

G01V 1/143 (2006.01)
G01V 1/04 (2006.01)
G01V 1/047 (2006.01)
G01V 1/16 (2006.01)
G01V 1/18 (2006.01)
G01V 1/20 (2006.01)
G01V 1/22 (2006.01)

(19)
 ČESKÁ
 REPUBLIKA



ÚŘAD
 PRŮMYSLOVÉHO
 VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2020-642**
 (22) Přihlášeno: **01.12.2020**
 (40) Zveřejněno: **08.06.2022**
(Věstník č. 23/2022)
 (47) Uděleno: **04.05.2023**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **14.06.2023**
(Věstník č. 24/2023)

(56) Relevantní dokumenty:
 US WO2009012424 A2; US 4991685 A; US 4770268 A; SU 1056098 A1; US WO0204985 A2.

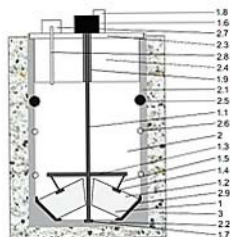
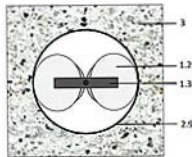
(73) Majitel patentu:
 Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v.v.i.,
 Praha 8, Libeň, CZ

(72) Původce:
 RNDr. Jiří Málek, Ph.D., Praha 8, Libeň, CZ

(74) Zástupce:
 Hák, Janeček & Švestka, Patentová a známková
 kancelář, RNDr. Roman Hák, patentový zástupce,
 U průhonu 827/5, 170 00 Praha 7, Holešovice

(54) Název vynálezu:
Generátor harmonických seismických vln a sestava pro seismickou prospekci

(57) Anotace:
 Předložený vynález se týká generátoru harmonických seismických vln, který generuje kontinuálně seismické vlny s jedinou přesně danou frekvencí a amplitudou a se speciální vyzařovací charakteristikou. Generátorem vytvářený signál se šíří horninovým prostředím, je přijímán soustavou seismických stanic a je zpracován způsobem, který detekuje a analyzuje nelineární jevy v šíření seismických vln. Generátor umožňuje zejména detekci kritického napětí před zemětřesením.



Generátor harmonických seismických vln a sestava pro seismickou prospekci

Oblast techniky

5

Předložený vynález se týká generátoru harmonických seismických vln, který generuje kontinuálně seismické vlny s jedinou přesně danou frekvencí a amplitudou a se speciální vyzářovací charakteristikou. Generátorem vytvářený signál se šíří horninovým prostředím, je přijímán soustavou seismických stanic a je zpracován způsobem, který detekuje a analyzuje nelineární jevy v šíření seismických vln. Použití generátoru umožňuje zejména detekci kritického napětí před zemětřesením. Kromě toho je výhodné použití, např. při detekci změny hladiny podzemní vody, pohybů magmatu, změn nasycení hornin uhlovodíky při těžbě ropy a zemního plynu nebo pronikání plynů a kapalin do zemské kůry.

15

Dosavadní stav techniky

Mechanické vlastnosti hornin lze popsat (s jistou mírou přibližnosti) elastickým modelem kontinua, pokud jsou deformace hornin malé. Základním zákonem v tomto elastickém prostředí je Hookův zákon, který říká, že deformace je přímo úměrná napětí. Na tom je postavena klasická teorie šíření seismických vln (Červený, 2001).

20

Při zemětřesení však dochází k překročení meze pevnosti horninového masívu, které vede ke křehkému porušení, pohybu na zlomu a vyzáření seismických vln. Tyto procesy jsou ze své podstaty nelineární, a pomocí klasické elastické teorie je lze popsat jen velmi přibližně. Nelineární chování lze pozorovat již v období před zemětřesením, kdy se napětí blíží k mezi pevnosti. V tomto případě mluvíme o dosažení kritického napětí.

25

Při porušení linearity mezi napětím a deformací dochází k řadě odchylek od elastického modelu při šíření seismických vln. Podstatou předloženého vynálezu je využít tyto nelineární jevy k detekci kritického stavu hornin. Mezi takové nelineární jevy patří změna ve frekvenci harmonických kmitů. Dochází k rozštěpení původní frekvence na dvě blízké, ale odlišné frekvence. Dále lze pozorovat vznik vyšších harmonických frekvencí, které jsou celočíselným násobkem základní frekvence. Při přechodu z normálního do kritického stavu dochází ke změně rychlosti šíření vln, jejich útlumu a anisotropie.

30

Při registraci seismických vln, které jsou generovány zemětřeseními, případně antropogenními zdroji jako jsou chemické výbuchy, je velmi obtížné nelineární efekty pozorovat. Tyto zdroje totiž generují obvykle spojité a poměrně široké spektrum frekvencí, takže rozštěpené frekvence a vyšší harmonické jsou překryty stejnými frekvencemi, které jsou generovány přímo ve zdroji. Změny v rychlosti šíření seismických vln od zemětřesení je také poměrně obtížné určit, protože zároveň je třeba určovat lokaci ohniska zemětřesení a rychlostní model.

40

Vhodné stanice byly popsány, např. v patentu CZ 301217 B6 (Rotační seismický senzorový systém, seismická měřicí souprava obsahující tento systém a způsob seismického průzkumu) nebo CZ 306566 B6 (Opticko-mechanický senzorový systém pro měření seismických pohybů půdy a způsob seismického měření s použitím tohoto systému).

45

Jednu z metod, jak na základě seismogramů určit parametry dopadajících vln, publikovali Málek J., Brokešová J., 2020 (Seismic model of West Bohemia seismoactive region using isometric algorithm. Physics of Earth and Planetary Interiors. Předloženo k publikaci.)

50

Podstata vynálezu

Předložený vynález se týká sestavy pro seismickou prospekci, tzv. seismického majáku, což je sestava, která obsahuje generátor harmonických seismických vln (označovaný případně také jako vysílač) a soustavu specificky rozmístěných seismických stanic (seismografů). Seismický maják umožňuje s velkou přesností detekovat výše zmíněné efekty, tj. rozštěpení původní frekvence na dvě blízké, ale odlišné frekvence, vznik vyšších harmonických frekvencí, které jsou celočíselným násobkem základní frekvence, změnu rychlosti šíření seismických vln, jejich útlumu a anisotropie, a tím odstraňuje nedostatky seismického průzkumu prováděného metodami dle dosavadního stavu techniky.

