

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2008-688

(13) Druh dokumentu: **A3**

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **30.10.2008**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **09.12.2009**
(Věstník č. 49/2009)

(51) Int. Cl.:

G01V 1/143 (2006.01)

G01V 1/04 (2006.01)

G01V 1/047 (2006.01)

(71) Přihlašovatel:

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:

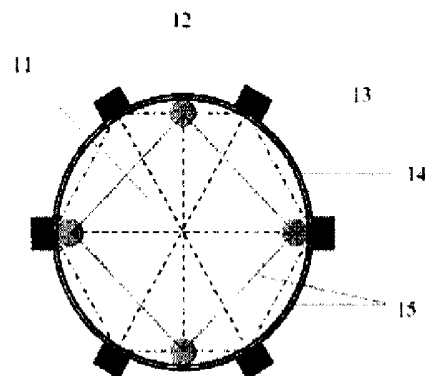
Hák Janeček & Švestka, RNDr. Roman Hák CSc., U
Průhonu 5, Praha 7, 17000

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Rotační seismický senzorový systém,
seismická měřicí souprava obsahující tento
systém a způsob seismického průzkumu**

(57) Anotace:

Vynález se týká obecně oblasti seismických měření. Vynález se konkrétně týká rotačního seismického senzorového systému (S), který obsahuje jeden nebo více párů rovnoběžných shodných seismických senzorů (12, 13), kde pár senzorů (12, 13) je vždy pevně spojen s nedeformovatelnou kostrou (14). Dále se vynález týká seismické měřicí soupravy, která kromě rotačního seismického senzorového systému (S) obsahuje generátor (G) rotačních seismických vln. A dále se vynález týká způsobu seismického průzkumu, kdy se užije souprava podle vynálezu, výhodně doplněná počítačovým programem pro řízení měření, sběr dat a jejich vyhodnocení. Seismická měření pomocí rotačního senzorového systému a generátoru umožňují vysoce citlivou seismickou prospekci s využitím rotačních pohybů půdy, což pomáhá upřesnit určení struktury hornin v hloubce.



Rotační seismický senzorový systém, seismická měřicí souprava obsahující tento systém a způsob seismického průzkumu

Oblast techniky

Vynález se týká obecně oblasti seismických měření. Vynález se týká měřicího zařízení, konkrétně rotačního seismického senzorového systému. Dále se týká seismické měřicí soupravy, která kromě senzorového systému podle vynálezu obsahuje umělý zdroj rotačních seismických pohybů půdy, a sice generátor rotačních seismických vln. Vynález se týká i způsobu seismického měření využívajícího generátor rotačních seismických vln a rotační seismický senzorový systém podle vynálezu. Seismická měření pomocí rotačního seismického senzorového systému a generátoru rotačních seismických vln umožňují seismickou prospekci s využitím rotačních pohybů půdy, což pomáhá upřesnit určení struktury hornin v hloubce.

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).

Jsou známy tři základní způsoby měření rotačních seismických pohybů:

1. Gyroskopy a náklonoměry používané například v letectví, případně komerčně dostupné trojosé rotační senzory pracující na elektrochemickém principu (Nigbor, R.L. (1994). Six-degree-of-freedom ground motion measurement, Bull. Seis. Soc. Am., Vol. 84, 1665-1669). 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)
 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.
 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.
- Pro použití při seismické prospekci existuje potřeba relativně malého, mobilního zařízení, které může měřit rotační seismické pohyby, a to s dostatečnou citlivostí. Tuto potřebu řeší rotační seismický senzorový systém podle vynálezu. Výhodně je rotační seismický senzorový systém podle vynálezu v soupravě s generátorem rotačních seismických vln. Rotační seismický senzorový systém v soupravě s popsaným generátorem jsou díky svým rozměrům a malé hmotnosti snadno přenositelné a instalovatelné v kterékoliv zájmové oblasti. Použitá nová metodika zpracování umožňuje identifikovat slabší odražené rotační seismické vlny než jiné používané postupy, které jsou odborníkům známy. Tím se snižuje potřebná energie, kterou musí generátor v jednom pulsu vybudit. Postačuje proto menší hmotnost i

velikost generátoru. To také přispívá ke snadné mobilitě celé měřicí soupravy. Při použití zde popsaného postupu a vyhodnocení měření je možné provádět terénní prospekci s využitím rotačních pohybů půdy s citlivostí až řádově přesahující citlivost měření známých ze stavu techniky.

Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu je rotační seismický senzorový systém, který obsahuje alespoň jeden pár rovnoběžných shodných senzorů, pevně spojených s nedeformovatelnou kostrou, který měří přirozeně či uměle generovaný rotační pohyb i rotační pohyby související s odraženými a/nebo refragovanými vlnami prošlými horninou. Součástí senzorového systému může být i řídicí jednotka.

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.

Konkrétně je předmětem vynálezu rotační seismický senzorový systém, který obsahuje jeden nebo více párů shodných seismických senzorů, kde pár senzorů je vždy spojen pevně s nedeformovatelnou kostrou systému a senzory jsou umístěny tak, že jejich osy leží na 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 v daném páru je kolmá na osu té složky rotačního pohybu, která se měří, a zároveň nesmí být rovnoběžná s osou, podél které se měří translační pohyby. Z důvodu výše uvedeného uspořádání podélných os senzorů se senzory v páru označují jako rovnoběžné senzory.

Výhodným předmětem vynálezu je rotační seismický senzorový systém, který obsahuje jeden nebo více párů vertikálních a/nebo horizontálních senzorů, které leží v rovnoběžných rovinách, kde jak horizontální, tak vertikální senzory leží ve vrcholech pravidelných mnohoúhelníků se sudým počtem vrcholů.

Rotační seismický senzorový systém podle vynálezu může být použit pro měření seismických rotačních pohybů, které jsou vyvolány přirozeným zdrojem, např.

zemětřesením. Může být použit také pro měření seismických rotačních pohybů vyvolaných umělým zdrojem, například výbuchem, výhodně např. generátorem rotačních seismických vln, jaký je popsán dále v této přihlášce.

Rotačního seismický sensorový systém může výhodně obsahovat řídicí jednotku pro řízení a zejména vyhodnocování měření pomocí rotačního seismického sensorového systému.

