobu podle nároků 7 až 9.

8 výkresů

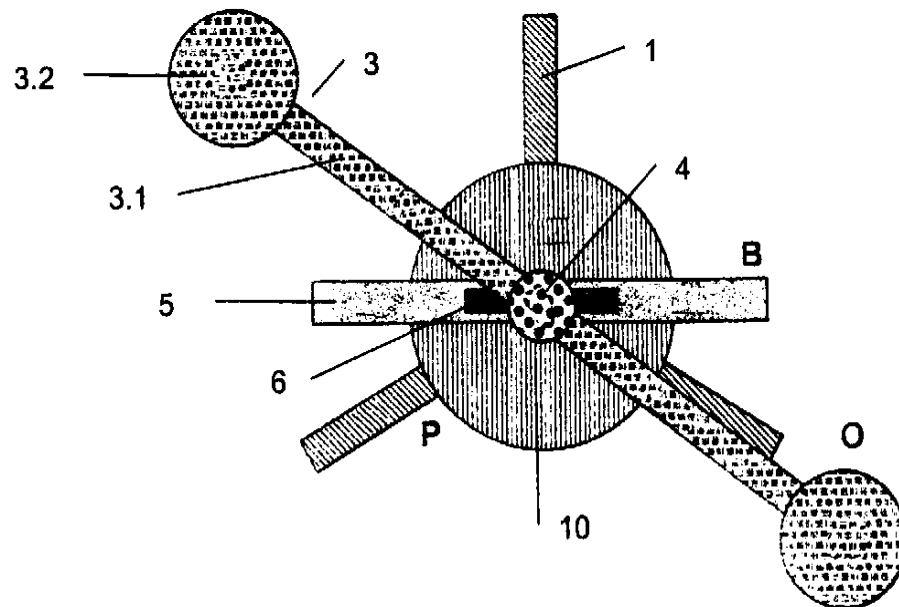
Obr. 1



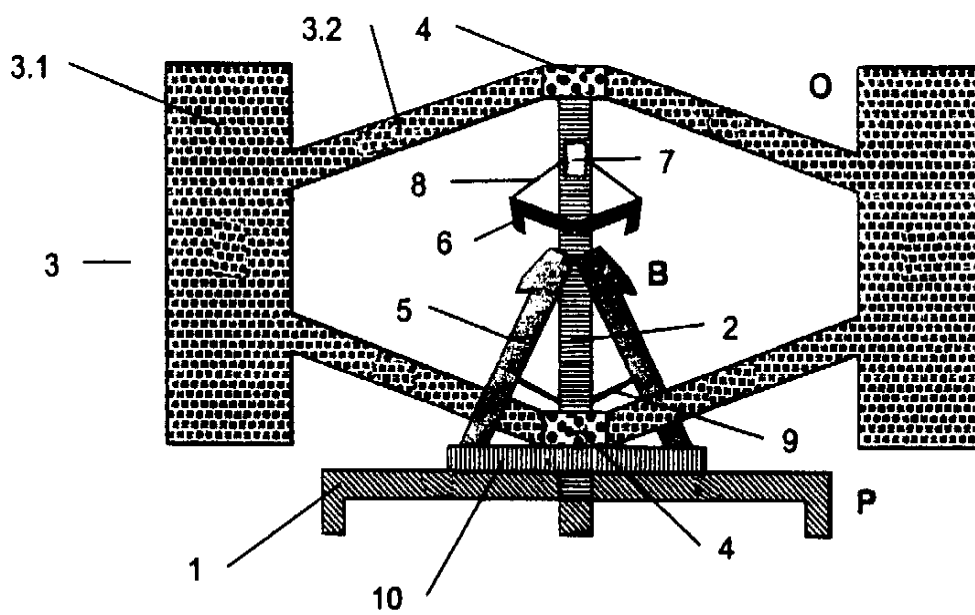
