

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 244442 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **435393**

(22) Data zgłoszenia: **2020.09.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.03.28 BUP 13/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.01.29 WUP 05/2024**

(51) MKP:

E21F 17/00 (2006.01)

G01B 21/12 (2006.01)

G01P 15/00 (2006.01)

- (73) Uprawniony z patentu:
**KGHM POLSKA MIEDŹ SPÓŁKA AKCYJNA,
Lubin, PL**
- (72) Twórca(-y) wynalazku:
**MACIEJ MADZIARZ, Krępice, PL
JAN BUTRA, Wrocław, PL
SEWERYN MIGA, Czeladź, PL
PIOTR KWAPULIŃSKI, Katowice, PL**
- (74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Maciej Dylik, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Układ do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych

PL 244442 B1

Opis wynalazku

Niniejszy wynalazek dotyczy dziedziny górnictwa i pozyskiwania informacji o stanie skał stropowych w podziemnych wyrobiskach górniczych, zwłaszcza zabezpieczonych poprzez zastosowanie obudowy kotwowej, w szczególności układów pomiarowych do tego celu.

Podziemne wyrobiska górnicze, a w szczególności ich strop, wymagają zabezpieczenia wykonywanego na wiele różnych sposobów. Jedno ze szczególnie skutecznych i powszechnie stosowanych w sprzyjających warunkach zabezpieczeń stanowią obudowy kotwowe, które właściwie zaprojektowane (dobre) zapewniają wysoki poziom bezpieczeństwa, mogą być montowane w sposób całkowicie zmechanizowany, są łatwiejsze w stosowaniu w stosunku do obudowy podporowej, a w efekcie są również tańsze.

Pomimo wspomnianych zalet, z uwagi na fakt, że zasadnicza część kotew jest zabudowana w górotworze i niedostępna do bezpośredniej obserwacji, współpraca obudowy kotwowej z górotworem i jej stan powinny być nieustannie monitorowane przy pomocy specjalistycznych metod i urządzeń, aby wykrywać potencjalne zagrożenie utraty stateczności wyrobisk w wyniku zachodzących deformacji czy uszkodzeń obudowy.

Ponieważ trudnym, jeśli nie niemożliwym, byłoby nieustanne monitorowanie stanu wszystkich kotew zabudowanych w górotworze w wyrobiskach danej kopalni, opracowuje się inne metody, które umożliwiają kontrolę stanu obudowy kotwowej zabezpieczającej podziemne wyrobisko, w tym pośrednio poprzez ocenę stanu pakietu skotwionych skał.

Jednym z mechanizmów deformacji masywu skalnego, o budowie uwarstwionej, może być pojawianie się wzajemnych, poziomych przemieszczeń warstw skał stropowych (por. Fig. 1), które to przemieszczenia mogą powodować zginanie i ścinanie żerdzi kotew i w efekcie zawały skał stropowych. Wspomniane zjawisko jest szczególnie niebezpieczne na przodkach i przy zrobach rozległych pól eksploatacyjnych, gdzie może dochodzić do znacznych przemieszczeń poziomych odspojonych ławic (por. Fig. 2).

W stanie techniki rozwijają się różnego rodzaju metody monitorowania stanu obudowy kotwowej i występujących w niej kotew, a wśród nich szeroko stosuje się metody tensometrycznego pomiaru wyężenia kotew oprzyrządowanych, którymi to metodami monitoruje się m.in. zjawisko zginania żerdzi kotwy w wyniku deformacji skał stropowych. Jednakże, tego rodzaju pośredni sposób monitorowania deformacji skał stropowych bywa niewystarczający i pożądane byłoby dokonywanie bardziej bezpośredniego pomiaru wzajemnych przemieszczeń warstw skalnych.

Jedną ze znanych w stanie techniki metod pomiaru jest ujawnione w amerykańskim zgłoszeniu patentowym nr US2018279020 zastosowanie akcelerometrów do wykrywania gwałtownych ruchów warstw skalnych. O ile takie rozwiązanie może znacznie pomóc przy potencjalnych nagłych przesunięciach warstw skalnych, to niestety nie nadaje się do zastosowania przy pomiarach bardzo powolnych przesunięć warstw skał stropowych, gdyż wielkości mierzone przez takie czujniki byłyby w granicach błędów pomiarowych akcelerometrów.

Celem wynalazku jest zatem opracowanie układu do pomiaru przemieszczeń skał stropowych, zwłaszcza przemieszczeń poziomych, które z wykorzystaniem akcelerometrów będą w stanie wykrywać nawet bardzo powolne ruchy warstw skalnych. Dzięki opracowaniu takiego wynalazku, możliwe będzie zwiększenie bezpieczeństwa załogi górniczej pracującej pod ziemią, poprzez umożliwienie lepszego wykrywania zmian zachodzących w otoczeniu podziemnych wyrobisk górniczych.

Przedmiotem wynalazku jest układ do pomiaru przemieszczeń warstw skalnych w wyrobiskach górniczych, zwłaszcza do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych, obejmujący:

- przynajmniej jeden czujnik, wyposażony w:
 - wydłużoną obudowę czujnika, do zabudowania w skałach górotworu,
 - zestaw akcelerometrów, umieszczony w obudowie czujnika, do wykrywania przemieszczeń warstw skalnych,
 - układ adresujący, umieszczony w obudowie czujnika,
 - wewnętrzną magistralę adresową, umieszczoną w obudowie czujnika, do komunikowania zestawu akcelerometrów z układem adresującym,
 - wewnętrzną magistralę danych, umieszczoną w obudowie czujnika, połączoną z zewnętrzną magistralą danych, do komunikowania zestawu akcelerometrów i układu adresującego z modułem kontrolnym lub modułem kontrolno-archiwizującym,

- moduł kontrolny lub moduł kontrolno-archiwizujący, połączony kablowo z układem adresującym i wewnętrzną magistralą danych, znajdujący się poza obudową czujnika, skonfigurowany do konfigurowania czujnika, wyzwalania pomiarów przemieszczeń przez czujniki do transmisji danych, a w konfiguracji z modułem kontrolno-archiwizującym – także do archiwizacji danych,
- zewnętrzną magistralę danych, do dwukierunkowej komunikacji komponentów znajdujących się wewnątrz obudowy czujnika z modułem kontrolnym lub modułem kontrolno-archiwizującym,
- moduł zasilania, połączony kablowo z modułem kontrolnym lub modułem kontrolno-archiwizującym i z czujnikiem,
- środki do komunikacji bezprzewodowej,
- rejestrator danych, posiadający środki do komunikacji bezprzewodowej i skonfigurowany do dwukierunkowej komunikacji z jednym lub większą liczbą czujników,
- system informatyczny kopalni, połączony kablowo z jednym lub większą ilością rejestratorów danych,

przy czym obudowa czujnika jest wykonana z materiału elastycznego i zabezpieczającego przed wilgocią, odpornego na uszkodzenia w wyniku deformacji takich jak zginanie i rozciąganie, przy czym zestaw akcelerometrów obejmuje przynajmniej jeden cyfrowy trójosiowy akcelerometr, umieszczony w środkowej części obudowy czujnika.

Korzystnie, zestaw akcelerometrów obejmuje od dwóch do trzydziestu dwóch trójosiowych akcelerometrów, korzystnie od czterech do dwudziestu czterech trójosiowych akcelerometrów, zwłaszcza sześć, osiem, dziesięć, dwanaście, czternaście, szesnaście, osiemnaście, dwadzieścia lub dwadzieścia dwa trójosiowe akcelerometry.

Korzystnie, akcelerometry są rozmieszczone równomiernie wzdłuż długości obudowy czujnika, a w obudowie czujnika umieszczony jest nośnik akcelerometrów wykonany ze sprężystego materiału będącego izolatorem elektrycznym, do pozycjonowania akcelerometrów wewnątrz obudowy czujnika i ograniczania możliwości przemieszczania się akcelerometrów wewnątrz obudowy czujnika.

Korzystnie, nośnik akcelerometrów jest wykonany z materiału o współczynniku sprężystości mniejszym niż współczynniki sprężystości obudowy czujnika oraz skał górotworu, do współpracy z którymi przeznaczony jest dany układ.

Korzystnie, podłączenia modułu zasilania i magistrali danych oraz magistrali adresowej są zamontowane w obudowie czujnika w postaci hermetycznego złącza zamkniętego podczas montażu obudowy czujnika w odwiercie w górotworze.

Korzystnie, obudowa czujnika ma długość od 100 cm do 600 cm, korzystnie od 200 cm do 500 cm, np. 200 cm, 300 cm, 400 cm albo 500 cm.

Korzystnie, obudowa czujnika jest wykonana z materiału wybranego z grupy obejmującej: stal 0H18N9, stal E235, stal E255, stal E355, C45E, C35E, St35.

Korzystnie, nośnik akcelerometrów jest wykonany z materiału wybranego z grupy obejmującej: polimetakrylan metylu, poliwęglan, polistyren wysokoudarowy, poliamid.

Korzystnie, moduł kontrolny lub moduł kontrolno-archiwizujący dodatkowo jest wyposażony w środki do archiwizacji danych, w których przechowywane są wyniki pomiarów dokonanych przez czujnik.