Dalším předmětem vynálezu je seismická měřicí souprava, obsahující výše popsany rotační seismický sensorový systém a generátor rotačních seismických pohybů. Generátor rotačních seismických pohybů vhodný pro společné použití s rotačním seismickým sensorovým systémem podle vynálezu obsahuje pevnou část, otáčivou část a brzdící mechanismus, kde dochází ke generování rotačních seismických pohybů okamžitým zastavením otáčivé části, při kterém dojde k přenosu energie do horninového masivu. Generátor má tyto základní části: pevnou část, která zakotvuje generátor do země a slouží jako osa pro otáčivou část, otáčivou část, která rotuje kolem svislé osy, kde na konci vzdáleném od osy otáčení mohou být umístěna závaží, která představují většinu hmotnosti generátoru, a případně motor, který roztáčí otáčivou část, a dále brzdící mechanismus, který umožňuje okamžité zabrzdění otáčivé části. Ve výhodném provedení má výše popsany generátor brzdící mechanismus sestávající z brzdnych tyčí, přičemž zabrzdění je realizováno nárazem otáčivých ramen do těchto brzdnych tyčí. Alternativně může být brzdící mechanismus tvořen například ozubeným kolem otáčivé části, kdy k zabrzdění dojde, když zuby tohoto kola zapadnou do mezer mezi zuby ozubeného segmentu pevné části. Odborník snadno nalezne jiný analogický brzdící mechanismus, který umožní okamžité zabrzdění otáčivé části.

Řídicí jednotka může dále také měřit otáčky generátoru, vydávat povel ke spuštění a vypnutí motoru a spuštění brzdícího mechanismu, případně kuvedení celého zařízení do výchozího stavu před opakováním měření, a zaznamenávat časový průběh signálu z jednoho nebo více rotačních seismických sensorových systémů. Řídicí jednotka může být využita k ovládání generátoru a 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 senzorový systém nebo 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.

Předmětem vynálezu je také způsob seismického průzkumu, jehož podstatou je to, že se pomocí generátoru rotačních seismických pohybů generují rotační seismické pohyby, rotačním seismickým senzorovým systémem se měří odezva na generované rotační seismické pohyby, a pomocí řídicí jednotky se měření zpracují a vyhodnotí. Způsob podle vynálezu se konkrétně provádí tak, že se provádí měření a) časového průběhu budících seismických signálů a b) časového průběhu odražených a/nebo refragovaných seismických signálů. Vyhodnocení měření zahrnuje kroky, kdy se v kroku 1) vypočítá korelační funkce podle vzorce V1 (celý postup podrobněji uveden v příkladu 3), a pak se v kroku 2) podle vzorce V2 sčítá přes jednotlivé pokusy (index i ve vzorci V2), a v kroku 3) sčítá přes páry senzorů (index j ve vzorci V2), kdy sčítání je obvyklé sčítání nebo nelineární zobecněné sčítání, přičemž v případě nelineárního zobecněného sčítání se kroky 2) a 3) nutně provádějí v uvedeném pořadí.

Výhodně je provedení celého měření a vyhodnocení dat realizováno 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 vzdáleným 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.

Rotační seismický senzorový systém je díky svým malým rozměrům a malé hmotnosti snadno přenositelný a může být tedy instalován v kterékoliv zájmové oblasti. Významnou výhodou rotačního seismického senzorového systému podle vynálezu je to, že umožňuje současné měření jak rotačních, tak translačních složek seismického pohybu, což je nutné pro kompletní popis pohybu půdy v daném bodě.

Rotační seismický senzorový systém podle vynálezu může být použit pro měření seismických rotačních pohybů, které jsou vyvolány přirozeným zdrojem, např. zemětřesením, nebo jsou vyvolány umělým zdrojem, například výbuchem.

Při seismickém průzkumu se pro generování rotačních seismických vln výhodně užije zde popsaný generátor. Kinetická energie otáčivé části generátoru se po okamžitém zastavení přenesse do pevné části zakotvené do země a transformuje do energie rotačních seismických vln, které jsou vyzařovány směrem dolů do horninového masivu. Zdrojový 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 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. V kombinaci s uvedeným senzorovým systémem, výhodně s měřicí soupravou je pak použita speciální metodika měření a zpracování výsledků, která značně zvyšuje citlivost měření. Generátor zde popsaný má podstatně vyšší účinnost při generování rotačních pohybů půdy než 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 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 puls rotačních seismických vln s relativně vysokou frekvencí (desítky Hz), který má vhodnou rozlišovací schopnost pro nehomogenity horninového masivu. Toho je dosaženo okamžitým zastavením otáčivé části bez zpětného rázu. Takovýto generátor je navíc možné používat pro mnoho pokusů po sobě s tím, že je stále generován v podstatě stejný puls rotačních seismických vln.

Přehled obrázků na výkresech

- Obr. 1: Schematické znázornění prospekčního měření s využitím vynálezu.
- Obr. 2: Jedna z možných realizací rotačního seismického senzorového systému.
- Obr. 3a: Bokorys generátoru s otáčivými rameny při pohybu.
- Obr. 3b: Půdorys generátoru s otáčivými rameny při pohybu.
- Obr. 4a: Bokorys generátoru s otáčivými rameny po zabrzdění.
- Obr. 4b: Půdorys generátoru s otáčivými rameny po zabrzdění.
- Obr. 5: Blokové schéma činnosti řídicí jednotky.
- Obr. 6: Schéma zpracování měření procesorem řídicí jednotky.
- Obr. 7: Fotografie jednoho provedení senzorového systému.
- Obr. 8a: Naměřené signály z geofonů.
- Obr. 8b: Rotační seismogramy.

Příklady provedení vynálezu

Příklad 1: Rotační seismický senzorový systém

Prospekční měření s využitím rotačního seismického senzorového systému 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 rotačních seismických senzorových systémů S1, S2 a S3.

Pro názornost je jedno provedení rotačního seismického systému S podle vynálezu schematicky znázorněno na obr. 2. V tomto provedení rotační seismický systém S obsahuje pět dvojic senzorů 12 a 13, které měří ve 3 navzájem kolmých směrech, 2 dvojice senzorů 12 ve svislém směru a 3 dvojice senzorů 13 ve vodorovném směru. V tomto provedení jsou vertikální senzory 12 i horizontální senzory 13 uchyceny na pevné kovové kostře 14 ve vrcholech pomyslných mnohoúhelníků 15 se sudým

počtem vrcholů, kde středy všech párů senzorů 12 a 13, pomyslných mnohoúhelníků 15 a pevné kostry 14 mají shodný průmět 11.