Dále se předložený vynález týká generátoru harmonických seismických vln, který se výhodně užívá jako součást sestavy seismického majáku podle vynálezu, nebo samostatně v jiném vhodném uspořádání. Sestava seismického majáku kromě výše uvedeného generátoru obsahuje soustavu seismických stanic ve speciálním uspořádání, jak bude dále popsáno. Generátor harmonických seismických vln podle vynálezu může být využíván i s jinými či jinak uspořádanými seismickými stanicemi, než jak jsou popsány zde. Generátor vysílá kontinuálně seismické vlny se speciální vyzařovací charakteristikou a s jedinou přesně danou frekvencí a amplitudou, které jsou neměnné v čase. Vysílání probíhá nepřetržitě a dlouhodobě s velkou stabilitou vlastností vyzařovaných vln. Seismické stanice jsou výhodně rozmístěny v několika skupinách a jsou umístěny kolem vysílače tak, že je možno efektivně analyzovat nelineární efekty. Zpracování záznamů měření (seismogramů) z těchto stanic spočívá ve sledování časových změn seismogramů na jednotlivých stanicích a také ve srovnávání zaznamenaných seismogramů mezi jednotlivými seismickými stanicemi. Výsledkem jsou časové změny nelineárního chování hornin. Na jejich základě je možná zejména detekce kritického napětí před zemětřesením, ale také např. sledování změn hladiny podzemní vody, změn nasycení hornin uhlovodíky při těžbě ropy a zemního plynu, pohybů magmatu, pronikání plynů a kapalin do zemské kůry atd.

30 Generátor harmonických seismických vln

Generátor podle předloženého vynálezu je realizován ve formě rotoru, který obsahuje dvě valivá tělesa, pohybující se při otáčení rotoru po uzavřené kruhové dráze v uzavřené podzemní komoře. Tělesa jsou upevněna ke svislé hřídeli rotoru pomocí alespoň jednoho ramene a hřídele tělesa tak, že jsou vůči ose rotoru (hřídeli) umístěna symetricky (tj. ve stejné vzdálenosti) v protilehlých polohách, přičemž jsou v kontaktu s dráhou (případně ještě k dráze přitlačována) a mohou se po dráze při pohybu rotoru valivě pohybovat. Rotor i dráha jsou umístěny v uzavřené podzemní komoře, například v uzavřené kruhové studni vyhloubené v pevné a dobře elastické hornině. Průměr i hloubka studny jsou v rozsahu jednotek metrů, například přibližně průměr 1 m až 3 m a hloubka 3 m až 5 m, výhodně přibližně 2 m a 4 m. Rotor je umístěn v kruhové studni symetricky kolem osy otáčení, dráha je spojena se dnem studny. Valivá tělesa působí na dráhu silou, která je výslednicí tíhové síly a odstředivé síly, a případně přitlačné síly. Pohyb těles po kruhové dráze způsobuje malou elastickou deformaci dráhy a v důsledku toho i stěn studny, popřípadě dna studny, a tudíž i okolní horniny, a tím dochází ke generování seismických vln. Pohybující se tělesa jsou shodná zejména hmotností, ale i tvarem, kterým může být např. koule, válec, kužel nebo komolý kužel. Výhodným tvarem se jeví komolý kužel. Hmotnost každého z valivých těles je například přibližně 500 kg až 4000 kg, výhodně přibližně 1000 až 3000 kg. Dráha je tvaru prstence (stěna dráhy je kolmá k horizontále) ležícího u dna studny, nebo pláště komolého kuželu s větší podstavou nahoře (stěna je odkloněna od vertikály o 1 až 89°, výhodně o 30 až 60°). Také může být ve tvaru prstence, jehož stěna má průřez tvaru „L“ v kombinaci s tělesy ve tvaru koule. Výhodným tvarem dráhy se jeví tvar pláště komolého kuželu, výhodně se sklonem stěny 45°. V uvedeném výhodném uspořádání jsou valivá tělesa v kontaktu s dráhou a jsou „přitlačována“ k dráze působením jejich vlastní hmotnosti a odstředivé síly při otáčení rotoru a není tedy potřeba žádné další zařízení k zajištění kontaktu mezi tělesy a dráhou. Avšak rameno či ramena, která nesou valivá tělesa a uchycují je k ose rotoru, mohou být např. sestavena z více částí, kloubově spojených či vzájemně

zasunovatelných, a navíc opatřena pružným prvkem (např. pružinou), který vyvíjí i v klidovém stavu sílu ve směru odstředivé síly a přispívá k zajištění dobrého kontaktu mezi tělesy a dráhou. Tato síla se přičítá ke gravitační a odstředivé síle a zvětšuje tak amplitudu generovaných seismických vln. V případě dráhy ve tvaru pláště komolého kužele je frekvence otáčení zvolena tak, aby výslednice sil na těleso byla kolmá na tečnou rovinu dráhy.

Pohyb valivých těles po dráze je zprostředkován otáčením rotoru, které je zajištěno pomocí motoru, výhodně elektromotoru, takže rychlost pohybujících se těles zůstává s velkou přesností konstantní. Frekvence, amplituda a vyzářovací charakteristika vln jsou tak dlouhodobě neměnné. V maximální míře jsou kompenzovány všechny vlivy, které by mohly ovlivnit časové změny ve vyzářování. Pohybující se tělesa i dráha, po které se pohybují, jsou zkonstruovány z velmi odolného a elastického materiálu, který nepodléhá korozi a jiným časovým změnám (například výhodně z nerezové oceli). Studna je uzavřená a výhodně je z ní vyčerpán vzduch na nízký tlak, který se udržuje konstantní pomocí odsávání vzduchu (například pomocí vývěvy). Vyčerpáním vzduchu ze studny je minimalizován odpor vzduchu při pohybu valivých těles. Teplota ve studni je udržována konstantní, např. pomocí topných těles. Studna je opatřena alespoň jedním topným tělesem. Teplota a tlak jsou udržovány konstantní pomocí regulačního systému za pomoci tlakových a teplotních čidel a zpětné vazby na topné těleso a odsávání vzduchu. Rychlost pohybu těles je kontrolována rychlostními čidly a je udržována konstantní pomocí zpětné vazby na systém motoru (elektromotoru) za pomoci otáčkoměru (výhodně např. laserového otáčkoměru).

Rychlost otáčení rotoru, a tím frekvenci generátorem vysílaných vln, bude schopen odborník na základě předloženého popisu vynálezu upravit tak, aby frekvence generovaných vln vyhověla požadovanému účelu a zkoumanému horninovému prostředí. Obvyklé rozmezí frekvencí vhodné pro seismickou prospekci je 0,1 až 100 Hz, výhodné rozmezí frekvencí je 0,5 až 30 Hz, nejvýhodnější mezi 1 a 5 Hz, například přibližně 1,5 Hz.

Obdobně bude schopen odborník upravit a uzpůsobit specifickému účelu např. velikost studny, velikost dráhy, hmotnost valivých těles, tuhost pružného prvku, aniž by se odchýlil od podstaty a principu předloženého vynálezu.

Způsob seismické prospekce

Při novém způsobu seismické prospekce podle předloženého vynálezu s využitím výše popsané sestavy seismického majáku se jako vysílač použije generátor harmonických seismických vln popsaný výše a přijímač, který je tvořen soustavou seismometrů rozmístěných a uspořádaných speciálním způsobem.

Výběr místa, respektive horniny pro umístění generátoru je podstatný, protože je třeba zajistit, aby se při vysílání seismických vln hornina nepoškozovala a její mechanické vlastnosti zůstávaly po dlouhou dobu stejné. Generátor by tedy měl být uložen v pevné a dobře elastické hornině.