Obr. 2a



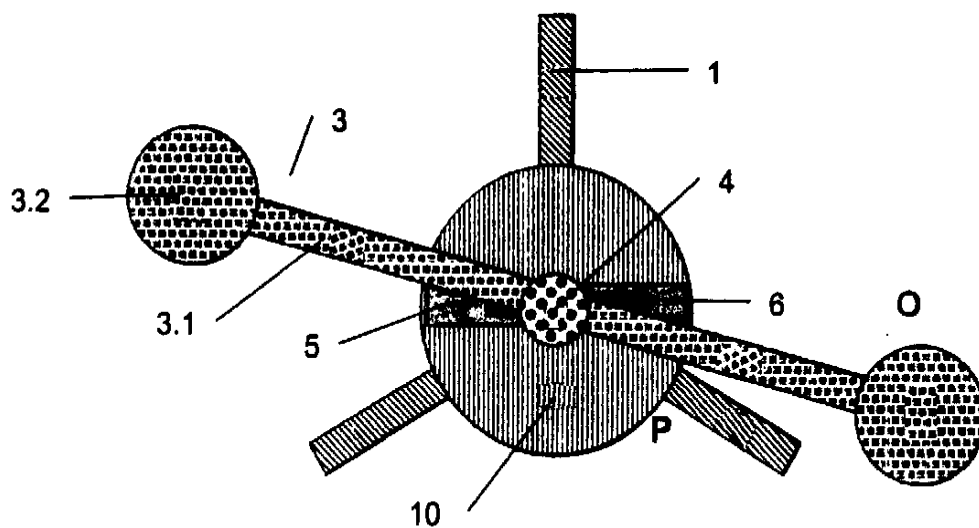
Obr. 2b



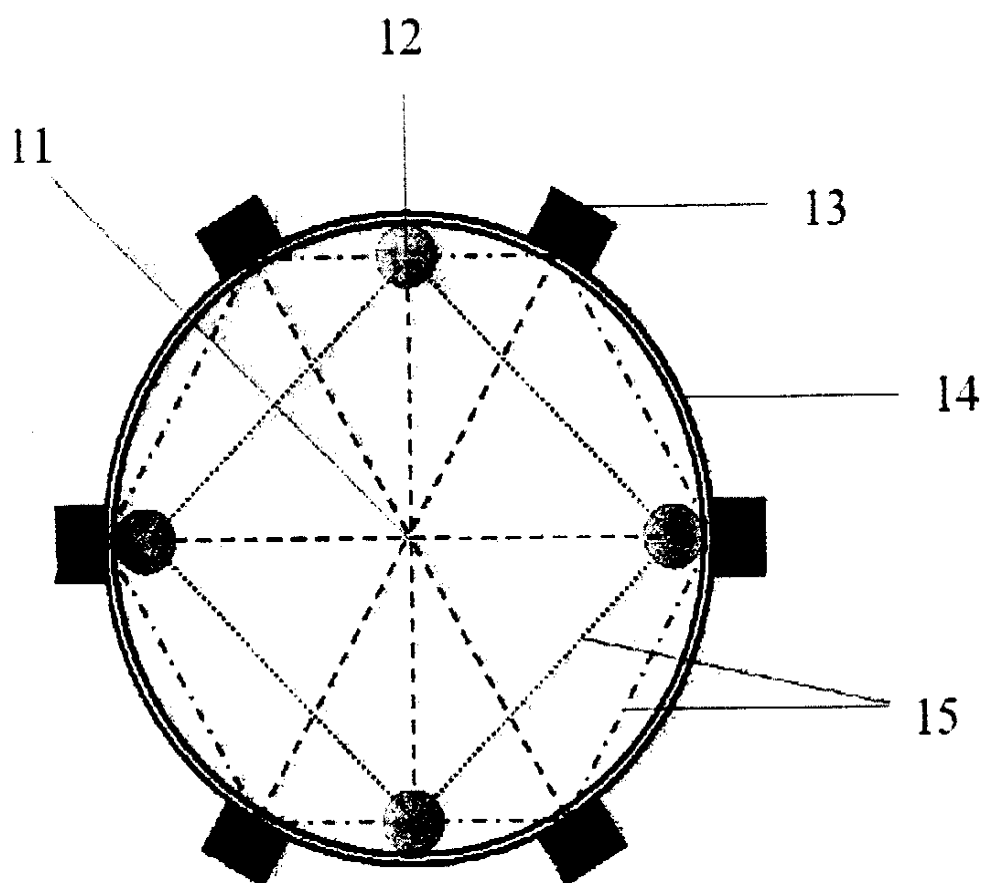