Rotační seismický senzorový systém S podle vynálezu obsahuje jeden nebo více párů shodných seismických senzorů 12 a 13 (termín shodný je míněn ve smyslu charakteristik výstupního signálu), např. běžně dostupných geofonů (tj. seismických senzorů, které jsou založeny na elektromagnetickém snímání pohybu setrvačné hmoty, zavěšené na speciálně tvarované pružině). Páry senzorů 12, 13 jsou vždy spojeny pevně s tuhou kostrou 14 systému S a jsou umístěny tak, že jejich osy leží na dvou rovnoběžných přímkách, a spojnice senzorů 12 nebo 13 v daném páru je kolmá na osu té složky rotačního pohybu, která se měří, a zároveň nesmí být rovnoběžná s osou, podél které se měří translační pohyby (toto umístění je v popisu dále stručně označováno termínem rovnoběžné senzory). Zmíněné rovnoběžné 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.

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 kmitů.

Princip měření rotačních složek pomocí páru shodných rovnoběžných senzorů 12, 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 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 senzorů 12 nebo 13 je přitom přímo úměrná citlivosti jednotlivých senzorů 12, 13 a vzdálenosti os senzorů. 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.

Výhodným konkrétním provedením 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 gravitačnímu poli v průběhu měření při upevnění přístroje 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, 13 tvořících senzorový systém.

Mohou být tedy rozlišeny páry vertikálních senzorů 12 a páry horizontálních senzorů 13. Výhodné uspořádání senzorového systému S je takové, při kterém senzory 12, 13 jak vertikálních párů senzorů 12 tak i horizontálních párů senzorů 13 leží v rovnoběžných rovinách, a vertikální senzory 12 i horizontální senzory 13 leží ve vrcholech pravidelných mnohoúhelníků 15 (ve speciálním případě dvou senzorů 12 nebo 13 se takový mnohoúhelník 15 redukuje na úsečku). Jak vertikální senzory 12 tak horizontální senzory 13 jsou pevně připojeny k pevné, např. kovové, kostře 14, jejíž podstatnou vlastností je to, že je nedeformovatelná.

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

Příklad 2: Seismická měřicí souprava obsahující rotační seismický senzorový systém a generátor rotačních seismických vln

Dalším předmětem vynálezu je seismická měřicí souprava obsahující rotační seismický senzorový systém S a generátor G rotačních seismických vln.

Výhodný je generátor G, který má tyto základní části (obr. 3a, 3b): pevnou část P, otáčivou část Q a brzdící mechanismus B.

Pevná část P generátoru G 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 otáčivé části Q generátoru G, která je ke sloupu 2 upevněna pomocí ložisek 4 s malým třením při otáčení.

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

Otáčivá část Q může být také tvořena například prstencem nebo diskem rotujícím v rovině kolmé na středový sloup 2 pevné části P, který je zároveň osou rotace. Prstenec je ke středovému sloupu 2 připojen pomocí ramen 3.1 a ložisek 4 umožňujících otáčivý pohyb s minimálním třením.

Brzdící mechanismus B generátoru slouží k prudkému zabrzdění otáčivé části. Zabrzdění otáčivé části Q je výhodně realizováno náraze otáčivých ramen 3, resp. jejich tyčí 3.1, do brzdných tyčí 5. Na obr. 3a, 3b je generátor G s otáčivými rameny 3 ve stavu před zabrzděním, na obr. 4a, 4b je stav po zabrzdění. Brzdící mechanismus B je zde tvořen dvěma nebo více brzdnými tyčemi 5. Ve výhodném řešení je zvolen stejný počet brzdných tyčí 5 jako je počet 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 6 uvolněna a brzdná tyč 5 překříží dráhu spodní tyče 3.1 ramene 3. Brzdné tyče 5 padají po uvolnění směrem dolů jednak vlastní tíhou, jednak je pohyb urychlen pružinou 9. Spodní část brzdných tyčí 5 zapadne do žlábků

v disku 10, který je součástí pevné části P a je 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 brzdě tyči 5 je v místě nárazu do tyče 3.1 otvor, do kterého se při nárazu vsune západka, spojená se spodní tyčí 3.1 otáčivého ramene 3. 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 celé zařízení opět do počátečního stavu bez ručního zásahu obsluhy. Tato vlastnost je výhodná kvůli tomu, že vysoké citlivosti se dosahuje mnohonásobným opakováním měření.

Jinou variantou zabrzdění otáčivé části, zejména je-li tvořena rotujícím prstencem nebo diskem, 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. K aktivaci dojde například po uvolnění západky tak, že pohyblivá část se vlastní tíhou posune svisle dolů a přitlačí ozubené kolo k ozubenému segmentu.

Motor generátoru (na obr. 3 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 na jednu i na druhou stranu. Součástí motoru je výhodně i elektrický akumulátor, který slouží ke startování motoru, k napájení řídicí jednotky U a k napájení elektromagnetického ovládání Z brzdícího mechanismu B.

Řídicí jednotka U je realizována v podstatě jako počítač, který ve výhodném provedení zaznamenává údaje ze senzorů 12, 13, zapíná a vypíná motor, aktivuje brzdící mechanismus B a uvádí generátor G do původního stavu. K řídicí jednotce U je připojen motor a elektromagnetická relé Z generátoru G, rotační seismický měřicí systém S a otáčkoměr, např. optický otáčkoměr. Princip optického otáčkoměru

spočívá v tom, že optický paprsek je přerušován průchodem otáčejících se 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, 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.

Řídicí jednotka U vybavená programem pro zpracování dat může být užita obdobně také pro samotný rotační senzorový systém S v případě, že je využit jiný zdroj seismických pohybů (zemětřesení, výbuch).

Příklad 3: Měření uměle generovaných rotačních pohybů užitím prototypu senzorového systému

Byl proveden pokus s prototypem (obr. 7), v podstatě odpovídajícím zařízení na obr. 2, který potvrdil technickou způsobilost zařízení a jeho správnou funkci.

Rotační seismický senzorový systém S sestával ze čtyř horizontálních senzorů 13, což byly geofony typu LF-24 (Sensor Nederland b.v.) s plochou frekvenční charakteristikou pro frekvence větší než 1Hz. Senzory 13 byly připevněny na nedeformovatelné (ocelové) kostře 14 ve tvaru válce (obr.7) o průměru 40 cm. Senzorový systém S byl při měření umístěn na povrchu země v blízkosti pevné části P generátoru G rotačních pohybů půdy. Jako řídicí jednotky U byl použit počítač typu laptop s převodníkovou kartou UDAQ 1408 (Tedia).