Přijímač je tvořen soustavou seismických stanic (seismometrů), které jsou rozmístěny na povrchu nebo ve vrtech kolem generátoru. Jejich vzdálenost od vysílače závisí na hloubce, ve které se nachází oblast, která má být zkoumána. Musí být totiž zajištěno, aby touto oblastí procházela alespoň část vln, které se šíří od vysílače k seismické stanici. Dále je třeba uspořádat stanice do skupin, které umožní efektivně srovnávat vzájemné poměry amplitud vln na různých stanicích. Obvykle vzdálenosti mezi stanicemi v rámci jedné skupiny jsou menší nebo srovnatelné než vlnová délka podél povrchu. Vzdálenost mezi skupinami stanic je mnohem větší než vlnová délka. Skupiny stanic jsou umístěny obvykle v různých směrech od vysílače. Výhodné je uspořádání, kdy jsou užity alespoň dvě skupiny stanic umístěné ve dvou navzájem kolmých azimutech, obě skupiny ve shodné vzdálenosti od generátoru, v rozmezí 25 až 75 km. V každé skupině jsou 2 až 15 stanic. Vzdálenost mezi stanicemi je výhodně v rozmezí 250 až 1000 m. Stanice jsou výhodně rozestavěny lineárně v radiálním směru od generátoru, ale i jiné rozmístění je možné v závislosti na účelu měření a charakteristice vysílaných vln.

Vlastnosti seismických stanic musí zaručovat správnou registraci vln, generovaných vysílačem. Musí se jednat o dostatečně citlivé stanice, které měří alespoň se stejnou citlivostí jako je přirozený seismický šum na uvažované frekvenci. Frekvenční rozsah stanic musí pokrývat jednak základní
 5 vysílanou frekvenci, jednak několikanásobně vyšší frekvence pro detekci vyšších harmonických frekvencí. Je výhodné používat třísloužkové stanice (které registrují svislou translační složku a dvě horizontální složky) nebo šestisložkové stanice (které kromě tří translačních složek registrují také tři rotační složky, tj. dva náklony a torzi). Vhodné stanice jsou ze stavu techniky známy.

10 Způsob zpracování seismogramů

Data získaná ze sestavy seismického majáku, resp. seismických stanic výše popsaných v podobě seismogramů jsou dále zpracovávána a vyhodnocována způsobem dále popsaným.

15 Metoda zpracování se zaměřuje na nalezení čtyřech jevů v šíření seismických vln, které svědčí o dosažení kritického stavu napjatosti ve sledované oblasti:

a) Časové změny v rychlosti šíření seismických vln

20 b) Časové změny v útlumu seismických vln

c) Vznik vyšších harmonických frekvencí

d) Rozštěpení frekvence vyzařované vysílačem na dvě blízké frekvence

25 Při zpracování seismogramů se musí počítat s tím, že registrované pole seismických vln neodpovídá pouze jedné vlně, ale je výsledkem složení mnoha seismických vln (objemových vln P, objemových vln S, Loveho a Reyleigových povrchových vln), a také odrazů, které vznikly na volném povrchu a na geologických rozhraních. Pokud by platil lineární popis šíření seismických
 30 vln, pak by všechny tyto vlny měly stejnou frekvenci. Dále, pokud by byly seismické rychlosti šíření vln v horninovém masívu nezávislé na čase, pak by amplituda vln a rozdíl fáze vln oproti vysílači byly nezávislé na čase. Metoda zpracování se tedy zaměřuje na výpočet, zda jsou tyto podmínky splněny nebo zda jsou pozorovány projevy nelinearity a časové závislosti rychlosti a útlumu.

35 Amplitudy seismických vln vyzařovaných vysílačem jsou slabé (ve srovnání například se silnými zemětřeseními). Hrozí proto, že hledané jevy budou překryty seismickým šumem. Nalezení nelineárních efektů v seismickém šumu je hlavním problémem při zpracování dat. Velmi pomáhá, pokud je vysílaná frekvence zvolena tak, aby přirozený seismický šum na této frekvenci byl co
 40 nejnižší.

V následujícím textu bude popsáno, jak jsou nelineární jevy rozpoznány v konkrétním uspořádání sestavy seismického majáku podle předloženého vynálezu. Vychází se přitom z vysílače (tj. generátoru harmonických seismických vln podle vynálezu), konkrétně z výhodného provedení
 45 popsaného v příkladu 1, a z rozmístění seismických stanic z příkladu 2 (skupině stanic č. 1 uspořádaná podél zlomu, skupina stanic č. 2 uspořádaná kolmo na zlom). V jiných případech je možno postupovat obdobně, jen je třeba vzít v úvahu konkrétní uspořádání.

Zpracování seismogramů probíhá v několika krocích:

50 Krok 1 – snížení šumu na jednotlivých stanicích.

Protože se pracuje se šestisložkovými seismogramy, je možné využít vztahu mezi translačními a rotačními složkami, aby se odstranil seismický šum, který přichází z výrazně jiných azimutů, než
 55 ve kterém leží vysílač a od blízkých povrchových zdrojů. Metoda snížení šumu ze šestisložkových

seismogramů je odborníkovi známá.

Krok 2 – určení fázových rozdílů mezi vysílačem a stanicemi a jeho časových změn.

- 5 Pro určení fázového rozdílu se použije metoda fázového spektra. V pohyblivém časovém okně se počítá komplexní Fourierovo spektrum seismogramů a určí se fáze na základní frekvenci. Od této fáze se pak odečte fáze vysílače ve stejném čase a pro azimut, který odpovídá geometrickému azimutu na stanici. Předpokladem této metody je, že je velmi přesně synchronizovaný čas ve vysílači a na stanici. Toho lze dosáhnout s použitím družicového signálu GPS nebo jiné časové služby. Se standardním vybavením je možno dosáhnout časové synchronizace lepší než 10^{-6} s. Při použití speciálních postupů až 10^{-9} s. Omezujícím faktorem v přesnosti určení rozdílu fází je tak zašumění registrovaných seismogramů. Vliv šumu lze eliminovat, pokud se použije velmi dlouhé časové okno, například v řádu několika dnů. Je třeba zvolit vhodný kompromis mezi přesností určení rozdílu fází a přesností určení okamžiku, kdy dochází k případné změně fáze. Při nízkém seismickém šumu je odhad přesnosti určení fáze 10^{-6} rad při použití časového okna o délce jednoho dne.

Krok 3 – určení amplitudy na stanicích a jejích časových změn

- 20 Postupuje se obdobně jako při určení fázového rozdílu, jen se využívá amplitudového spektra namísto fázového. Opět se musí v závislosti na velikosti šumu najít kompromis mezi přesností určení amplitudy a přesností určení okamžiku změny. Odhad přesnosti určení amplitudy je 10^{-5} při použití časového okna o délce jednoho dne.