Dzięki zastosowaniu niniejszego wynalazku, możliwy jest pomiar przemieszczeń skał stropowych, zwłaszcza przemieszczeń poziomych, jak również wykrywanie nawet bardzo powolnych ruchów warstw skalnych. Dzięki niniejszemu wynalazkowi, zwiększa się bezpieczeństwo załogi górniczej pracującej pod ziemią, poprzez umożliwienie lepszego wykrywania zmian zachodzących w otoczeniu podziemnych wyrobisk górniczych.

Opis rysunków

Niniejszy wynalazek zostanie teraz bliżej opisany w korzystnych przykładach wykonania i w nawiązaniu do załączonego Rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia schemat zjawiska ścinania żerdzi kotwy w wyniku wzajemnych, poziomych przemieszczeń skał stropowych,

Fig. 2 przedstawia schemat zjawiska ugięcia stropu zabezpieczonego obudową kotwową, przy eksploatacji złoża rud miedzi systemem komorowo-filarowym, w warunkach podziemnych kopalń rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej,

Fig. 3 przedstawia schemat blokowy czujnika do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych,

Fig. 4 przedstawia schemat blokowy urządzenia do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych,

Fig. 5 przedstawia schematycznie system do monitorowania przemieszczeń poziomych skał stropowych,

Fig. 6 przedstawia schematycznie część systemu do monitorowania przemieszczeń poziomych skał stropowych, w wersji z przenośnym rejestratorem danych,

Fig. 7 przedstawia schemat układu akcelerometrów trójosiowych w czujniku do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych, bez obudowy, ze schematycznie zaznaczonymi elementami (zwłaszcza tulejami) dystansowymi przekazującymi przesunięcia górotworu do akcelerometrów,

Fig. 8 przedstawia schematycznie zasadę pomiaru przesunięcia poziomego w kierunku x,

Fig. 9 przedstawia schematycznie stany urządzenia monitorującego przemieszczenia poziome skał stropowych, zaś

Fig. 10 przedstawia schematycznie przykład wykonania czujnika do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych.

Wykaz oznaczeń na Figurach:

g – przyspieszenie grawitacyjne

L – odległość między akcelerometrami

α – kąt odchylenia akcelerometru od kierunku przyspieszenia grawitacyjnego

dx – przemieszczenie w kierunku x

pps – przemieszczenie poziome skał stropowych

A_i – kolejny (i-ty) akcelerometr

1 – czujnik do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych

2 – zestaw akcelerometrów

3, 9 – układ adresujący

4 – magistrala adresowa

5 – wewnętrzna magistrala danych

6 – zewnętrzna magistrala danych

7 – linia zasilająca

8 – moduł kontrolny lub kontrolno-archiwizujący

10 – hermetyczne złącze czteroprzewodowe

11 – nośnik akcelerometrów

12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 – elementy pozycjonujące nośnik akcelerometrów w obudowie

19 – mocowanie nośnika akcelerometrów w jednym z końców obudowy, umożliwiające względny ruch nośnika akcelerometrów w stosunku do obudowy

20 – mocowanie nośnika akcelerometrów w drugim z końców obudowy, na sztywno tj. uniemożliwiające względny ruch nośnika akcelerometrów w stosunku do obudowy

21 – obudowa czujnika

31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 – akcelerometry

Układ do pomiaru przemieszczeń poziomych warstw skalnych, zwłaszcza skał stropowych w podziemnych wyrobiskach górniczych, został przedstawiony w sposób schematyczny na Fig. 5.

Urządzenia monitorujące przemieszczenia poziome są umieszczone w skałach i poprzez wykorzystanie komunikacji radiowej przesyłają wyniki pomiarów do rejestratora lub rejestratorów danych. Komunikacja bezprzewodowa znacznie upraszcza korzystanie z takiego systemu, eliminując konieczność prowadzenia kabli do każdego z urządzeń monitorujących, co przy dużej liczbie urządzeń monitorujących byłoby szczególnie uciążliwe.

Rejestratory danych są z kolei połączone kablowo z infrastrukturą informatyczną kopalni, dla umożliwienia szybkiego i stabilnego przepływu danych/informacji. W skład infrastruktury kopalni mogą wchodzić komputery, służące do przetwarzania zbieranych danych i wspierania użytkowników w ocenie, czy i które wyrobiska w kopalni mogą stwarzać ryzyko wystąpienia zawału, a w których strefach takie ryzyko jest mniejsze. W oparciu o wyniki pomiarów z wielu urządzeń monitorujących, możliwe jest m.in. tworzenie przestrzennych map przesunięć warstw skalnych. Jak to zostało przedstawione na Fig. 5, część komputerów wchodzących w skład infrastruktury informatycznej kopalni może być ze względów bezpieczeństwa blokowana od komunikowania się (czy to kablowo czy bezprzewodowo) z elementami

układu do pomiaru przemieszczeń poziomych warstw skalnych, aby ograniczyć możliwość niepożądanego ingerencji w działanie urządzeń monitorujących czy też w zapisane wyniki pomiarów.

Z kolei na Fig. 6 przedstawiono schemat części układu do pomiaru przemieszczeń poziomych, w którym wykorzystuje się przenośne rejestratory danych. Takie rozwiązanie może być szczególnie przydatne w sytuacji, gdy w danej kopalni lokalnie występują duże przeszkody/zakłócenia dla rozchodzenia się sygnałów radiowych lub lokalnie brak jest infrastruktury informatycznej i konieczne jest zbliżenie się z rejestratorem danych do urządzeń monitorujących aby można było pobrać z nich dane.

Schemat urządzenia monitorującego do pomiaru przemieszczeń poziomych został przedstawiony na Fig. 4, gdzie przedstawione zostały główne elementy takiego urządzenia, tj.

- czujnik 1 z trójosiowymi, zwłaszcza cyfrowymi, akcelerometrami, mający wydłużoną obudowę 21 przeznaczoną do zabudowania w skale,
- moduł kontrolny 8 lub kontrolno-archiwizujący 8, połączony kablowo z czujnikiem 1,
- moduł zasilania, połączony kablowo z modułem kontrolnym 8 lub kontrolno-archiwizującym 8.

Moduł kontrolny 8 jest szczególnie preferowany w zastosowaniach, gdzie możliwa jest stabilna komunikacja bezprzewodowa między urządzeniami monitorującymi a rejestratorami danych tzw. on-line. Z kolei moduł kontrolno-archiwizujący 8, zdolny do przechowywania w swojej pamięci danych dotyczących pracy danego urządzenia monitorującego i realizowanego przez nie pomiarów, jest szczególnie preferowany w zastosowaniach, gdzie zdecydowano się nie konfigurować ciągłej komunikacji bezprzewodowej między urządzeniami monitorującymi a rejestratorami danych tylko zdecydowano się na okresowe zbieranie pomiarów z wykorzystaniem przenośnych rejestratorów danych, z których dopiero potem wyniki pomiarów są przekazywane do informatycznej infrastruktury kopalni do dalszej analizy.

Z kolei na Fig. 3 przedstawiono schemat blokowy wspomnianego czujnika 1, w obudowie 21 którego mieści się zestaw akcelerometrów 2, układ adresujący 3, magistrala adresowa 4, wewnętrzna magistrala danych 5, zewnętrzna magistrala danych 6 i linia zasilająca 7, zabudowane w obudowie 21 czujnika 1, przy czym zewnętrzna magistrala danych 6 i linia zasilająca 7 wychodzą poza obudowę 21 czujnika 1 i są połączone z modułem kontrolnym 8 lub modułem kontrolno-archiwizującym 8. Akcelerometry są rozmieszczone w obudowie 21 czujnika 1 z wykorzystaniem nośnika akcelerometrów 11, którego zadaniem jest utrzymywanie akcelerometrów w danej pozycji w kierunku wzdłużnym obudowy 21 czujnika 1, natomiast elementy pozycjonujące 12-18 nośnik akcelerometrów 11 wewnątrz obudowy 21 czujnika 1 utrzymują nośnik 11 wraz z akcelerometrami w danej pozycji w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku wzdłużnego obudowy 21 czujnika 1 (por. Fig. 7 i Fig. 10). Dzięki zastosowaniu takich środków do pozycjonowania akcelerometrów w obudowie 21 czujnika 1, po zamontowaniu czujnika 1 w skale możliwe jest dokonanie pomiaru początkowego położenia i ustawienia każdego z akcelerometrów w danym czujniku 1.

Wykorzystując znajomość początkowego położenia i ustawienia akcelerometrów, możliwe jest późniejsze dokonywanie pomiarów i w efekcie wykrywanie nawet bardzo powolnych i niewielkich ruchów warstw skalnych, poprzez porównywanie nawet drobnych zmian w wykrytej orientacji każdego z akcelerometrów względem kierunku działania przyspieszenia ziemskiego (por. Fig. 8, gdzie zaprezentowano zasadę pomiaru przesunięć poziomych wykorzystującą orientację akcelerometru w stosunku do kierunku pola grawitacyjnego). Wykorzystując znajomość długości nośnika akcelerometrów 11 oraz długości zabudowanej w skale obudowy 21 czujnika 1 jak i rozmieszczenie akcelerometrów wewnątrz tej obudowy 21 można wykrywać nawet drobne przesunięcia warstw skalnych, a dokładność pomiaru można zwiększać stosując akcelerometry o większej rozdzielczości lub wykonując większą ilość pomiarów a następnie uśredniając wyniki.