Pro generování rotačních seismických pohybů půdy byl užit generátor G, který v podstatě odpovídá schématu na obr. 3a, 3b., a je zjednodušenou verzí dále popsaného prototypu, který byl též zkonstruován. Pevná část P generátoru G byla zapuštěna do země. Otáčivá ramena 3 byla čtyři. Brzdící mechanismus B byl realizován železnými trubkami 5, které byly drženy původně ve vodorovné pozici a ve vhodný okamžik zablokovaly otáčení ramen 3 tím, že zapadly do drážek vyhloubených do země. Tím došlo k nárazu tyčí 3.1 otáčivých ramen 3 na brzdné

tyče 5, a prakticky k okamžitému zastavení otáčivých ramen 3 a tudíž k vygenerování rotačních seismických pohybů.

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

Výsledky měření ze dvou těchto pokusů jsou znázorněny na obr. 8. Na horním obrázku jsou časové průběhy signálů ze 4 geofonů 13 (křivky a,b,c,d). Rozdíly mezi těmito záznamy jsou způsobeny právě rotačními složkami, které jsou znázorněny na spodním obrázku pro 2 páry geofonů 13, a sice (a,c) a (b,d).

Výpočet citlivosti sensorového systému

Výpočet byl proveden pro konkrétní provedení sensorového systému S, pomocí kterého se uskutečnilo výše popsané pokusné měření. Při použití kvalitnějších komponent je možno dosáhnout ještě lepší, až řádově vyšší citlivosti.

Jako senzory 13 byly použity geofony 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 kostry 14, na které jsou geofony upevněny, je 20 cm. Z toho plyne, že LSB vyjádřená v radiánech činí $16,65 \text{ nrad/s}$. Toto lze považovat za základní citlivost uvedeného konkrétního sensorového systému. Tato citlivost je konstantní ve frekvenčním pásmu 1 až 200 Hz.

Prototyp generátoru seismických rotačních pohybů

Generátor G v tomto konkrétním provedení má 2 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 půdního 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 řídicí jednotky U měření. Dále celý postup kontroluje řídicí 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 dříve, 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 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 budící impuls, poté dojde ke zvýšení citlivosti (například stokrát) pro záznam odražených vln. Po ukončení záznamu jsou otáčivá ramena 3 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 výše). Přitom v polovině případů se roztáčí otáčivá část Q generátoru G ve směru hodinových ručiček, v polovině případů proti směru hodinových ručiček.

Metodika provádění měření a zpracování výsledků

Výhodně je měření a zpracování výsledků prováděno pomocí jedné, případně i více řídicích jednotek U, ovládajících jeden nebo více senzorových systémů S podle vynálezu společně s výše popsaným generátorem G 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. Řídicí jednotka U sestává z operační jednotky U1 a procesoru U2. Tato jednotka vyšle povel 111 generátoru G k uvedení do výchozího stavu (inicializace G1). Poté vyšle jednotka povel 112 ovládání motoru G2 ke spuštění. 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 povel 115 ovladači G4 pro spuštění brzdícího mechanismu B a zároveň povel 116 ke snížení citlivosti senzorového systému S1 umístěnému 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 masívu (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 (obr. 8a, 8b), odpovídající jednotlivým senzorovým systémům S1 až SN.

Procesor U2 provádí zpracování podle schématu na obr. 6, kde senzorové systémy S1, S2 .. SN měří tři složky C1 až C3 rotačního pohybu generovaného generátorem G. Schéma odpovídá situaci, kdy se k měření používá více senzorových systémů S než jeden a každý z nich měří rotační pohyb kolem tří navzájem kolmých os (rovnoběžných pro všechny senzorové systémy). Modifikace ovládání generátoru G a měřicího systému S, např. v provedení, kdy je odlišný brzdící mechanismus, 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 senzorů 12 nebo 13 ve dvojici se odečtou nebo sečtou signály z protilehlých senzorů 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 senzorů 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:

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

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 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 nesterijnými charakteristikami jednotlivých senzorů 12 nebo 13, 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 $S(t)$.

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

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

- IV. Odečtou se časy a amplitudy odražených a/nebo refragovaných vln.
- 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,
- 2) sčítání podle vzorce V2 přes jednotlivé pokusy (index i),
- 3) sčítání podle vzorce V2 přes dvojice senzorů (index j),

přičemž důležité je uvedené pořadí kroků 2 a 3.

Výhodou výše popsaného postupu je to, že i když jednotlivé naměřené rotační seismogramy nejsou zcela totožné (vlivem šumu, ne zcela stejné charakteristiky použitých senzorů 12, 13, 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, 13. Při jejich skládání proto dojde k velkému zesílení signálu, zvláště pokud se použije nelineární metoda 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 a teprve poté se sčítají korelační funkce odpovídající dané složce rotačního pohybu pro všechny páry senzorů 12, 13 daného senzorového systému S_m , $m=1..N$.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Rotační seismický senzorový systém (S) **vyznačující se tím**, že obsahuje jeden nebo více párů shodných seismických senzorů (12, 13), kde pár senzorů (12, 13) je vždy spojen pevně s nedeformovatelnou kostrou (14) systému (S) a senzory (12, 13) jsou umístěny tak, že jejich osy leží na 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 té složky rotačního pohybu, která se měří, a zároveň nesmí být rovnoběžná s osou, podél které se měří translační pohyby. .
2. Rotační seismický senzorový systém podle nároku 1 **vyznačující se tím**, že dále obsahuje řídicí jednotku (U) pro realizaci měření rotačních seismických pohybů s vysokou citlivostí a zpracování naměřených dat.
3. Rotační seismický senzorový systém podle nároku 1 nebo 2 **vyznačující se tím**, že obsahuje jeden nebo více párů vertikálních senzorů (12) a/nebo horizontálních senzorů (13), které leží v rovnoběžných rovinách, a jak vertikální senzory (12) tak horizontální senzory (13) leží ve vrcholech pravidelných mnohoúhelníků (15) se sudým počtem vrcholů.
4. Seismická měřicí souprava **vyznačující se tím**, že obsahuje rotační seismický senzorový systém (S) podle nároku 2 nebo 3 a generátor (G) rotačních seismických vln, který obsahuje pevnou část (P) pro zakotvení do země, otáčivou část (O) a brzdící mechanismus (B) pro okamžité zastavení otáčivé části.
5. Seismická měřicí souprava podle nároku 4 **vyznačující se tím**, že generátor (G) rotačních seismických vln dále obsahuje motor.