- 25 Krok 4 – společné určení časových změn amplitud a rozdílů fází

- Časové změny lze hledat samostatně na jednotlivých stanicích a pro jednotlivé složky. Lepších výsledků lze ovšem dosáhnout, pokud se zpracovávají všechny stanice v dané skupině společně. V tom případě se předpokládá, že na skupinu stanic dopadá několik různých rovinných vln, které se vzájemně skládají. Pokud by byly známy amplitudy, fáze, úhly příchodu a typ všech těchto vln, bylo by možné spočítat seismogramy na všech stanicích ze skupiny pro všechny složky. To představuje tzv. přímou úlohu. Je ale potřeba řešit tzv. inverzní úlohu, tedy na základě seismogramů určit parametry dopadajících vln. Tuto úlohu lze řešit různými metodami, např. isometrickou metodou. Určí se tak časové změny v parametrech dopadajících vln, což je stabilnější z hlediska seismického šumu.

Krok 5 – srovnání časových změn mezi jednotlivými skupinami stanic

- 40 Časové změny v parametrech dopadajících vln nemusí být způsobeny výhradně růstem napětí ke kritické hranici. Například klesání nebo stoupání podzemní vody může rovněž způsobit změny v seismickém poli. Proto je třeba srovnat výsledky z jednotlivých skupin stanic. Pokud jsou změny ve skupině stanic č. 1 (podél zlomu) statisticky významně větší než změny ve skupině č. 2 (kolmo na zlom) je to důkaz, že změny v seismickém poli jsou způsobeny změnami na zlomu.

- 45 Krok 6 – nalezení vyšších harmonických frekvencí

- Postupuje se stejně jako při zpracování základní frekvence, tzn. analyzuje se amplitudové a frekvenční spektrum, ovšem na frekvencích, které se rovnají celočíselným násobkům základní frekvence. Analýza se provádí jen pro skupinu č. 1, pro skupinu č. 2 není výskyt vyšších harmonických frekvencí pravděpodobný.

Krok 7 – nalezení rozštěpených frekvencí

- 55 Postupuje se stejným způsobem jako v kroku 6, avšak analyzuje se postupně řada frekvencí v okolí základní frekvence. Výpočty se provádějí pouze pro skupinu č. 1.

Předmětem vynálezu je generátor harmonických seismických vln, jak byl výše popsán a jak je definován v připojených nárocích 1 až 8.

- 5 Dalším předmětem vynálezu je sestava pro seismickou prospekci, jak byla výše popsána a jak je definována v připojeném nároku 9.

Objasnění výkresů

10

Obr. 1: Schéma generátoru harmonických seismických vln podle předloženého vynálezu. Obr. 1A ukazuje boční řez studnou, ve které je umístěn rotor s valivými tělesy pro pohyb po kruhové dráze u dna studny. Obr. 1B ukazuje „příčný“ řez – pohled shora do otevřené studny.

15

Obr. 2: Schematické náčrty alternativních provedení generátoru harmonických seismických vln.

20

Obr. 3: Schéma příkladného uspořádání seismického majáku – rozmístění generátoru (kolečko) a seismických stanic (trojúhelníky). Silnou čarou je znázorněna stopa tektonického zlomu na povrchu. Skupina 12 stanic A je umístěna na druhé straně zlomu, než je vysílač blízko jeho stopy. Skupina stanic B je umístěna ve směru kolmém na zlom. Obě skupiny jsou lineární ve směru od generátoru vln a jsou ve shodné vzdálenosti.

25

Obr. 4: Fotografie laboratorního modelu seismického majáku. Model vysílače je v měřítku 1:10. Je použito uspořádání s válcovými tělesy a kolmou drahou, po které se pohybují.

30

Obr. 5: Výsledek laboratorního pokusu s modelem seismického majáku. Je zobrazeno průměrné amplitudové spektrum seismogramu za dobu 1 hodiny měření. Je vidět základní frekvenci 9,35 Hz. V důsledku nelineárních efektů vznikají vyšší harmonické 18,70 Hz, 28,05 Hz, 37,40 Hz, 46,75 Hz, 56,10 Hz. Dále je patrná frekvence 23,2 Hz, která odpovídá vlastním kmitům modelu a frekvence 4,68 Hz, která odpovídá polovině základní frekvence.

35

Obr. 6: Výsledek laboratorního pokusu s modelem seismického majáku. Je zobrazen detail z amplitudového spektra na obr. 4 v intervalu 9,1 až 9,6 Hz. Je vidět základní frekvenci 9,35 Hz. V důsledku nelinearity prostředí dochází k rozštěpení této frekvence, vzniká další výrazné maximum na frekvenci 9,32 Hz a několik dalších méně výrazných maxim.

Příklady uskutečnění vynálezu

40

Příklad 1

Generátor harmonických seismických vln

45

Rotor 1 generátoru (obr. 1) s valivými tělesy 1.2 ve tvaru komolého kuželu je umístěn v uzavřené válcové studni 2 o průměru 2,2 m a hloubce 4 m, která je vyhloubena v tvrdé hornině 3. Stěny 2.1 a dno 2.2 studny 2 jsou z betonu a izolovány tak, aby se zabránilo průniku vody. Studna 2 je zakryta betonovým víkem 2.3, které je na stěny 2.1 studny 2 uloženo vzduchotěsně, a které je na spodní straně opatřeno izolací 2.4 z pěnového polystyrenu o tloušťce 1 m. Stálá teplota 25 °C ve studni je zajištěna topnými tělesy 2.5 a měřena je teploměry 2.6, které jsou umístěny ve dvou hloubkových úrovních 2 m a 3 m po obvodu studny 2. Tlak je udržován na hodnotě 1 kPa pomocí vývěvy 2.7, která je umístěna vně studny 2 a je spojena se studnou trubicí 2.8, která prochází víkem 2.3 s izolací 2.4.

55

Dráha 2.9, po které se tělesa 1.2 rotoru 1 pohybují, je tvaru pláště komolého kuželu, kde průměr dolní podstavy je menší než průměr horní podstavy, a je vyrobena z nerezové oceli o tloušťce 1 cm

a je umístěna po obvodu dna 2.2 studny 2 tak, že se dotýká dna 2.2 i stěny 2.1 studny 2. Prostor, který vzniká pod šikmou dráhou, je také vyplněn betonem. Dráha 2.9 je skloněna o úhel 45° vzhledem ke kolmici. Rychlost pohybu těles 1.2 po dráze je uzpůsobena tak, že odstředivá síla při pohybu těles 1.2 je stejně velká jako tíhová síla, takže v tomto výhodném uspořádání výslednice sil, kterými působí každé těleso 1.2 na dráhu 2.9, je k dráze 2.9 kolmá. Pružný prvek není použit, 5
 přitlak na stěnu je realizován pouze výslednicí odstředivé a gravitační síly. Při jiném sklonu prstence 2.9 a/nebo jiném poměru odstředivé a tíhové síly, případně při použití pružného prvku bude úhel výslednice uvedených sil jiný, avšak kvůli minimalizaci zatížení závěsu těles je výhodné volit tyto parametry tak, aby výslednice sil byla kolmá na podložku. Průměr prstence dráhy 2.9 na 10
 spodní straně je 1,4 m, průměr na horní straně 2,2 m. Šířka ploché části dráhy 2.9 je 0,5657 m. Dráha 2.9 může být opatřena zahnutými okraji či zvýšenými hranami, aby nedošlo k vyjetí těles 1.2 z dráhy 2.9.