W najbardziej podstawowym wariantcie wykonania już jeden akcelerometr może dostarczyć przydatnych informacji na temat przesunięć warstw skalnych, przy czym pojedynczy akcelerometr korzystnie powinien się znajdować w środkowej części obudowy 21 czujnika 1 (patrzac w kierunku wzdłużnym obudowy 21). W bardziej zaawansowanych wariantach, które dostarczają więcej informacji na temat ruchu warstw skalnych, stosuje się większą liczbę rozmieszczonych, korzystnie równomiernie, wzdłuż obudowy 21 czujnika 1 akcelerometrów – np. w wariantcie zobrazowanym na Fig. 7 stosuje się osiem akcelerometrów 31-38. Ilość akcelerometrów może się zmieniać stosownie od danego zastosowania, jednakże najczęściej będzie to ilość od dwóch do trzydziestu dwóch trójosiowych akcelerometrów, korzystnie od czterech do dwudziestu czterech trójosiowych akcelerometrów, zwłaszcza sześć, osiem, dziesięć, dwanaście, czternaście, szesnaście, osiemnaście, dwadzieścia lub dwadzieścia dwa trójosiowe akcelerometry.

Ilość akcelerometrów w niektórych przykładach wykonania jest również częściowo powiązana z długością zastosowanej obudowy 21, gdzie w przypadku szczególnie długiej obudowy 21 czujnika 1 szczególnie korzystne jest zastosowanie większej ilości akcelerometrów. Wspomniana długość czujnika 1 może być w zakresie od 100 cm do 600 cm, korzystnie od 200 cm do 500 cm, np. 200 cm, 300 cm, 400 cm albo 500 cm.

Aby zapewnić ochronę dla umieszczonych w obudowie 21 akcelerometrów, konieczne jest wykonanie obudowy 21 z wytrzymałego materiału, dopasowanego do funkcjonowania w warunkach występujących w kopalniach tj. elastycznego i zabezpieczającego przed wilgocią, odpornego na uszkodzenia w wyniku deformacji takich jak zginanie i rozciąganie. Materiały szczególnie korzystne do zastosowania obejmują stal 0H18N9, stal E235, stal E255, stal E355, C45E, C35E czy też St35.

Aby zapewnić utrzymywanie akcelerometrów w odpowiedniej pozycji w obudowie 21 czujnika 1, nośnik akcelerometrów 11 i elementy pozycjonujące 12-18 powinny być wykonane ze sprężystego materiału będącego izolatorem elektrycznym, korzystnie o współczynniku sprężystości mniejszym niż współczynniki sprężystości obudowy 21 czujnika 1 oraz skał górotworu, do współpracy z którymi przeznaczony jest dany czujnik 1, korzystnie z: polimetakrylanu metylu, poliwęglanu, polistyrenu wysokoudarowego lub poliamidu.

Aby zapewnić bezpieczną pracę komponentów umieszczonych w obudowie 21 czujnika 1, niezbędne jest również ograniczenie możliwości dostawania się wilgoci lub zanieczyszczeń od strony obudowy 21 czujnika 1, która po zamontowaniu znajduje się bliżej korytarza kopalni (lub wręcz wystaje ze skały). Wobec tego, podłączenia modułu zasilania i magistrali danych 6 oraz magistrali adresowej 4 są zamontowane w obudowie 21 czujnika 1 w postaci hermetycznego złącza 10, które zostaje zamknięte podczas montażu obudowy 21 czujnika 1 w odwiercie w górotworze.

Jeżeli zaś chodzi o sposób pomiaru przemieszczeń poziomych warstw skalnych według wynalazku, to wykorzystuje się układ do pomiaru według wynalazku, przy czym można wyróżnić dwie grupy czynności:

- czynności przygotowawcze,
- czynności skutkujące pomiarem przemieszczeń poziomych warstw skalnych w ramach normalnej pracy.

Do czynności przygotowawczych zalicza się:

- a) pierwsze uruchomienie czujnika 1, w tak zwanym trybie serwisowym,
- b) skonfigurowanie czujnika 1, ewentualnie połączone z jego kalibracją, podczas których to czynności zapisuje się w pamięci nieulotnej czujnika 1 kluczowe parametry dla poprawnej pracy danego czujnika 1,
- c) przełączenie czujnika 1 z trybu serwisowego do stanu nieaktywnego 1, stanowiące nieodwracalną czynność zabezpieczającą przez potencjalnymi zmianami, po czym może zostać dodatkowo wyłączone zasilanie czujnika 1,
- d) montaż czujnika 1 w skale górotworu, zwłaszcza w skale stanowiącej strop danej części kopalni,
- e) uruchomienie zamontowanego w stropie czujnika 1 w stanie nieaktywnym 1,
- f) pierwsze pobudzenie zamontowanego w skale czujnika 1 poprzez sygnał z rejestratora danych i przejście czujnika 1 do stanu zerowania czujnika, po którym rejestruje się w pamięci nieulotnej modułu kontrolnego 8 lub kontrolno-archiwizującego 8 wskazania akcelerometrów dla położenia początkowego czujnika.

Po czynnościach przygotowawczych ma miejsce już właściwa praca czujnika 1, która obejmuje:

- g) przejście czujnika 1 do stanu aktywnego, w przypadku gdy czujnik 1 jest w trybie pracy o niskim poborze energii (uśpiony),
- h) przeprowadzenie pomiaru przemieszczeń warstw skalnych z wykorzystaniem zestawu akcelerometrów 2,
- i) przesłanie informacji z czujnika 1 do modułu kontrolnego 8 lub kontrolno-archiwizującego 8 obejmujących dane dotyczące zmierzonego stanu przemieszczeń warstw skalnych,
- j) przesłanie informacji z czujnika 1 do rejestratora danych, obejmujących dane dotyczące zmierzonego stanu przemieszczeń warstw skalnych, identyfikator czujnika 1, wartość napięcia modułu zasilania, czas dokonania pomiaru oraz poprawność działania czujnika 1,
- k) przejście czujnika 1 do trybu pracy o niskim poborze energii.

Stany w jakich może się znajdować urządzenie monitorujące podczas pracy zostały przedstawione w sposób schematyczny na Fig. 9. Po uruchomieniu modułu kontrolnego 8 lub modułu kontrolno-

archiwizującego 8 przechodzi on do stanu serwisowego, w którym jest możliwa pełna jego konfiguracja i ewentualna kalibracja o ile jest ona potrzebna. Wszystkie ustalone w tym stanie parametry są zapisywane w nieulotnej pamięci parametrów. Następnie urządzenie jest przeprowadzane do stanu nieaktywnego 1. Przejście to jest jednokierunkowe i nieodwracalne. Ma to na celu zabezpieczenie przed przypadkowymi zmianami istotnych z punktu widzenia funkcjonowania układu parametrów. Następnie może być wyłączone napięcie zasilania. Dzięki temu urządzenie może być magazynowane przez dłuższy okres czasu bez istotnego wpływu na czas późniejszego funkcjonowania w stanie aktywnym. Po montażu w skale następuje włączenie napięcia zasilania. Po jego włączeniu urządzenie jest w stanie nieaktywnym 1. Przejście modułu kontrolnego 8 lub modułu kontrolno-archiwizującego 8 do stanu aktywnego następuje na żądanie wysłane ze zbiorczego rejestratora danych lub przenośnego rejestratora danych. W trakcie pierwszego przejścia do stanu aktywnego rejestruje się w pamięci nieulotnej modułu kontrolnego 8 lub kontrolno-archiwizującego 8 wskazania akcelerometrów dla położenia początkowego czujnika. Następnie moduł kontrolny autonomicznie przechodzi w zadanych odstępach czasu pomiędzy stanem aktywnym (wykonanie pomiaru i ewentualna komunikacja z rejestratorami danych) i stanem uśpienia (o niskim poborze energii).

Korzystnie, przełącza się urządzenie monitorujące przemieszczenia poziome skał stropowych do stanu nieaktywnego, w którym wykluczone jest ponowne przejście do stanu serwisowego, aby chronić wprowadzone do pamięci nieulotnej mikrokontrolera dane konfiguracyjne i dane kalibracyjne.

Korzystnie, urządzenie monitorujące przemieszczenia poziome skał stropowych po opcjonalnej kalibracji przeprowadza się do stanu nieaktywnego 1 o mniejszym poborze energii. Korzystnie, po zamontowaniu czujnika 1 i modułu kontrolnego 8 lub modułu kontrolno-pomiarowego 8 w kopalni, przeprowadza się wspomniane urządzenie nieodwracalnie do stanu aktywnego. Korzystnie, przejście to jest wyzwalane automatycznie przez zbiorczy rejestrator danych przyporządkowany do danego urządzenia (wersja „on-line”) lub na żądanie za pomocą przenośnego rejestratora danych.