6. Způsob seismického průzkumu **vyznačující se tím**, že užitím seismické měřicí soupravy podle nároku 4 nebo 5 se pomocí generátoru (G) generují rotační seismické pohyby, rotačním senzorovým systémem (S) se měří odezva na generované rotační seismické pohyby a pomocí řídící jednotky (U) se měření zpracovávají a vyhodnocují.

7. Způsob podle nároku 6 **vyznačující se tím**, že se při generování rotačních seismických pohybů měří časový průběh budících seismických signálů generovaných generátorem (G) a časový průběh odražených a/nebo refragovaných seismických signálů.

8. Způsob seismického průzkumu podle nároku 6 nebo 7, **vyznačující se tím** že vyhodnocení seismického měření zahrnuje kroky, kdy se

1) vypočítají korelační funkce $K_{ij}(t)$ podle vzorce V1:

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

kde B_{ij} je budící 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:

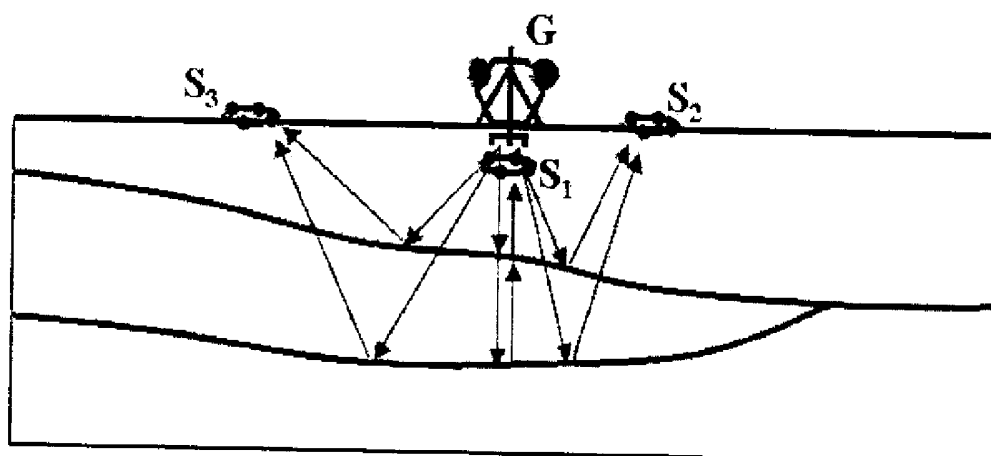
$$S(t) = \sum_j \sum_i K_{ij}(t)$$

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

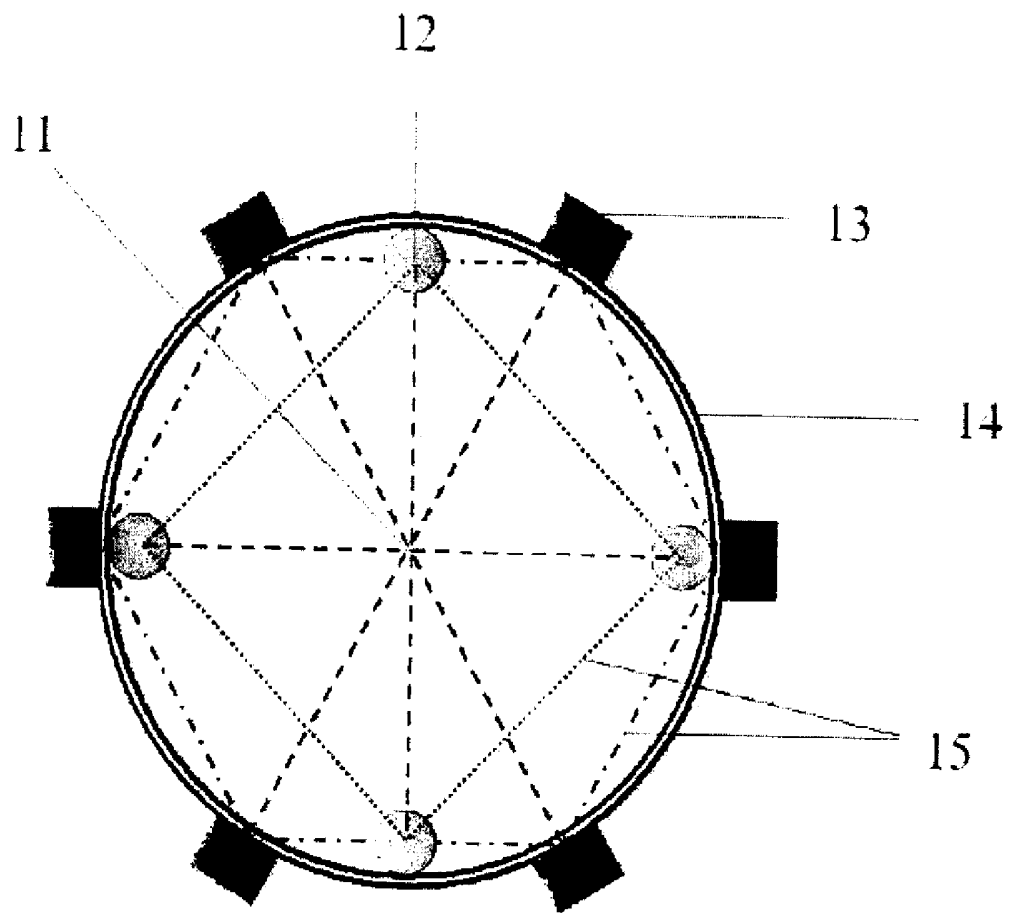
přičemž sčítání je obvyklé sčítání nebo nelineární zobecněné sčítání, a v případě nelineárního zobecněného sčítání se kroky 2 a 3 provádějí v uvedeném pořadí.

9. Seismická měřicí souprava podle nároku 4 nebo 5 **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že řídicí jednotka (U) obsahuje implementovaný počítačový program pro realizaci způsobu podle kteréhokoliv z nároků 6 až 8.