Vertikální hřídel 1.1 rotoru 1 je opatřena závěsnými rameny 1.3, na které jsou valivá tělesa 1.2 15
 otočně připojena prostřednictvím hřídele 1.5. Hřídel 1.5 tvoří osu symetrie těles 1.2 a je upevněna ložiskem 1.4 v ose tělesa 1.2. Toto uchycení umožňuje valení těles 1.2 po dráze 2.9 při otáčení vertikální hřídele 1.1. Vertikální hřídel 1.1 je poháněna elektromotorem 1.6, který se nachází nad 20
 víkem 2.3 studny 2. Dolní konec hřídele 1.1 je usazen v ložisku 1.7 vertikální hřídele ve dnu 2.2 studny 2. Otáčky motoru 1.6 jsou udržovány na konstantní hodnotě pomocí přesného měření laserovým otáčkoměrem 1.8 a zpětnou vazbou, která reguluje elektrický proud, kterým je 20
 elektromotor 1.6 napájen. Vertikální hřídel 1.1 je opatřena vzduchotěsným pouzdem 1.9, které prochází víkem 2.3 a izolací 2.4.

Tělesa 1.2 jsou vyrobena (stejně jako dráha 2.9) z nerezové oceli. Mají tvar komolého kuželu. 25
 Poměr průměru spodní a horní podstavy tělesa 1.2 je ve stejném poměru jako poměr průměru horní a spodní podstavy dráhy 2.9, spodní průměr je 0,7 m, horní je 1,1 m. Stěna válce 1.2 je stejně dlouhá, jako je šířka dráhy 2.9, tedy 0,5657 m. Hmotnost každého z dvojice těles 1.2 je 2737 kg (při hustotě nerezové oceli 8000 kg/m^3) Při provozu generátoru se po dráze 2.9 pohybuje 30
 rovnoměrně dvojice těles 1.2, která se nacházejí vždy v protilehlých bodech dráhy 2.9. Tělesa 1.2 se pohybují po dráze 2.9 valením se stálou konstantní rychlostí těžiště $2,389 \text{ m/s}$, které se nachází $0,5818 \text{ m}$ od osy otáčení. Při této rychlosti vykonají tělesa 1.2 jednu otočku za $1,530 \text{ s}$. Při svém oběhu působí tělesa silou $33,14 \text{ kN}$ kolmo na dráhu 2.9 a zprostředkovaně na stěnu 2.1 studny 2. Tím dojde k malé deformaci průřezu studny 2 z kruhového tvaru na eliptický s delší osou ve směru, 35
 kde se právě nacházejí tělesa 1.2. Kromě toho dojde k malé deformaci dna 2.2 studny 2 tak, že jeho části v okolí pohybujících se těles 1.2 poklesnou. Periodická deformace studny 2 je zdrojem seismických vln, které se šíří do okolního horninového prostředí. Protože během jedné otáčky těles 1.2 dojde dvakrát k identické situaci postavení těles 1.2 (jen jsou vzájemně prohozena), je perioda 40
 vyzařovaných vln poloviční, než je doba oběhu, tedy $0,765 \text{ s}$ a frekvence vyzařovaných vln je $1,53 \text{ Hz}$.

Síla, která působí kolmo na dráhu 2.9 (výslednice tíhy a odstředivé síly), generuje primárně 45
 podélnou seismickou vlnu P, která se šíří ve směru působící síly. Vlnové pole od všech pohybujících se těles se skládá dohromady. Vyzařovací charakteristika je symetrická podle osy otáčení, avšak v různých směrech se vyzařují vlny s různou fází. Při odrazech a konverzi vln P od povrchu, stěn 2.1 studny 2 a rychlostních rozhraních v horninovém masívu dochází ke vzniku řady 50
 dalších vln včetně příčných vln S a vln povrchových. Ty mezi sebou dále interagují, při jejich šíření dochází k dalším odrazům, konverzi na rozhraních, refrakci v rychlostně gradientovém prostředí, rozptylu, útlumu a dalším vlnovým jevům, včetně nelineárních efektů, které jsou předmětem zkoumání. Výsledkem je složité vlnové pole, přičemž některé vlny procházejí jen přípovrchovými vrstvami, jiné procházejí hlubokými partiemi Země.

Na obr. 2 jsou schematicky znázorněna alternativní provedení generátoru, ve kterých valivá tělesa 1.2 mají tvar (A) koule, (B) kuželu nebo (C) válce.

Příklad 2

Laboratorní model seismického majáku

5

Pro ověření funkce byl zkonstruován funkční model seismického majáku (viz obr. 4). Vysílač - generátor principiálně shodný s generátorem podle příkladu 1 byl usazen do bloku hmoty gumové drti spojené lepidlem, která modeluje horninový masiv. Jako přijímač – detektor vln generovaných vysílačem – byl použit seismometr reprezentovaný geofonem SM-6 (výrobce Ion l.t.d.) s vlastní frekvencí 4,5 Hz. Generátor se odlišoval od generátoru podle příkladu 1 tvarem valivých těles 1.2, neboť zde byly použity válce, které jsou uloženy tak, že jejich podélná osa je vertikální. Ramena 1.3 nesoucí valivá tělesa 1.2 jsou tvořena dvěma částmi, které umožňují radiální pohyb těles a tím zajišťují kontakt s dráhou 2.9. Ramena 1.3 jsou opatřena pružinou, která zajišťuje přítlak valivých těles 1.2 k dráze 2.9. Dráha 2.9 je v tomto modelu „obruč“ – prstenec s vertikální stěnou. Ve hmotě byl vytvořen otvor simulující studnu uzpůsobený tak, aby do něho vložená dráha 2.9 byla v celém své vnější ploše v dokonalém kontaktu s okolní hmotou.

Pohyb rotoru při 280,5 ot/min vytvářel deformace dráhy 2.9, které vedly ke vzniku seismických vln o konstantní frekvenci 9,35 Hz a amplitudě v místě seismometrů přibližně 4 mm/s.

20

Obr. 5 ukazuje průměrné amplitudové spektrum spočtené z úseku měření na funkčním modelu o délce 1 hodiny. Na spektrech vidíme kromě základní frekvence 9,35 Hz také pět vyšších harmonických frekvencí, které vznikají v důsledku nelinearity při šíření seismických vln a kterých se využívá v předloženém vynálezu. Nejsilnější je třetí harmonická o frekvenci 28,05 Hz, která je dokonce silnější než základní frekvence. Na obr. 6 pak vidíme detail v okolí základní frekvence. Vidíme, že základní frekvence se rozštěpila, což je nelineární jev, který se používá v předloženém vynálezu.