Obr. 3a



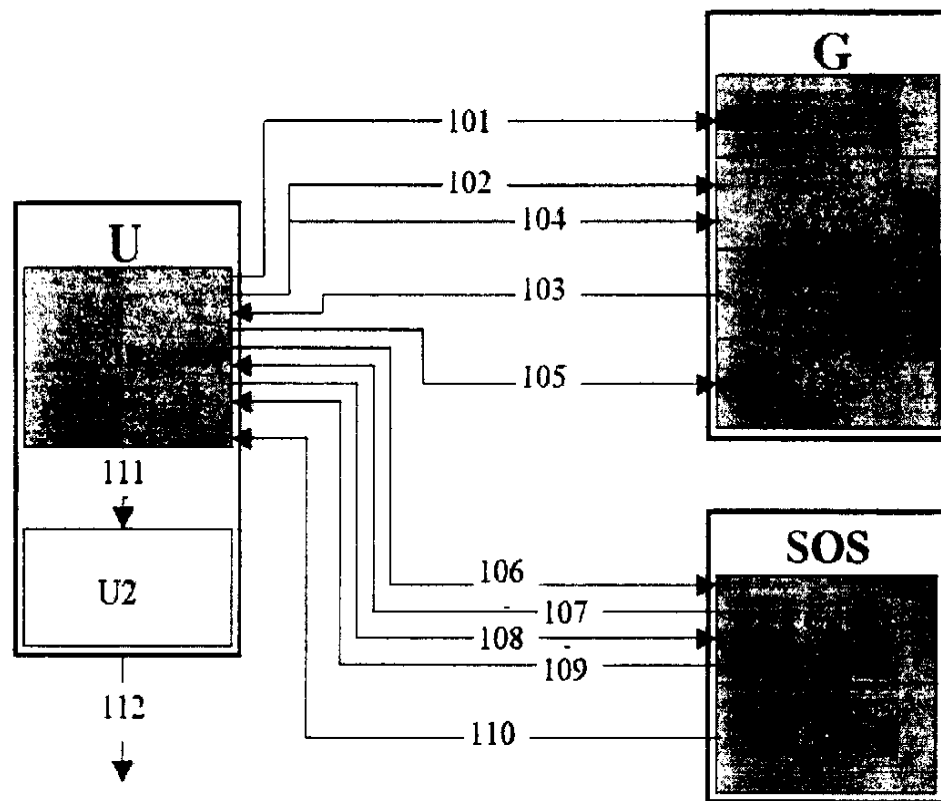
Obr. 3b



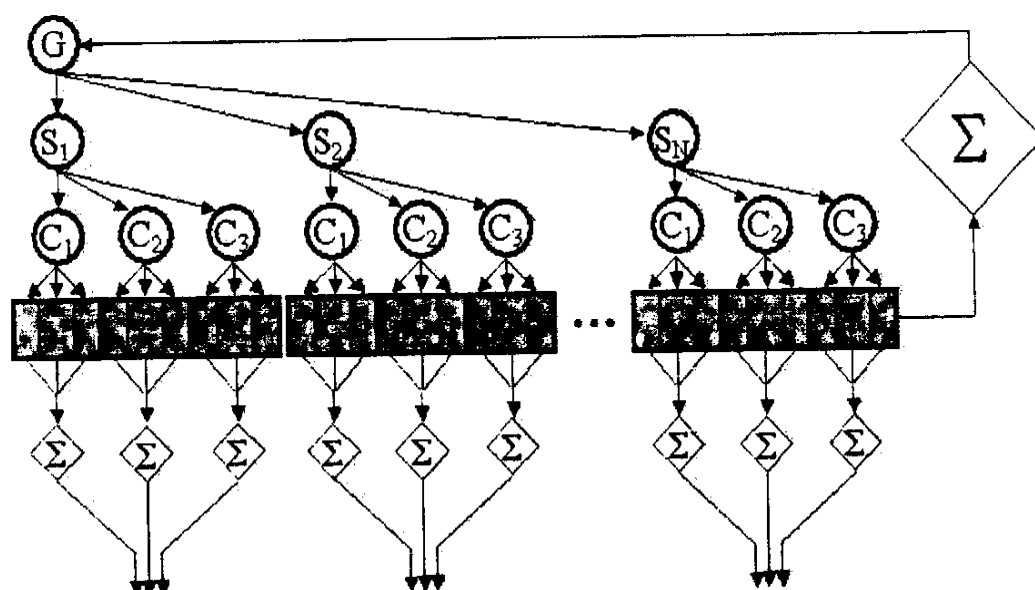