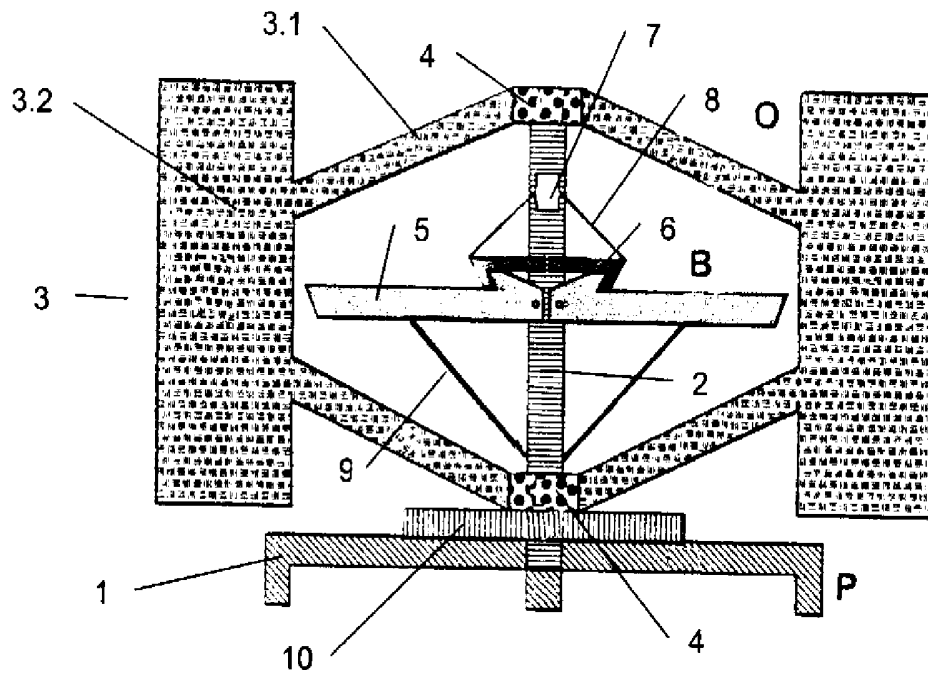
Obr. 1



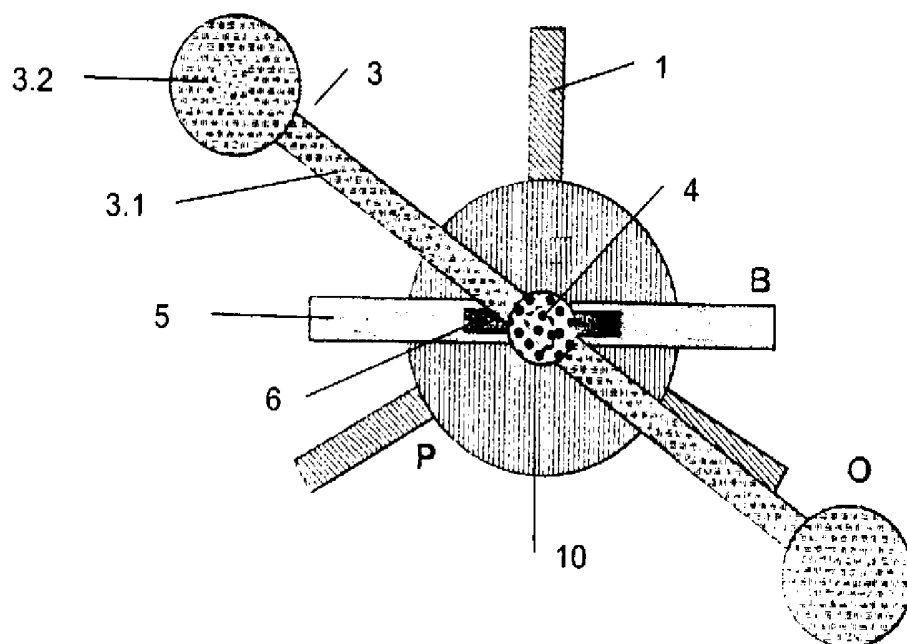
Obr. 2



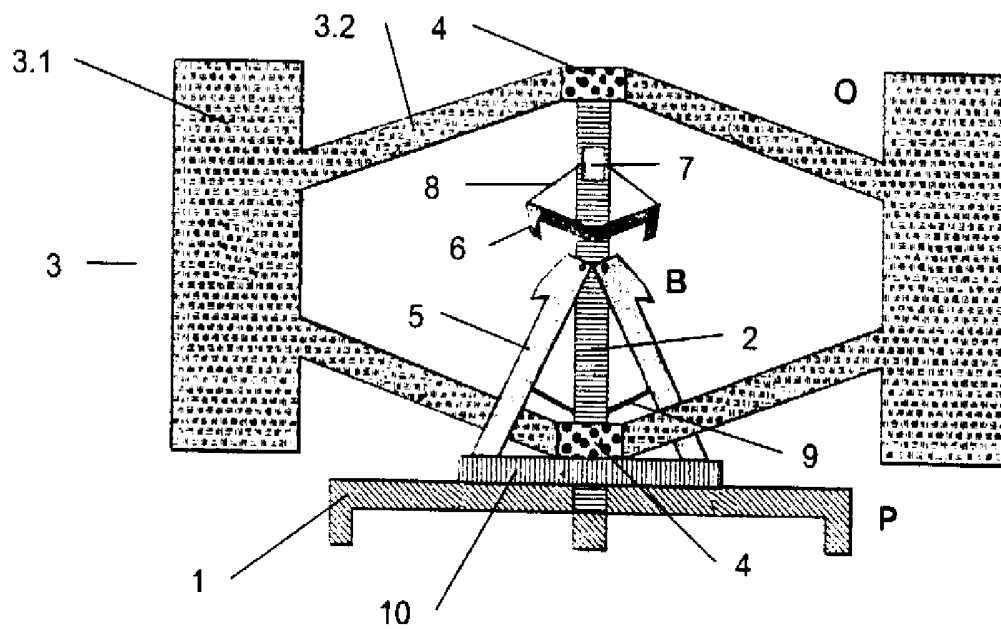
Obr. 3a