25

Příklad 3

30

Způsob seismické prospekce

Pro detekci kritického napětíového stavu na svislém tektonickém zlomu v hloubce 5 km se použije systém seismického majáku, tedy generátor podle příkladu 1 jakožto vysílač harmonického seismického vlnění a dvě skupiny seismometrů jakožto přijímač. Každá skupina obsahuje 12 šestisložkových seismických stanic (např. podle patentu CZ 306566 B6). Vysílač je umístěn na stopě zlomu na povrchu. Obě skupiny seismických stanic jsou umístěny na povrchu ve vzdálenosti 50 až 56 km od vysílače ve dvou navzájem kolmých azimutech. Skupina č. 1 je umístěna přibližně na stopě zlomu. K této skupině se tedy seismické paprsky šíří podél plochy zlomu. Skupina č. 2 je umístěna tak, že spojnice vysílače a skupiny je kolmá na zlom.

40

Skupiny jsou tvořeny stanicemi rozestavenými lineárně v radiálním směru od vysílače. První stanice je v 50 km, další v pravidelných rozestupech tak, že dvanáctá stanice je ve vzdálenosti 55 km. Tyto vzdálenosti jsou zvoleny na základě výpočtu, aby seismické paprsky refragovaných vln P, které jsou vyzařovány pod úhlem 45 stupňů a dosahují maximální hloubky přibližně 5 km, vycházely na povrch ve vzdálenosti uvnitř skupiny stanic. Vzdálenosti a úhel vyzařování je třeba upravit podle konkrétního modelu seismických rychlostí v oblasti, což spadá do běžných znalostí a schopností odborníka v oboru.

Seismogramy ve skupině č. 1 jsou ovlivněny změnami na zlomu do hloubky 5 km, zatímco seismogramy ze stanic ve skupině č. 2 těmito změnami ovlivněny nejsou. Vlnová délka podél povrchu pro P-vlny s vysílanou frekvencí 1,53 Hz je v této vzdálenosti přibližně 5 km. Rozestupy mezi stanicemi jsou voleny tak, aby profil stanic pokryl tuto jednu vlnovou délku.

55

Průmyslová využitelnost

5 Seismický maják lze využít i pro jiné účely, než je detekce kritického napětí před zemětřesením. Obecně lze říci, že ho lze použít všude, kde se mění s časem vlastnosti horninového masívu. Může se jednat o změny hladiny podzemní vody, pohyby magmatu, změny nasycení hornin uhlovodíky při těžbě ropy a zemního plynu, pronikání plynů a kapalin do zemské kůry atd.

10 Někdy je výhodné použít najednou několik seismických vysílačů, které vysílají na různých frekvencích. Vlny od všech vysílačů, tj. generátorů, mohou být měřeny stejnými seismickými stanicemi. Získá se tak větší množství dat, které dává obvykle spolehlivější výsledky.

15 Pokud je třeba přesněji lokalizovat oblast, která způsobuje nelinearity, je možné provést měření pomocí několika seismických majáků tak, aby se paprsky mezi vysílači a stanicemi křížily. Pomocí tomografie lze pak zjistit, které oblasti v horninovém masívu nelinearity způsobují.

Literatura

- Červený V. (2001): Seismic ray theory. Cambridge University Press. ISBN 0 521 36671 2.
- 20 Málek J., Brokešová J. (2020): Seismic model of West Bohemia seismoactive region using isometric algorithm. Physics of Earth and Planetary Interiors. Submitted.
- Patent CZ 301217 B6. Brokešová, J., Málek J., Štrunc J.: Rotační seismický sensorový systém, seismická měřicí souprava obsahující tento systém a způsob seismického průzkumu.
- 25 Patent CZ 306566 B6. Prokop Brokešová J., Málek J.: Opticko-mechanický sensorový systém pro měření seismických pohybů půdy a způsob seismického měření s použitím tohoto systému.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Generátor harmonických seismických vln umístěný v uzavřené podzemní komoře, zejména v podzemní studni (2), **vyznačující se tím**, že obsahuje rotor (1) umístěný v podzemní studni (2),

5 kde rotor (1) obsahuje vertikální hřídel (1.1) poháněnou elektromotorem (1.6), kde k vertikální hřídeli (1.1) jsou uchycena dvě valivá tělesa (1.2) uložená symetricky a ve vzájemně protilehlé poloze vzhledem k hřídeli (1.1) rotoru (1); a

10 kde studna obsahuje pevnou stěnu (2.1), dno (2.2) a pevné víko (2.3), a kruhovou dráhu (2.9) umístěnou u dna (2.2) studny (2) tak, že je v kontaktu se stěnou (2.1) studny (2) i dna (2.2) studny (2);

přičemž tělesa (1.2) jsou v kontaktu s dráhou (2.9) a otáčivý pohyb vertikální hřídele (1.1) vyvolává valivý pohyb těles (1.2) po dráze (2.9), při kterém tělesa (1.2) na dráhu (2.9) působí silou, která je výslednicí tíhové síly, odstředivé síly a případně elastické přitlačné síly.

15 2. Generátor harmonických seismických vln podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že dvě valivá tělesa (1.2) jsou shodná hmotností i tvarem, který je vybrán z koule, válce, kužele, výhodně komolého kužele, přičemž hmotnost tělesa (1.2) je alespoň 100 kg, výhodně alespoň 2000 kg.

20 3. Generátor harmonických seismických vln podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že vertikální hřídel (1.1) je uložena v ložisku (1.7) na dně (2.2) studny (2), každé valivé těleso (1.2) je k vertikální hřídeli (1.1) uchyceno alespoň jedním ramenem (1.3), které je pevně spojeno s vertikální hřídelí (1.1), přičemž rameno (1.3) nese hřídel (1.5), na které je valivé těleso (1.2) otočně uchyceno prostřednictvím alespoň jednoho ložiska (1.4), takže při otáčení vertikální hřídele (1.1) dochází k valivému pohybu těles (1.2) po dráze (2.9).

25 4. Generátor harmonických seismických vln podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že rameno (1.3) je složeno alespoň ze dvou částí a/nebo rameno (1.3) obsahuje pružný prvek pro vyvolání elastické přitlačné síly zajišťující přítlak tělesa (1.2) k dráze (2.9).

30 5. Generátor harmonických seismických vln podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že dráha (2.9) pro pohyb valivých těles (1.2) ležících u dna (2.2) studny (2) je tvaru prstence nebo pláště komolého kužele s větší podstavou nahoře, kde stěna je odkloněna od vertikály o 1° až 89°, výhodně o 30° až 60°, nebo ve tvaru prstence, jehož stěna má průřez tvaru „L“, nejvýhodněji je ve tvaru pláště komolého kužele, kde stěna je odkloněna od vertikály o 45°.