Obr. 4



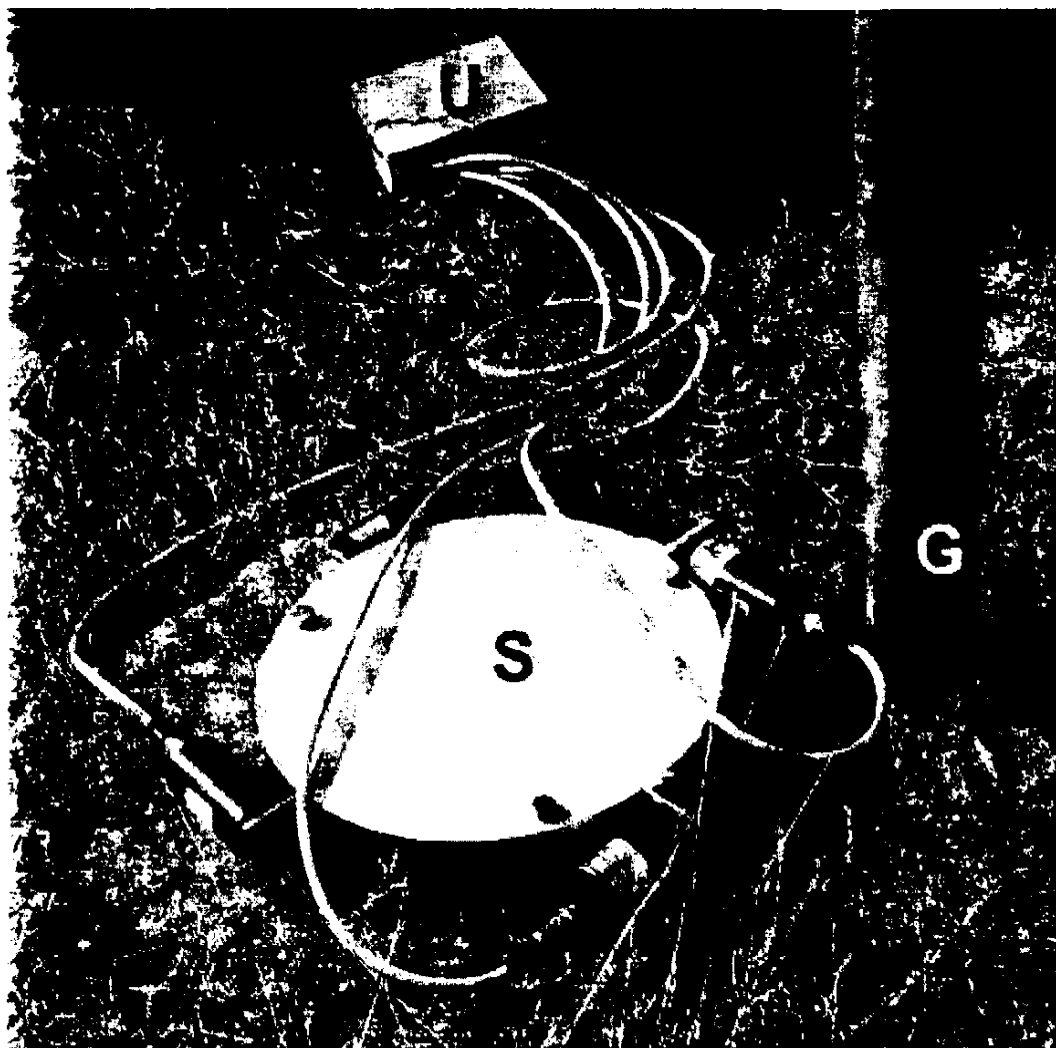
Obr. 5

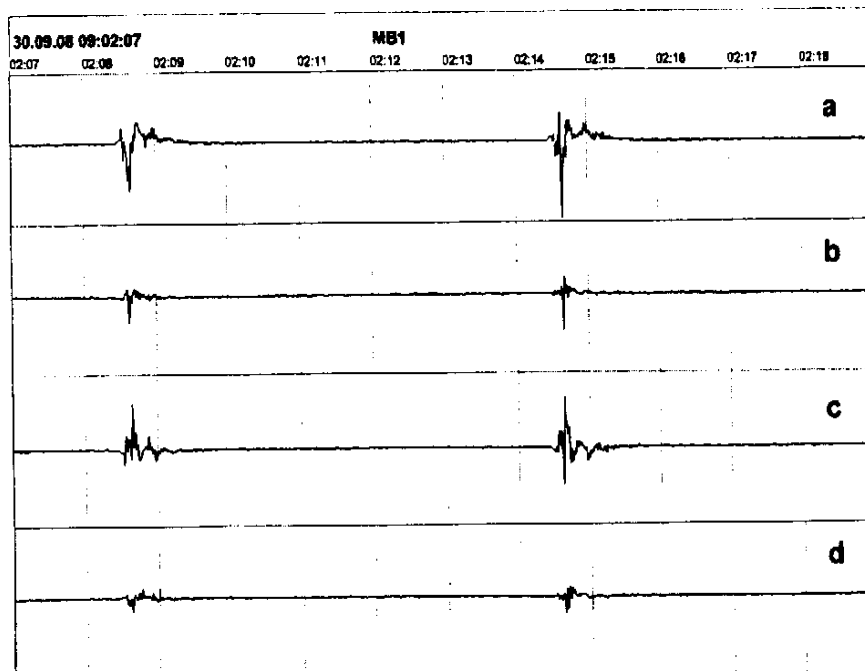