Korzystnie, urządzenie monitorujące podczas pomiarów przemieszczeń autonomicznie przechodzi pomiędzy stanem aktywnym i stanem uśpienia.

Korzystnie, czas przebywania w stanie uśpienia jest dłuższy od czasu przebywania w stanie aktywnym.

Korzystnie, czas przebywania w stanie aktywnym jest ograniczony do czasu wykonania pomiaru, archiwizacji lub transmisji danych.

Korzystnie, czas przebywania w stanie uśpienia ustala się podczas konfiguracji urządzenia monitorującego.

Metoda wykorzystuje unikalne oprogramowanie co powoduje wysoką sprawność energetyczną całego układu kontrolno-pomiarowego co z kolei pozwala na długotrwałą pracę w trybie autonomicznym i śledzenie w sposób ciągły i równoczesny przesunięć względnych górotworu na kilku wybranych głębokościach (mierzone na ośmiu głębokościach). Metoda jest dokładna, albowiem zastosowane rozwiązania pozwalają rejestrować powolne przesunięcia rzędu jednej dziesiątej milimetra w czasie wielu godzin. Aparatura jest wytrzymała ze względu na zaprojektowaną obudowę 21 i elastyczne nośniki 11 akcelerometrów. Obudowa 21 zapewnia łatwy montaż czujnika 1 w standardowym odwiercie kotwowym za pomocą głowicy cementacyjnej co zmniejsza możliwość uszkodzeń w trakcie montażu. Sprawdzono bezawaryjne działanie w czasie normalnego ruchu kopalni.

Skuteczność proponowanej metody monitorowania przemieszczeń poziomych skał stropowych potwierdzona jest wynikami pomiarów wykazującymi nawet bardzo powolne przemieszczenia względem siebie warstw górotworu. Co jest ważne, mierzona jest nie tylko wartość przemieszczenia ale również kierunek i zwrot tego przemieszczenia.

Pomiar przemieszczenia poziomego realizuje się poprzez pomiar orientacji każdego z trójosiowych akcelerometrów z zestawu akcelerometrów 2 w stosunku do kierunku działania przyspieszenia ziemskiego g z uwzględnieniem położenia początkowego każdego z akcelerometrów oraz długości nośnika akcelerometrów 11, jak to zostało opisane w nawiązaniu do Fig. 8.

W przypadku, gdy czujnik 1 danego urządzenia monitorującego jest połączony z modułem kontrolno-archiwizującym 8, wyniki pomiarów z czynności h) zapisuje się w nieulotnej pamięci środków do archiwizacji danych. Co więcej, dane urządzenie monitorujące w niektórych przykładach wykonania jest dodatkowo skonfigurowane do tego, by wyniki pomiarów trójosiowych akcelerometrów przetwarzać cyfrowo w module kontrolno-archiwizującym 8 danego czujnika 1, a do rejestratora przekazywana jest końcowa informacja, dotycząca wartości kierunku i zwrotu przemieszczenia poziomego warstwy skalnej

w sąsiedztwie każdego z akcelerometrów przynależnych do zestawu akcelerometrów 2 w danym czujniku 1.

W niektórych przykładach wykonania, rejestrator danych uruchamia się dopiero po zamontowaniu wszystkich czujników 1 przewidzianych do współpracy z danym rejestratorem, niezależnie od tego, czy jest to rejestrator przenośny czy stacjonarny.

W niektórych przykładach wykonania, z wykorzystaniem środków dostępnych w ramach infrastruktury informatycznej kopalni (zwłaszcza – komputerów) w oparciu o informacje zgromadzone w rejestratorze danych, generuje się przestrzenną mapę przemieszczeń warstw skalnych i dokonuje się oceny, które strefy w kopalni są wyjątkowo narażone na wystąpienie poziomych przemieszczeń warstw skał stropowych i ich wyniku uszkodzenie obudowy kotwowej i zawał stropu.

Powstałe układy do pomiaru przemieszczeń warstw skalnych, wykorzystujące urządzenia monitorujące według wynalazku mają szereg zalet, takich jak:

- układ może pracować autonomicznie w dużym stopniu (w wariancie z przenośnymi rejestratorami) lub praktycznie całkowicie (w wariancie on-line ze stacjonarnymi rejestratorami)
- autonomiczne źródła zasilania (zwłaszcza ogniwa chemiczne różnego typu) niwelują konieczność doprowadzania zasilania do każdego z czujników 1
- zastosowanie wielu akcelerometrów jednej obudowie 21 czujników 1 może dostarczać bardzo precyzyjne wyniki pomiarów
- możliwe jest dokonywanie pomiarów na różnych, z góry określonych głębokościach w głąb warstw skalnych górotworu
- możliwe jest dokonywanie pomiarów na różnych głębokościach w skale w tym samym momencie
- możliwe jest dokonywanie pomiaru w dwóch prostopadłych kierunkach na raz
- możliwe jest dokonywanie pomiaru wektora przemieszczenia obejmującego: wartość, kierunek i zwrot przemieszczenia
- materiał obudowy 21 czujnika 1 przeciwdziała jej klinowaniu się podczas montażu
- dopuszczalne są różnego rodzaju metody montażu czujnika 1 w skale, np. mechanicznie (na wcisk), przy pomocy kleju chemoutwardzalnego lub też przy pomocy cementu
- nośnik akcelerometrów 11 jest zamocowany tak, że jest niewrażliwy na osiowe rozciąganie obudowy 21 czujnika 1, związane z działaniem górotworu, dzięki zamocowaniu jednego z końców nośnika 11 ślizgowo 19
- złącze 10 jest w czujniku 1 chronione przez obudowę 21 przed uszkodzeniami mechanicznymi
- poprzez oznaczenie graficzne na obudowie 21 czujnika 1, można w prosty sposób uniknąć przypadkowego nieprawidłowego ukierunkowania obudowy 21 w skale
- poprzez prostą konfigurację modułu kontrolnego 8 lub kontrolno-archiwizującego 8 możliwe jest rejestrowanie doznanych uszkodzeń czujnika 1, np. odcięcia części czujnika 1 (akcelerometrów) w wyniku dużego przesunięcia warstw skalnych
- poprzez dokonywanie pomiarów z zadanych odstępach czasu, a poza tym utrzymywanie czujnika 1 w trybie uśpionym o niskim poborze energii znacznie przedłuża się czas działania danego czujnika 1 bez konieczności działań serwisowych (np. wymiany baterii)
- w przypadku modułów kontrolno-archiwizujących 8, zastosowanie zegara czasu rzeczywistego umożliwia dokładną archiwizację wyników pomiarów z precyzyjnym stemplem czasowym
- dzięki rejestrowaniu położenia początkowego w pamięci nieulotnej w urządzeniu monitorującym możliwe jest zerowanie wskazań czujnika 1, po jego zabudowie w górotworze
- poprzez zastosowanie jednej pamięci do rejestracji położenia początkowego i parametrów konfiguracyjnych i drugiej pamięci do rejestracji wskazań czujnika 1 unika się możliwości przypadkowej utraty danych dot. położenia początkowego; a także możliwe jest okresowe usunięcie wyłącznie wyników pomiarów, gdy przeznaczona na nie pamięć zaczyna się zapełniać
- dzięki zastosowaniu indywidualnych identyfikatorów dla każdego z czujników 1, możliwa jest współpraca pojedynczego rejestratora danych z wieloma urządzeniami monitorującymi

- podłączenie do kopalnianej struktury informatycznej umożliwia monitorowanie przemieszczeń warstw skalnych w sposób zdalny i ciągły, także z powierzchni
- w przypadku konfiguracji on-line (gdzie występują moduły kontrolne bez pamięci do przechowywania wyników pomiarów czujnika 1) możliwe jest uzupełnianie potencjalnie brakujących informacji dotyczących czasu pomiaru poprzez rejestrator danych w momencie pobierania danych z urządzeń monitorujących.

W jednym z przykładów wykonania, czujnik 1 układu do pomiaru przemieszczeń poziomych został przygotowany w następującej konfiguracji: osiem akcelerometrów 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 – trójosiowych typu MAA8451Q, układ adresujący 9 typu TCA9534A, hermetyczne złącze czteroprzewodowe 10, nośnik akcelerometrów 11, siedem elementów pozycjonujących 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 nośnik akcelerometrów 11 w obudowie 21, ślizgowe mocowanie 19 jednego z końców nośnika akcelerometrów w obudowie 21, sztywne mocowanie 20 nośnika akcelerometrów w obudowie 21, obudowa 21, przy czy wejścia adresowe akcelerometrów połączone są za pomocą magistrali adresowej z układem adresującym. Wszystkie akcelerometry i układ adresujący 9 połączone są z hermetycznym złączem 10 za pomocą magistrali typu I2C oraz przewodów zasilania.