35 6. Generátor harmonických seismických vln podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že víko (2.3) je opatřeno izolační vrstvou (2.4), a elektromotor (1.6) je umístěn nad víkem (2.3) studny (2) a je opatřen laserovým otáčkoměrem (1.8) pro zajištění konstantní rychlosti otáčení osy rotoru (1), přičemž vertikální hřídel (1.1) je uložena v těsnicím pouzdru (1.9) procházejícím víkem (2.3) a izolační vrstvou (2.4).

7. Generátor harmonických seismických vln podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že valivá tělesa (1.2) i dráha (2.9) jsou vyrobeny z nerezové oceli.

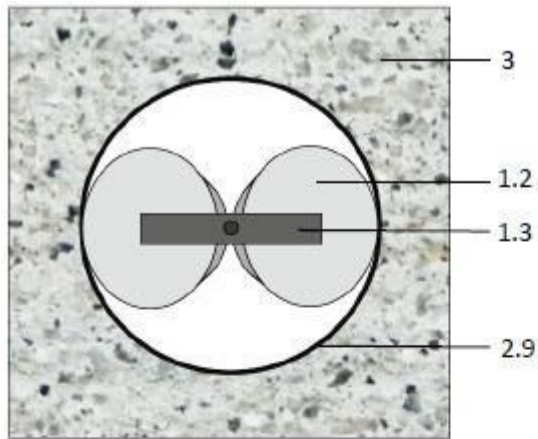
40 8. Generátor harmonických seismických vln podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že studna (2) je opatřena alespoň jedním topným tělesem (2.5) a alespoň jedním teploměrem (2.6) pro zajištění konstantní teploty uvnitř studny (2) a dále je případně opatřena vývěvou (2.7) spojenou s vnitřkem studny (2) trubící (2.8) procházejícím víkem (2.3) a izolační vrstvou (2.4).

- 5 9. Sestava pro seismickou prospekci, **vyznačující se tím**, že obsahuje generátor harmonických seismických vln podle kteréhokoliv z nároků 1 až 8 jakožto vysílač harmonických seismických vln a jakožto přijímač alespoň dva jednosložkové seismometry nebo alespoň dva tříložkové seismometry uzpůsobené pro měření svislé translační složky a dvou horizontálních složek vlnění nebo alespoň dva šestisložkové seismometry uzpůsobené pro měření tří translačních složek a tří rotačních složek vlnění.

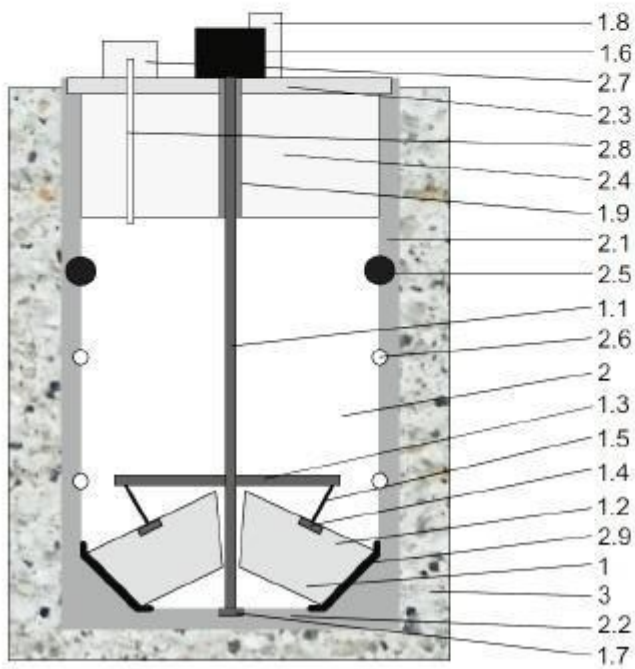
4 výkresy

Seznam vztahových značek:

- 1 ... rotor
- 1.1 ... vertikální hřídel
- 1.2 ... valivé těleso
- 1.3 ... rameno
- 1.4 ... ložisko
- 1.5 ... hřídel
- 1.6 ... motor
- 1.7 ... ložisko vertikální hřídele
- 1.8 ... otáčkoměr
- 1.9 ... pouzdro
- 2 ... studna
- 2.1 ... stěna studny
- 2.2 ... dno studny
- 2.3 ... víko studny
- 2.4 ... izolace
- 2.5 ... topné těleso
- 2.6 ... teploměr
- 2.7 ... vývěva
- 2.8 ... trubice
- 2.9 ... dráha
- 3 ... hornina