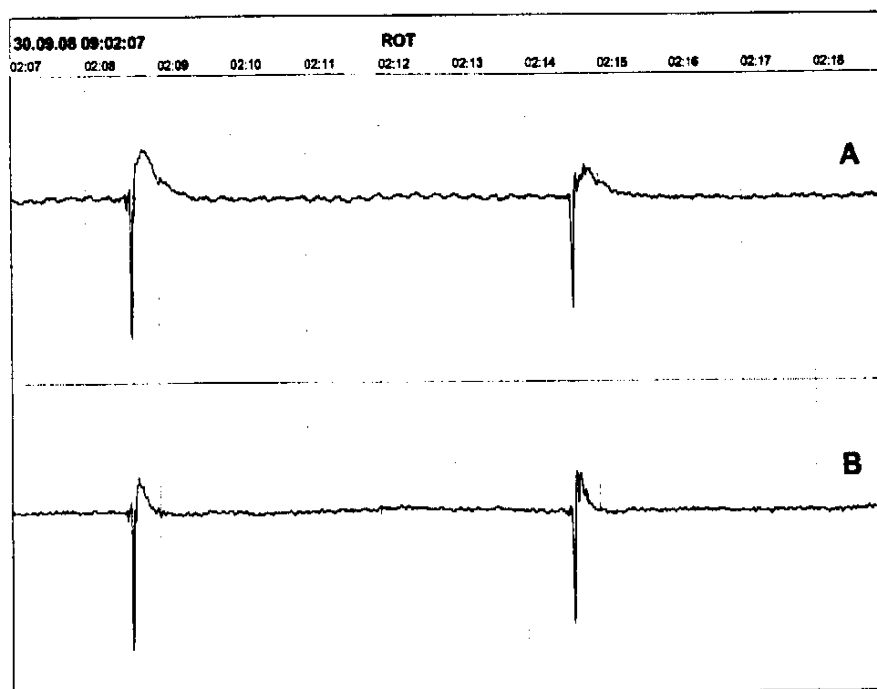


Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8a**Obr. 8b**

Konec dokumentu