W przypadku konfiguracji z przenośnymi rejestratorami danych, niezbędne jest zapewnienie możliwości pewnego wpływu na stan i działanie urządzeń monitorujących przemieszczenie skał, a zwłaszcza:

- odczyt bieżących danych pomiarowych,
- ustawienie czasu zegara czasu rzeczywistego rejestratora,
- synchronizację czasu modułu kontrolno-archiwizującego 8,
- pobranie zarchiwizowanych danych z modułu kontrolno-archiwizującego 8,
- usunięcie pobranych danych z modułu kontrolno-archiwizującego 8,
- przesłanie danych z rejestratora do komputera stacjonarnego,
- usunięcie pobranych danych z rejestratora.

W przypadku konfiguracji z przenośnymi rejestratorami danych, podczas pobierania danych z modułów kontrolno-archiwizujących 8, pobiera się takie informacje jak:

- informację o miejscu zamontowania (np. nazwa komory funkcyjnej),
- identyfikator urządzenia monitorującego,
- wartość napięcia elementów zasilających w momencie rozpoczęcia pomiaru,
- czas rozpoczęcia pomiaru,
- odstęp czasowy pomiędzy kolejnymi pomiarami,
- wartości przesunięć poziomych w kierunkach x i y na każdej z wybranych głębokości w głąb górotworu.

W przypadku systemu działającego z przenośnym rejestratorem danych dane są archiwizowane w module kontrolno-archiwizującym 8 i na żądanie przekazywane drogą radiową do przenośnego rejestratora danych. Spełnia on wszystkie funkcjonalności zbiorczego rejestratora danych z wyjątkiem ciągłej komunikacji z kopalnianą siecią informatyczną. Dane pobrane na przenośny rejestrator danych mogą być zgrane z niego jako nośnika na odpowiedni komputer kopalniany.

W przypadku konfiguracji on-line ze stacjonarnymi i zbiorczymi rejestratorami danych, zbiorcze rejestratory danych muszą pracować w sposób ciągły ponieważ muszą one odbierać transmitowane asynchronicznie poprzez moduły kontrolne 8 dane z czujników 1 oraz umożliwić komunikację z nimi przez operatora. Zdalna komunikacja wykorzystuje infrastrukturę informatyczną (sieć teleinformatyczną) kopalni. Korzystnie, stosuje się połączenie kablowe zbiorczych rejestratorów z użyciem protokołu http/https i siecią Ethernet danej kopalni. W takiej konfiguracji, komunikacja użytkownika z poszczególnymi urządzeniami monitorującymi może następować z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego i za pośrednictwem stacjonarnych rejestratorów danych (serwerów), umożliwiając następujące działania:

- odczyt bieżących danych pomiarowych (np. odebranych w czasie ostatniej minuty),
- ustawienie czasu zegara czasu rzeczywistego serwera,
- pobranie zarchiwizowanych danych na lokalny komputer,
- usunięcie pobranych danych z serwera.

Korzystnie, pobierane dane przesyłane są w standardowym pliku tekstowym zawierającym kolejno:

- informację o miejscu zamontowania (np. nazwa komory funkcyjnej),
- liczbę urządzeń monitorujących i identyfikatory urządzeń monitorujących,

- wartość napięcia elementów zasilających w momencie rozpoczęcia pomiaru,
- czas rozpoczęcia pomiaru,
- dane pomiarowe.

Korzystnie, stosuje się czujnik 1 przemieszczeń poziomych skał stropowych zamontowany w stropie, który to czujnik 1 połączony jest kablowo z modułem kontrolnym 8 wyposażonym w podzespół do komunikacji radiowej, czujnik 1 mający indywidualny identyfikator sprzętowy do identyfikacji indywidualnego czujnika 1 z wykorzystaniem komunikacji radiowej, który to blok radiowy dostosowany jest do komunikacji radiowej z rejestratorem danych połączonym do kopalnianej sieci informatycznej. W przypadku rejestratorów danych, które spełniają identyczne funkcje a ponadto używają identycznego sprzętu, oprogramowanie różni się w warstwie związanej z przetwarzanymi danymi. Po programowej inicjalizacji warstwy programowej i sprzętowej program rejestratora przechodzi do pętli głównej. W tej pętli przetwarzane są odebrane dane z czujników 1 o ile je odebrano oraz działa serwer http/https. Odbiór danych drogą radiową jest obsługiwany z wykorzystaniem systemu przerwań i buforowania odebranych danych w cyklicznym buforze w pamięci RAM mikrokontrolera. Dzięki temu unika się utraty danych w trakcie trwania długotrwałych operacji związanych z wykonywaniem niektórych funkcji przez serwer http/https. W trakcie przetwarzania danych sprawdzany jest status urządzeń monitorujących. Jeżeli zostanie stwierdzone, że urządzenie jest w stanie nieaktywnym zostanie do niego wysłane polecenie przejścia do stanu aktywnego. W ten sposób nastąpi kolejno automatyczna aktywacja wszystkich urządzeń monitorujących po ich zamontowaniu. Dlatego zbiorcze rejestratory mogą być włączone dopiero po zainstalowaniu urządzeń monitorujących. W przypadku aktywnego stanu urządzenia monitorującego przesłane dane zostaną zarchiwizowane w nieulotnej pamięci w zadanych odstępach czasu np. co jedną minutę. Po przetworzeniu danych spełniane są funkcje serwera http/https. Ze względu na dołączenie serwera do infrastruktury, z której korzysta wielu użytkowników konieczne jest wprowadzenie jego zabezpieczenie przed nieautoryzowanym dostępem. W tym celu zastosowano tak zwaną zapórę ogniową dokonującą filtrowania przychodzących pakietów danych na podstawie zarówno adresów IP jak i adresów MAC. Dzięki temu serwer nawiąże połączenie jedynie z jednym upoważnionym do tego komputerem. Oczywiście ten sam komputer może być autoryzowany do korzystania z kilku serwerów.

Układ do monitorowania przemieszczeń poziomych skał stropowych oraz sposób ciągłego pomiaru przemieszczenia poziomego skał stropowych umożliwiają nieustanne śledzenie zmian przemieszczenia poziomego warstw skał stropowych, w długim okresie czasu, a także rejestrację i przesyłanie danych pomiarowych z wielu czujników 1 monitorujących przemieszczenia poziome skał stropowych, a następnie przetwarzanie uzyskanych wyników pomiarów. Zgodnie z wynalazkiem, w oparciu o historyczne i aktualne dane przemieszczenia poziomego skał stropowych w powiązaniu z ustaloną lokalizacją czujników 1, zestawia się dynamiczną mapę przemieszczenia poziomego skał stropowych ilustrującą miejsca zwiększonych przesunięć górotworu oraz ich zmienności w czasie, co umożliwia wytypowanie obszarów o zwiększonym zagrożeniu wystąpieniem poziomych przemieszczeń warstw skał stropowych, a w ich wyniku uszkodzeniem obudowy kotwowej i zawałem stropu.

Układ określony powyżej stosuje się do pozyskiwania i archiwizacji danych przemieszczenia poziomego warstw skał stropowych w funkcji czasu rzeczywistego, aby generować dynamiczną mapę przemieszczeń. Korzystnie, wygenerowana dynamiczna mapa przemieszczeń poziomych skał stropowych służy do przewidywania lokalizacji wyrobisk kopalni podziemnej o podwyższonym ryzyku zagrożenia katastrofą górniczą. Układ do monitorowania przemieszczeń poziomych skał stropowych posiada możliwość przesyłania drogą radiową i poprzez Ethernet wyników pomiarów, korzystnie też liczby wykonanych pomiarów, w celu archiwizacji i dalszego ich późniejszego przetwarzania i analizy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ do pomiaru przemieszczeń warstw skalnych w wyrobiskach górniczych, zwłaszcza do pomiaru przemieszczeń poziomych skał stropowych, obejmujący:
 - przynajmniej jeden czujnik (1), wyposażony w:
 - wydłużoną obudowę (21) czujnika (1), do zabudowania w skałach górotworu,
 - zestaw akcelerometrów (2), umieszczony w obudowie (21) czujnika (1), do wykrywania przemieszczeń warstw skalnych,
 - układ adresujący (3), umieszczony w obudowie (21) czujnika (1),

- wewnętrzną magistralę adresową (4), umieszczoną w obudowie (21) czujnika (1), do komunikowania zestawu akcelerometrów (2) z układem adresującym (3),
- wewnętrzną magistralę danych (5), umieszczoną w obudowie (21) czujnika (1), połączoną z zewnętrzną magistralą danych (6), do komunikowania zestawu akcelerometrów (2) i układu adresującego (3) z modułem kontrolnym (8) lub modułem kontrolno-archiwizującym (8),
- moduł kontrolny (8) lub moduł kontrolno-archiwizujący (8), połączony kablowo z układem adresującym (3) i wewnętrzną magistralą danych (5), znajdujący się poza obudową (21) czujnika (1), skonfigurowany do konfigurowania czujnika, wyzwalania pomiarów przemieszczeń przez czujnik (1) i do transmisji danych, a w konfiguracji z modułem kontrolno-archiwizującym (8) – także do archiwizacji danych,
- zewnętrzną magistralę danych (6), do dwukierunkowej komunikacji komponentów znajdujących się wewnątrz obudowy (21) czujnika (1) z modułem kontrolnym (8) lub modułem kontrolno-archiwizującym (8),
- moduł zasilania, połączony kablowo z modułem kontrolnym (8) lub modułem kontrolno-archiwizującym (8) i z czujnikiem (1),
- środki do komunikacji bezprzewodowej,
- rejestrator danych, posiadający środki do komunikacji bezprzewodowej i skonfigurowany do dwukierunkowej komunikacji z jednym lub większą liczbą czujników (1),
- system informatyczny kopalni, połączony kablowo z jednym lub większą ilością rejestratorów danych,

przy czym obudowa (21) czujnika (1) jest wykonana z materiału elastycznego i zabezpieczającego przed wilgocią, odpornego na uszkodzenia w wyniku deformacji takich jak zginanie i rozciąganie,

przy czym zestaw akcelerometrów (2) obejmuje przynajmniej jeden cyfrowy trójosiowy akcelerometr, umieszczony w środkowej części obudowy (21) czujnika (1).