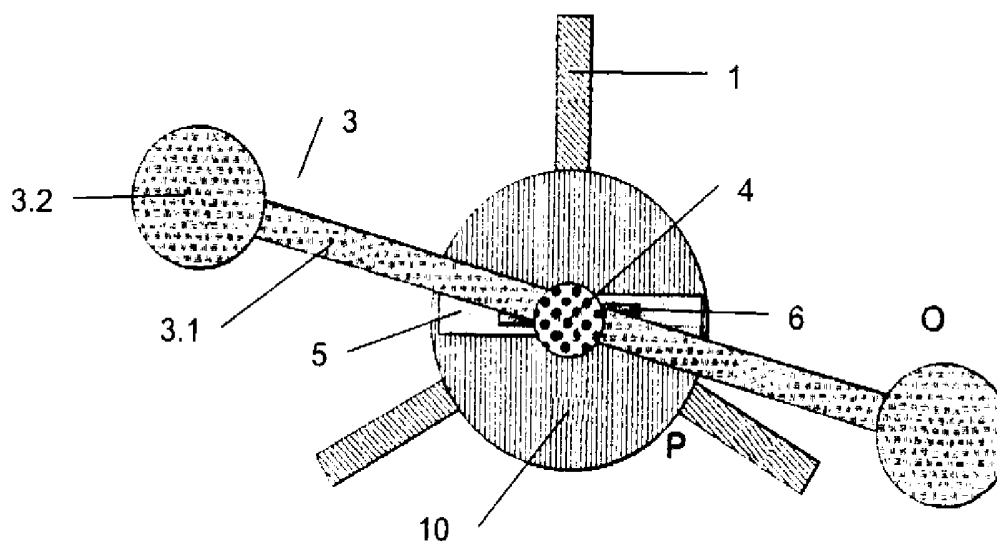
Obr. 3b



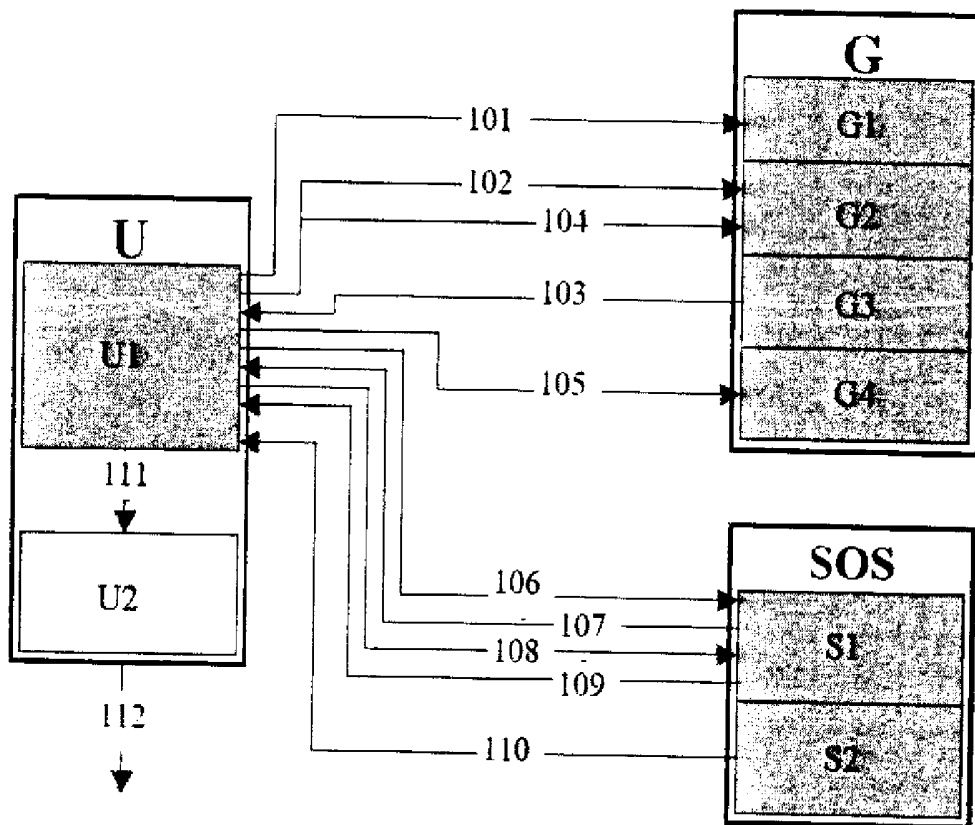
Obr. 4a



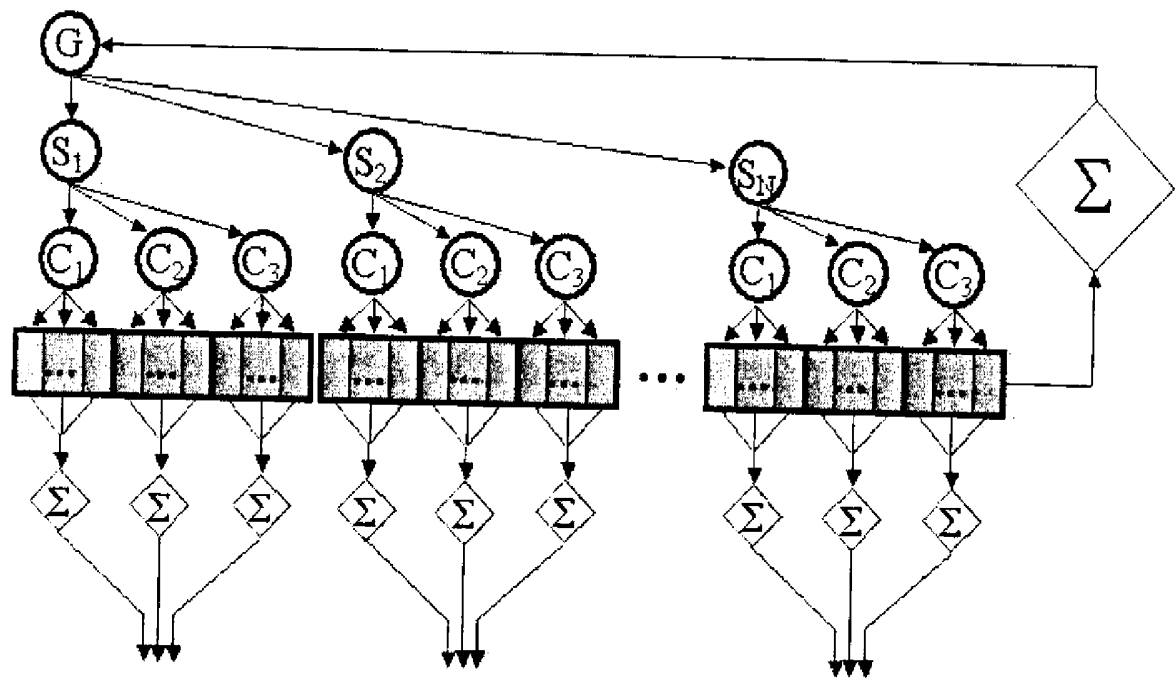
Obr. 4b