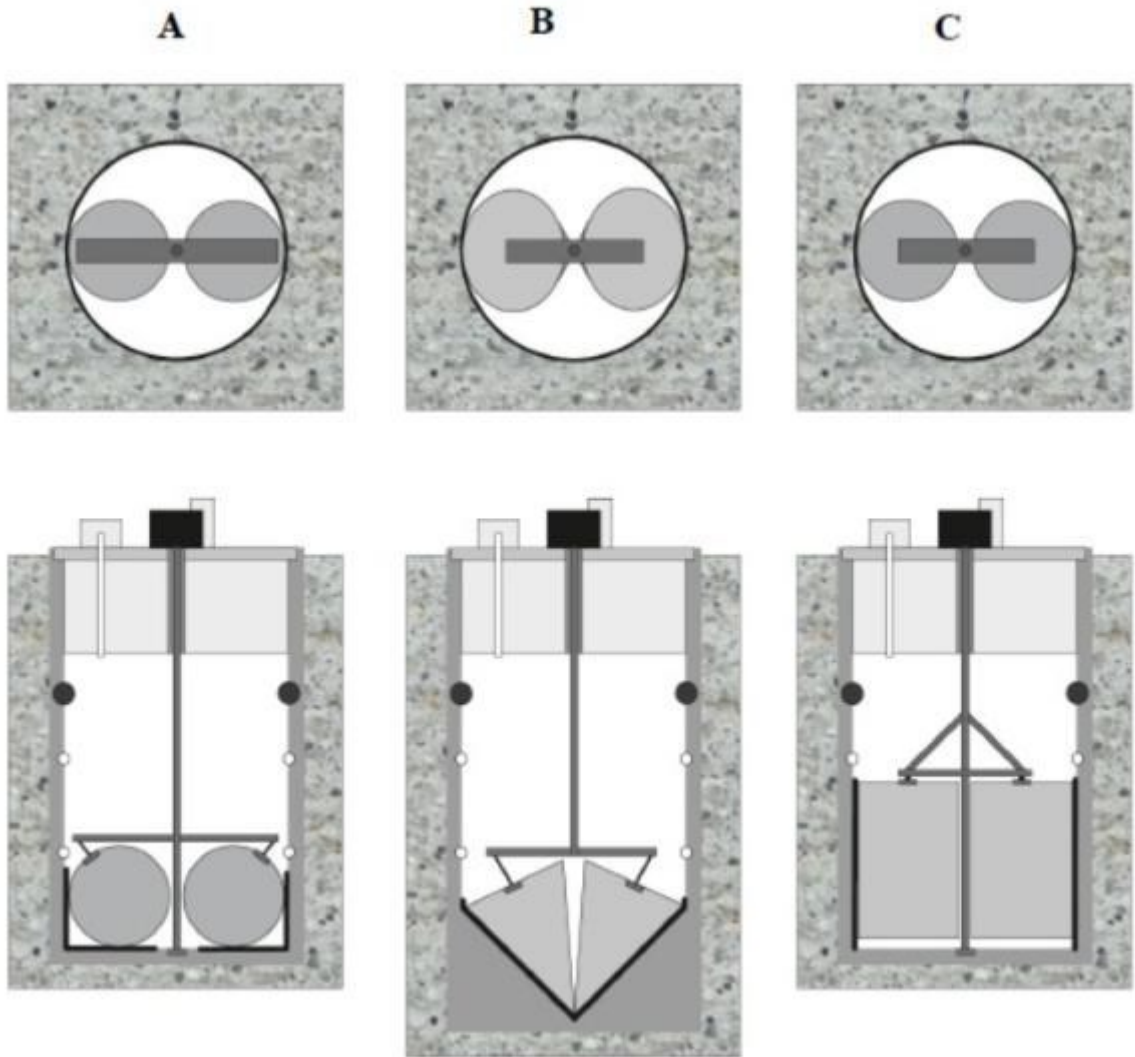


A

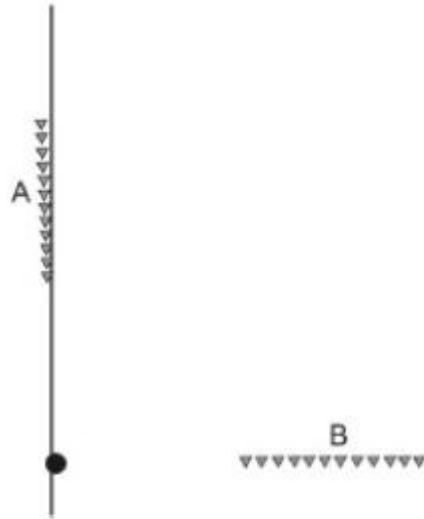


B

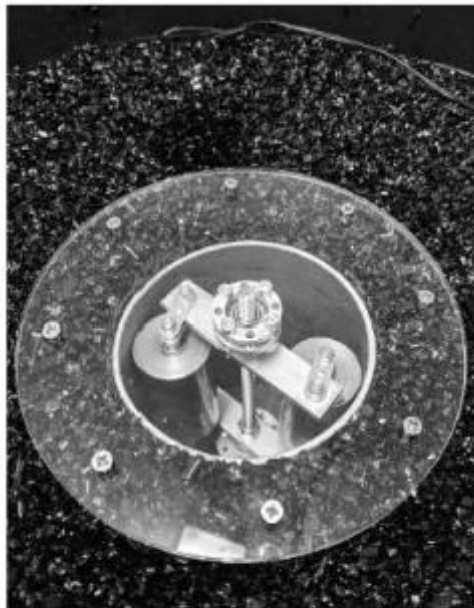
Obr. 1



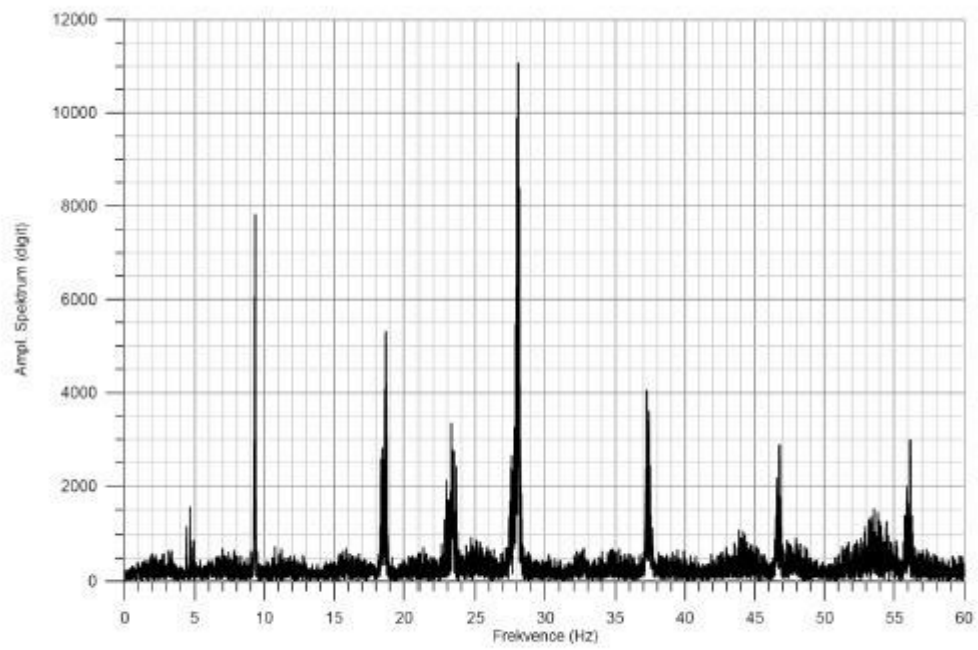
Obr. 2



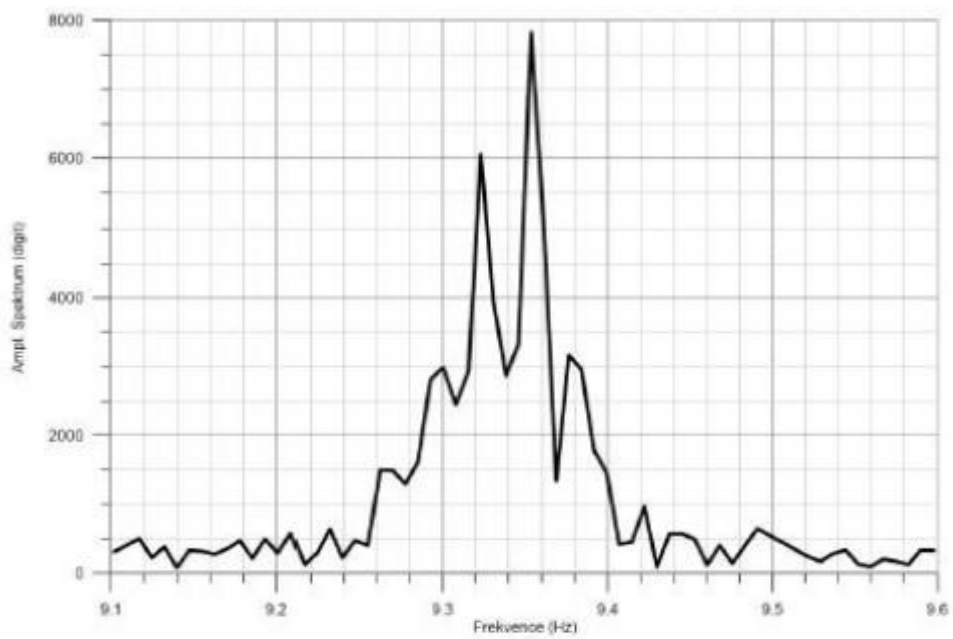
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6