2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zestaw akcelerometrów (2) obejmuje od dwóch do trzydziestu dwóch trójosiowych akcelerometrów, korzystnie od czterech do dwudziestu czterech trójosiowych akcelerometrów, zwłaszcza sześć, osiem, dziesięć, dwanaście, czternaście, szesnaście, osiemnaście, dwadzieścia lub dwadzieścia dwa trójosiowe akcelerometry.
3. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że akcelerometry są rozmieszczone równomiernie wzdłuż długości obudowy (21) czujnika (1), a w obudowie (21) czujnika (1) umieszczony jest nośnik akcelerometrów (11) wykonany ze sprężystego materiału będącego izolatorem elektrycznym, do pozycjonowania akcelerometrów wewnątrz obudowy (21) czujnika (1) i ograniczania możliwości przemieszczania się akcelerometrów wewnątrz obudowy (21) czujnika (1).
4. Układ według zastrz. 3, **znamienny tym**, że nośnik akcelerometrów (11) jest wykonany z materiału o współczynniku sprężystości mniejszym niż współczynniki sprężystości obudowy (21) czujnika (1) oraz skał górotworu, do współpracy z którymi przeznaczony jest dany układ.
5. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że podłączenia modułu zasilania i magistrali danych (6) oraz magistrali adresowej (4) są zamontowane w obudowie (21) czujnika (1) w postaci hermetycznego złącza (10) zamkniętego podczas montażu obudowy (21) czujnika (1) w odwiercie w górotworze.
6. Układ według zastrz. 5, **znamienny tym**, że obudowa (21) czujnika (1) ma długość od 100 cm do 600 cm, korzystnie od 200 cm do 500 cm, np. 200 cm, 300 cm, 400 cm albo 500 cm.
7. Układ według zastrz. 6, **znamienny tym**, że obudowa (21) czujnika (1) jest wykonana z materiału wybranego z grupy obejmującej: stal 0H18N9, stal E235, stal E255, stal E355, C45E, C35E, St35.
8. Układ według zastrz. 7, **znamienny tym**, że nośnik akcelerometrów (11) jest wykonany z materiału wybranego z grupy obejmującej: polimetakrylan metylu, poliwęglan, polistyren wysokoudarowy, poliamid.
9. Układ według zastrz. 5, 6, 7 albo 8, **znamienny tym**, że moduł kontrolny (8) lub moduł kontrolno-archiwizujący (8) dodatkowo jest wyposażony w środki do archiwizacji danych, w których przechowywane są wyniki pomiarów dokonanych przez czujnik (1).