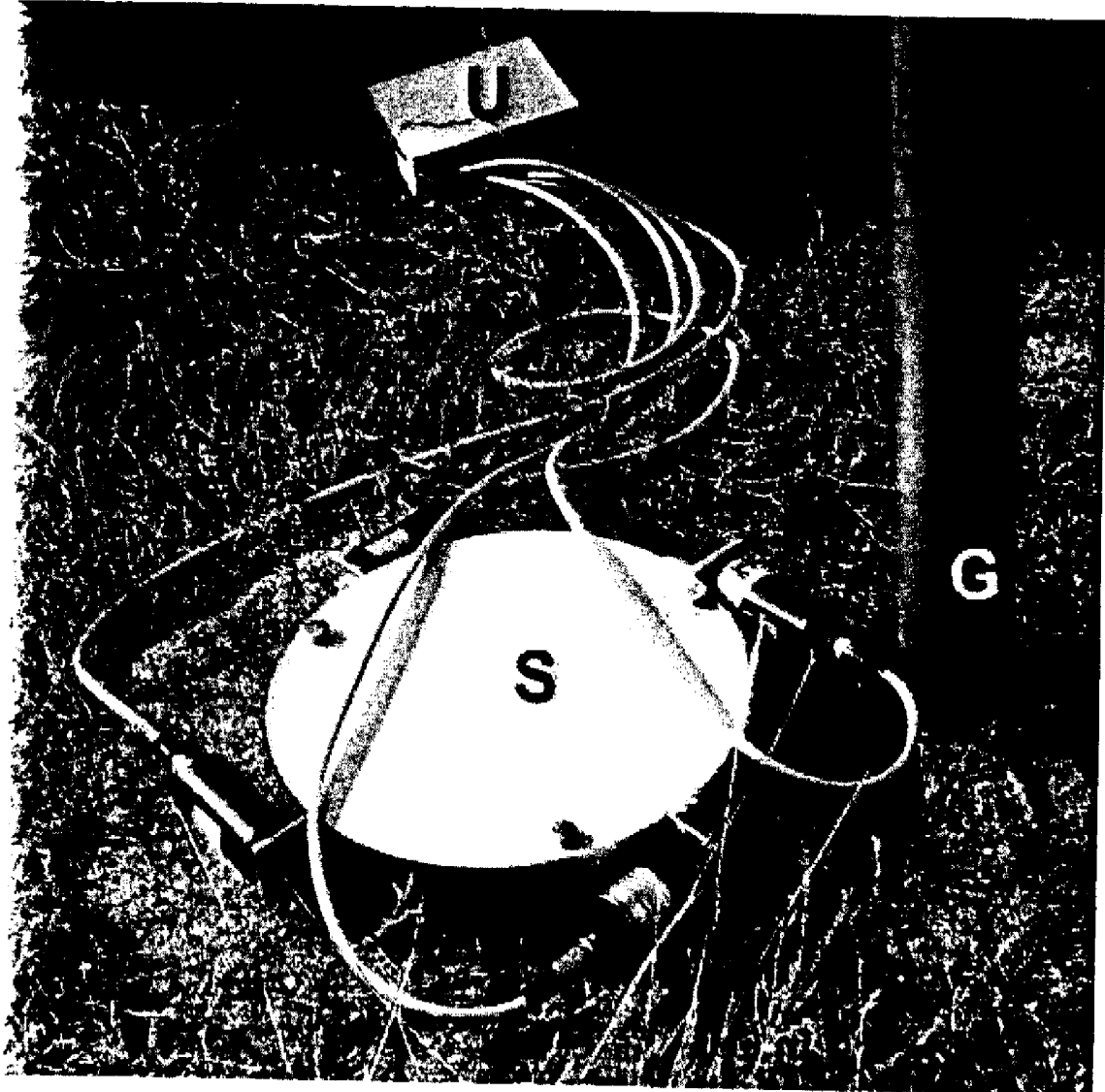
Obr. 5

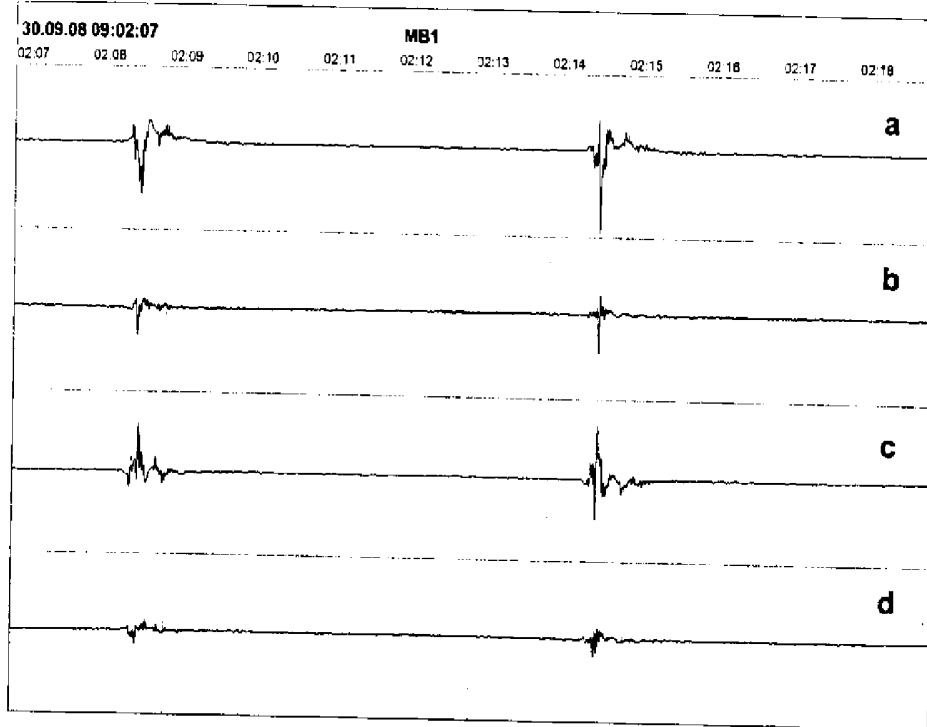


Obr. 6



Obr. 7



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