Rysunki

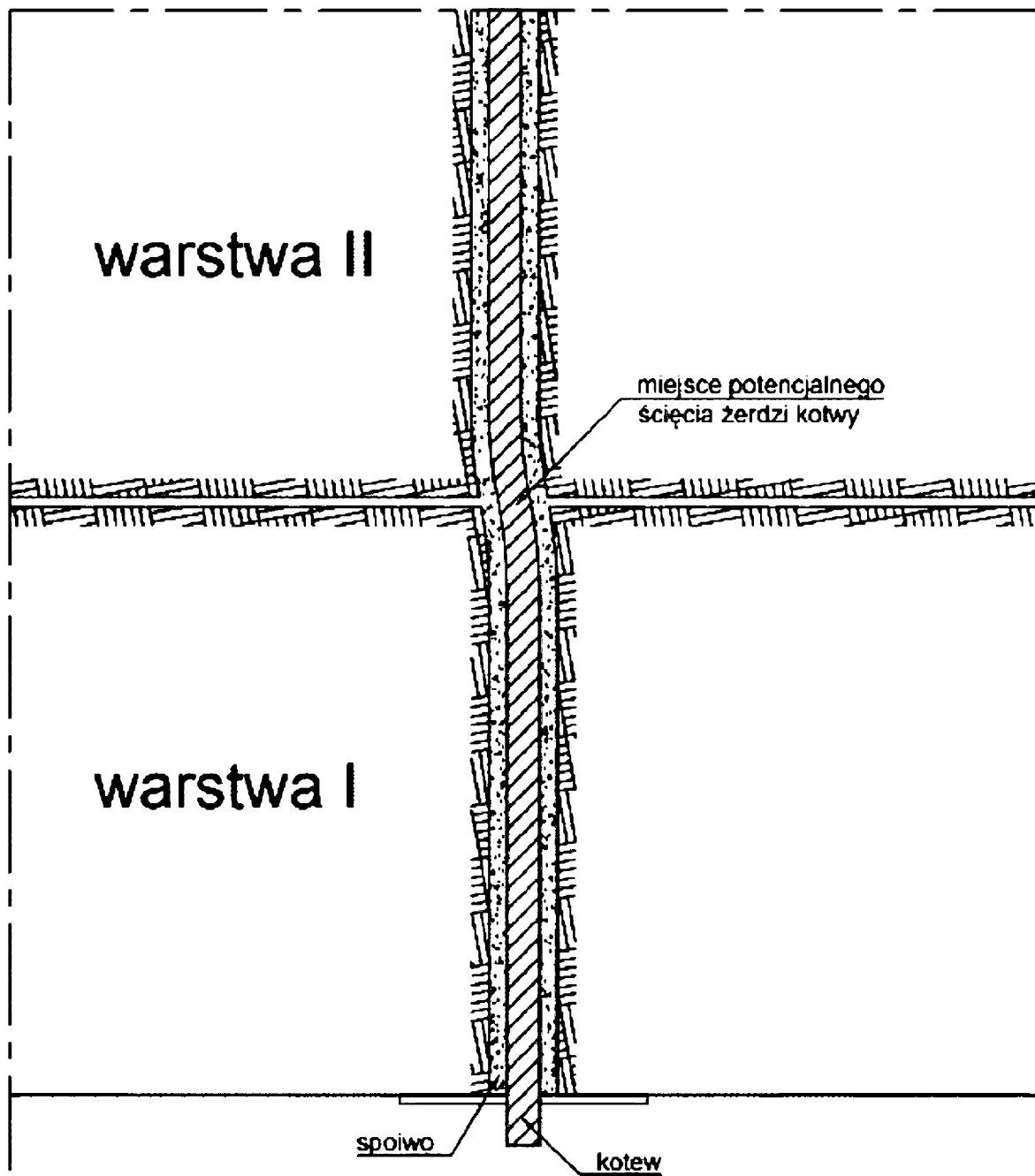


Fig. 1

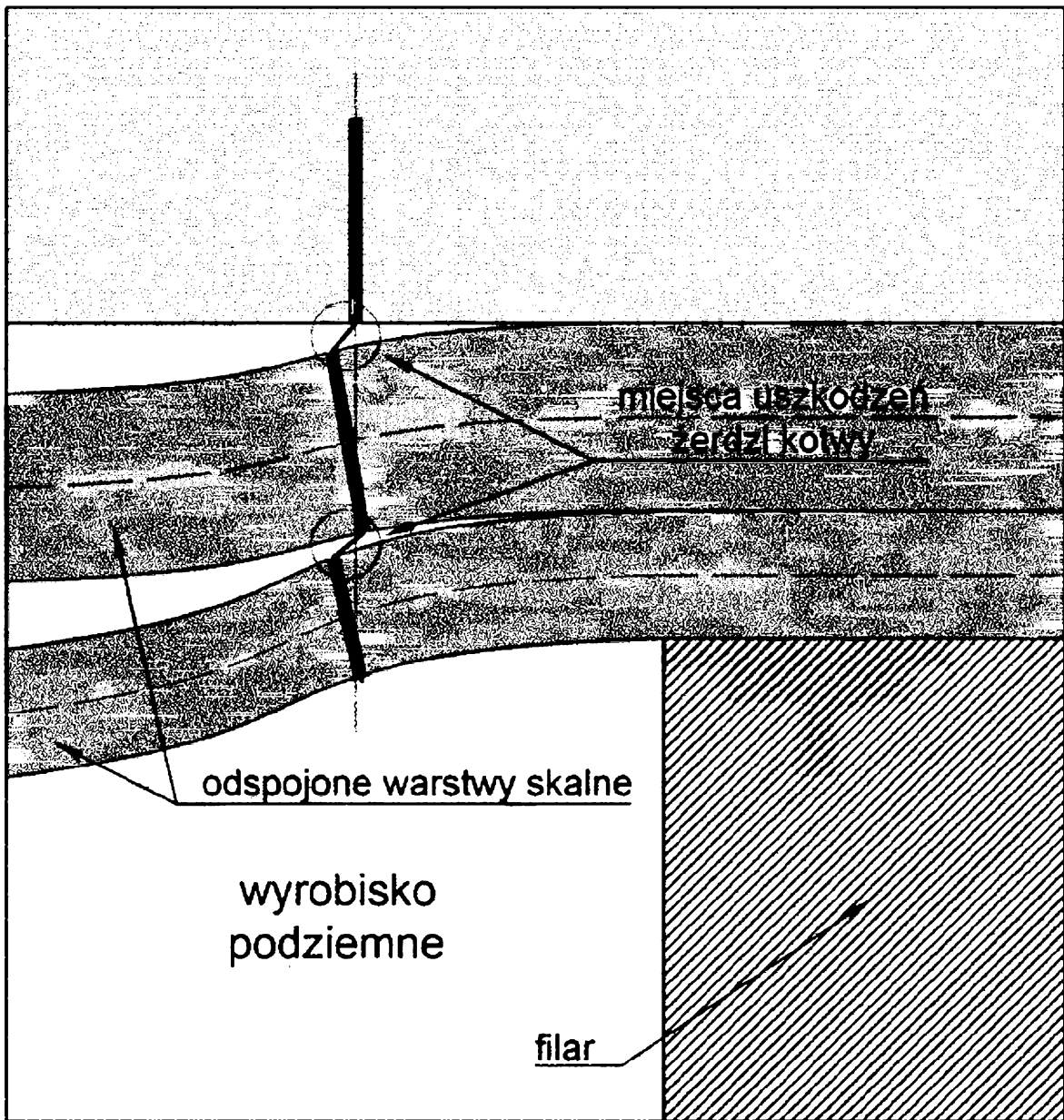


Fig. 2

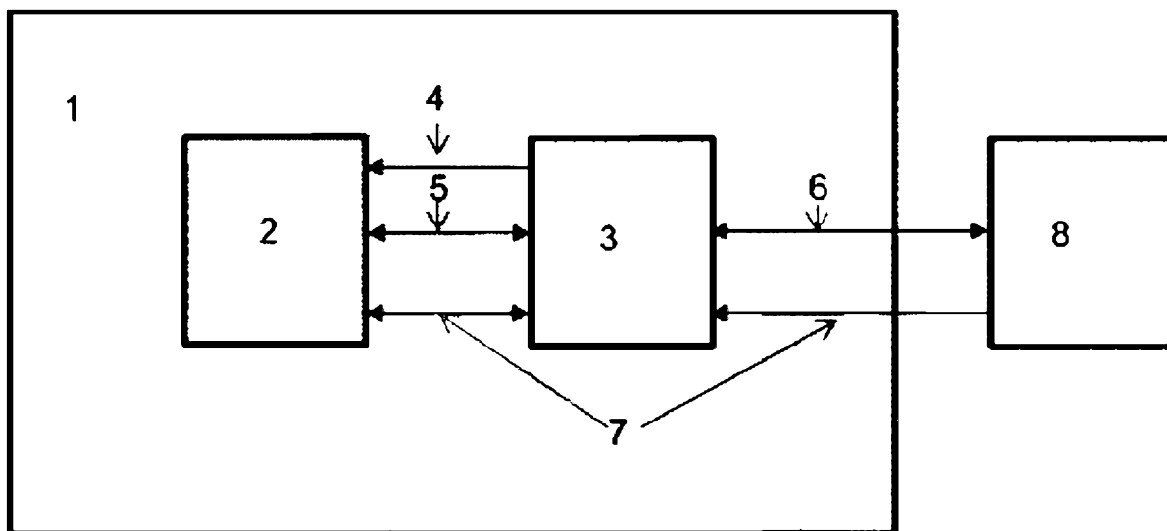


Fig. 3

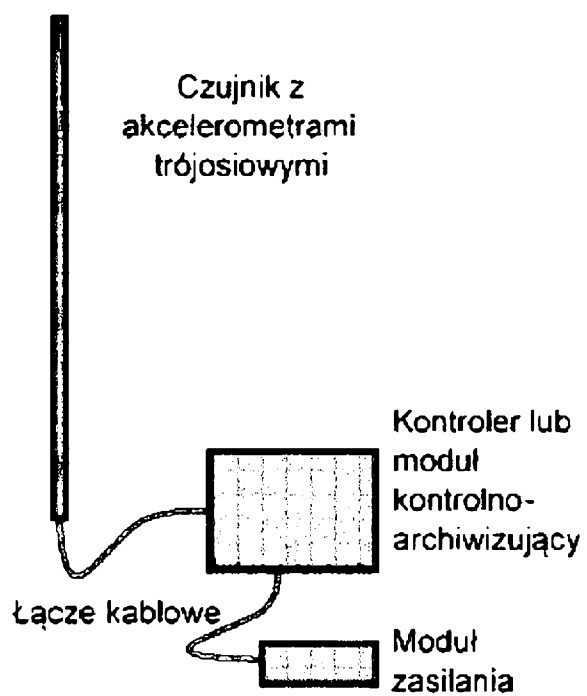


Fig. 4

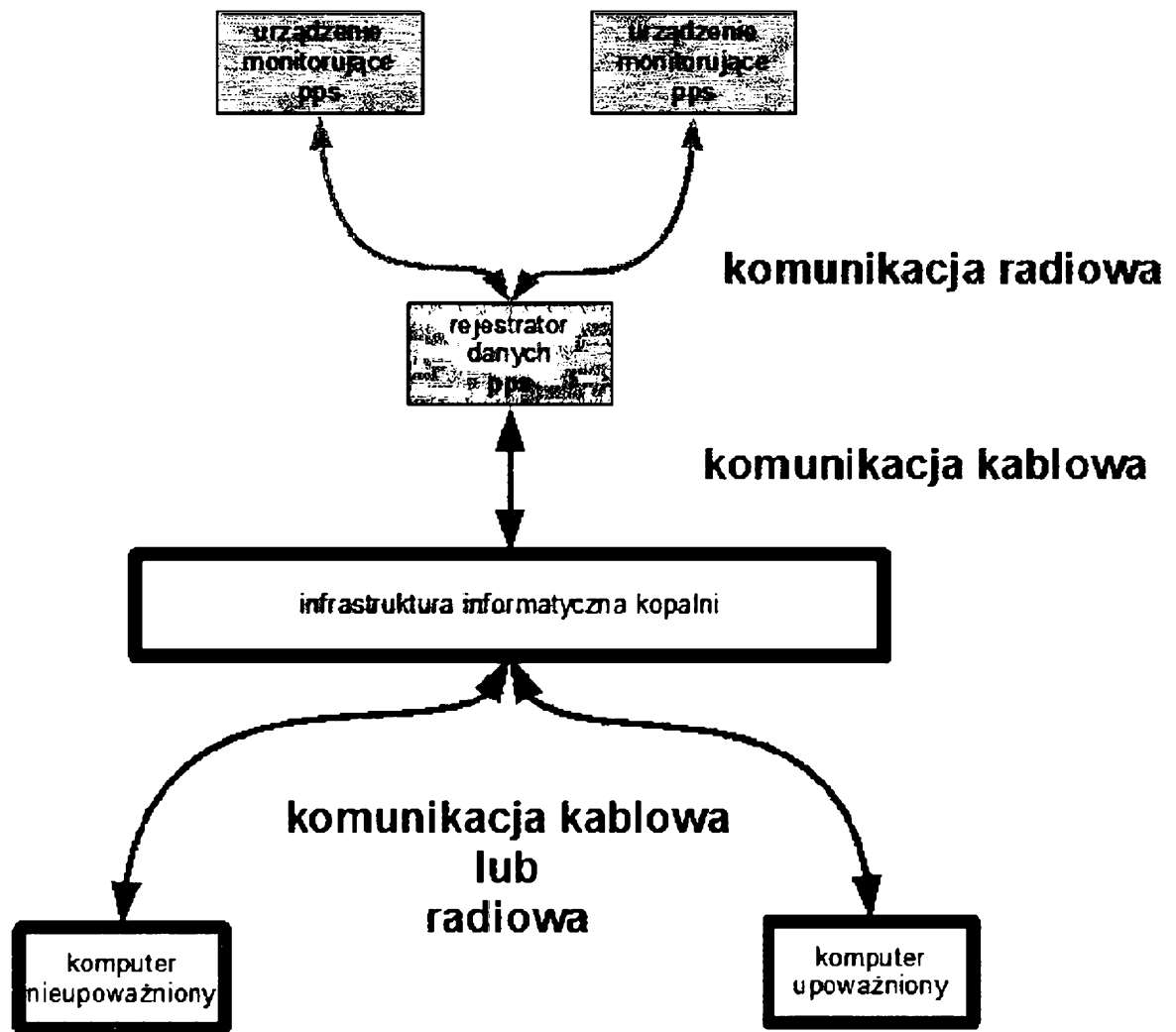


Fig. 5

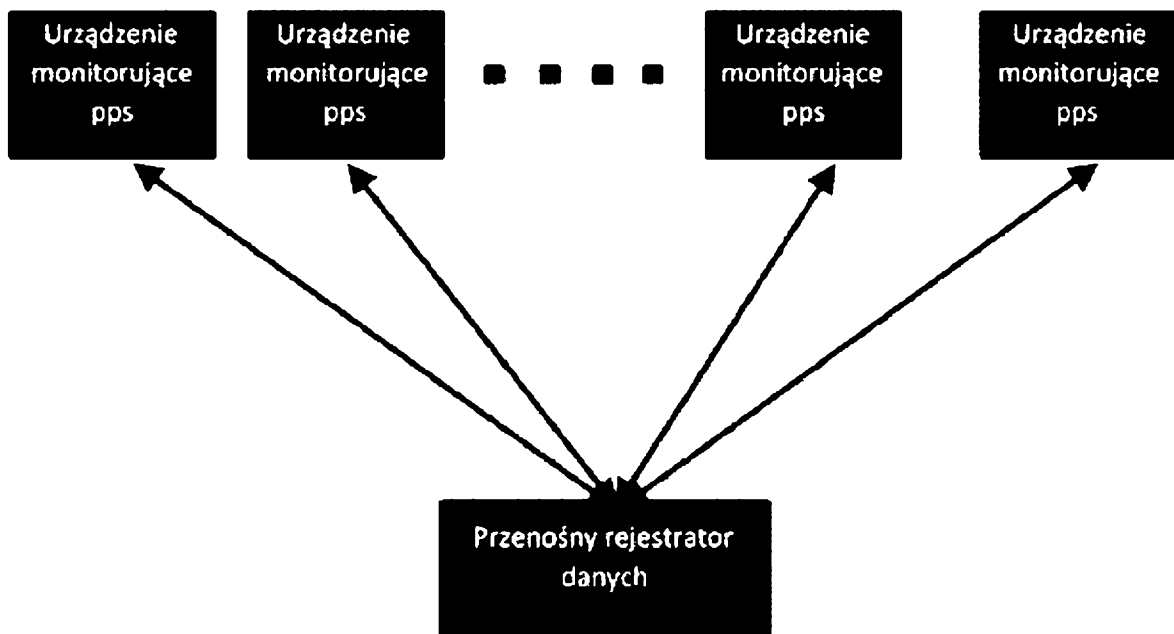


Fig. 6

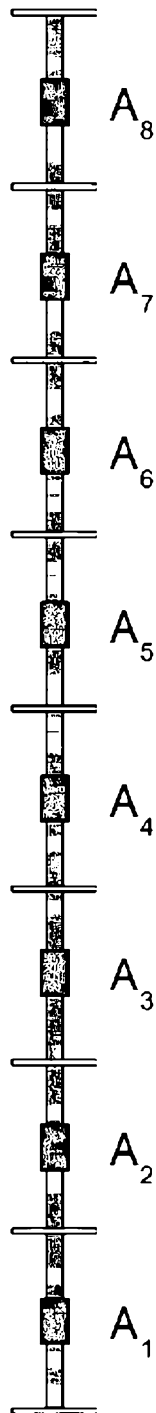
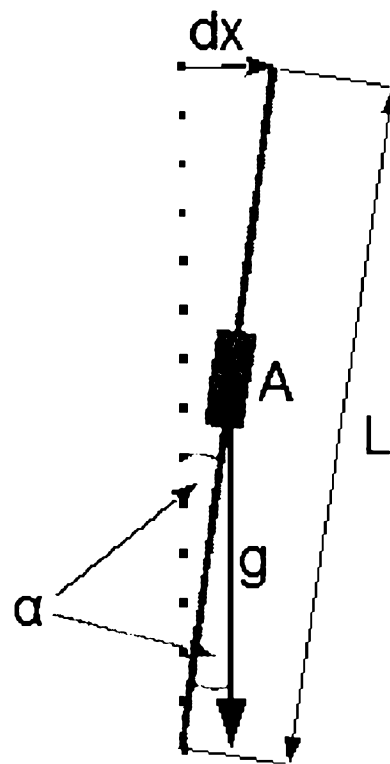


Fig. 7



$$dx = L \sin(\alpha)$$

Fig. 8

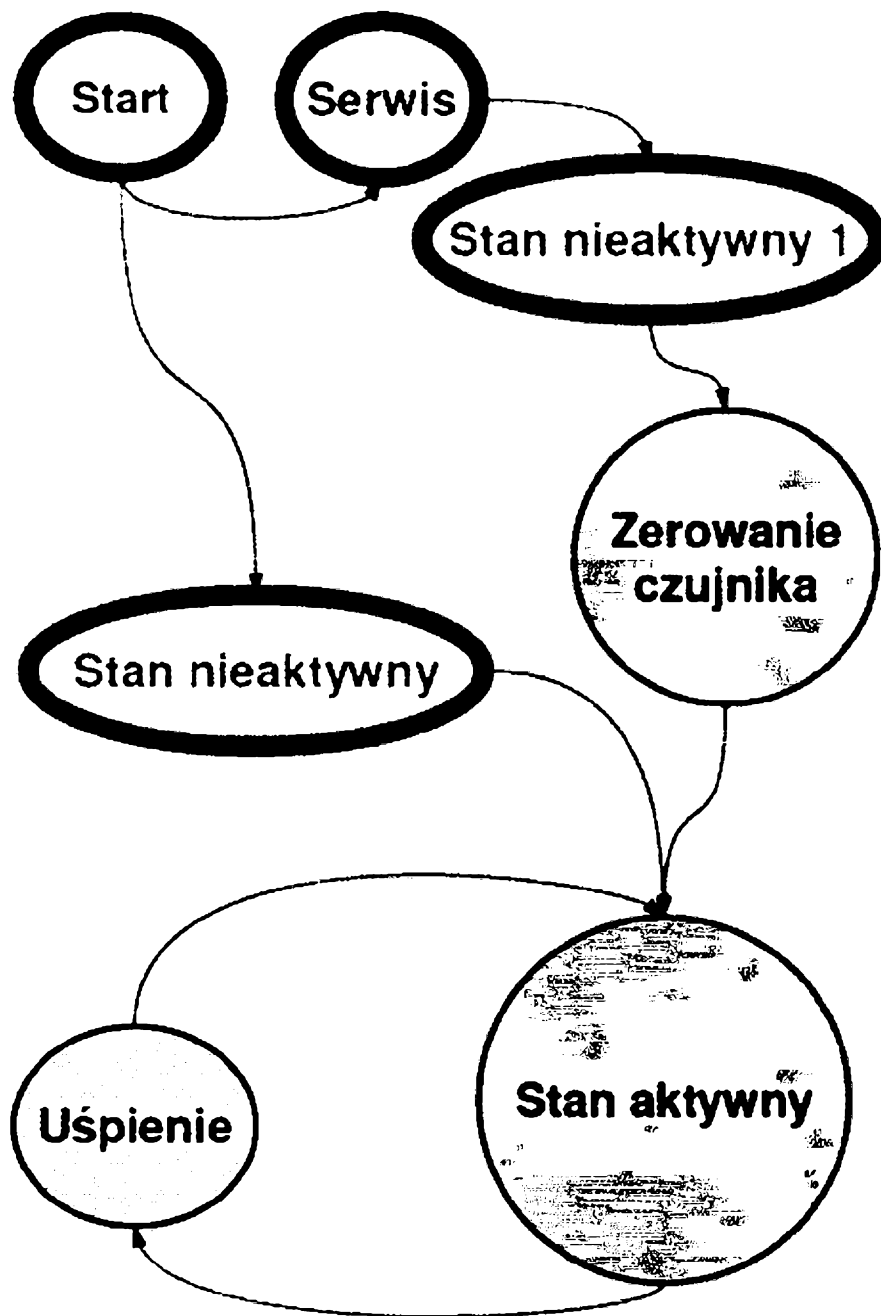


Fig. 9

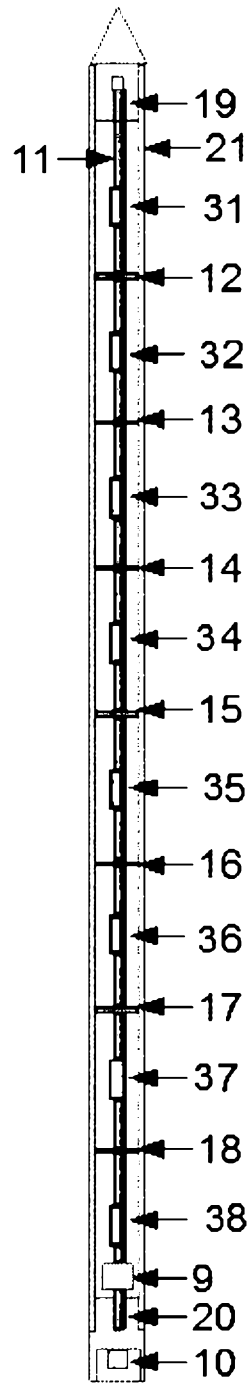


Fig. 10