(19) URZĄD PATENTOWY RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

(10) **PL 248404 B1**

(12) # Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **427284**
(22) Data zgłoszenia: **2018.09.30**
(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2020.04.06 BUP 08/2020**
(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.12.08 WUP 49/2025**

(51) MKP:
E21D 21/02 *(2006.01)*
G01B 21/32 *(2006.01)*

(73) Uprawniony z patentu:
KGHM POLSKA MIEDŹ SPÓŁKA AKCYJNA, Lubin, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:
MACIEJ MADZIARZ, Krępice, PL
SEWERYN MIGA, Czeladź, PL
PIOTR KWAPULIŃSKI, Katowice, PL
JAN BUTRA, Wrocław, PL
RAFAŁ DĘBKOWSKI, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Joanna Czerwik, Lubin, PL

(54) Tytuł:
Czujnik wytężeń dla nieoprzyrządowanej kotwy, zwłaszcza kotwy rozprężnej oraz układ monitorowania wytężeń

PL 248404 B1

Opis wynalazku

Wynalazek dotyczy czujnika wytężeń dla nieoprzyrządowanej kotwy, zwłaszcza kotwy rozprężnej oraz układu monitorowania wytężeń.

W rozwiązaniach zabezpieczeń podziemnych wyrobisk górniczych typowo stosuje się obudowy kotwowe mające kotwy umieszczone w otworach wierconych w górotworze. Kontrolowanie mechanizmu współpracy kotew z górotworem wymaga częstotliwego pozyskiwania danych pomiarowych dotyczących rzeczywistego obciążenia obudowy górniczej, odkształceń, uszkodzeń oraz postępujących deformacji stropu. Ponieważ zasadnicza część kotwy jest niewidoczna i niedostępna do bezpośredniej kontroli, śledzenie stanu obciążenia kotew prowadzi się z użyciem specjalnych przyrządów kontrolno-pomiarowych, na przykład dedykowanych dynamometrów instalowanych przy zabudowie kotew, albo stosując kotwy oprzyrządowane mające wbudowane wzdłuż żerdzi kotwy tensometry oporowe.

Znany jest dynamometr typu GIG-DTK 10 wykorzystujący tensometry oporowe do pomiaru odkształceń konstrukcji. Konstrukcja dynamometru tensometrycznego składa się z cylindrycznego kadłuba, czterech tensometrów oporowych (T1-T4) naklejonych na zewnętrznej powierzchni tulei i połączonych ze sobą w układzie mostka Wheatstone'a oraz aparatury pomiarowej do przetwarzania i rejestracji sygnałów tensometrycznych. Zasadniczym elementem kadłuba dynamometru jest tuleja stalowa nałożona na kotew, która w czasie obrotu nakrętki jest sprężyście odkształcana. Kadłub dynamometru opiera się jedną krawędzią o strop poprzez podkładkę kulistą, a drugą o nakrętkę kotwową. Pod wpływem siły naciągu kotwy cylindryczny kadłub dynamometru ulega deformacji sprężystej, w wyniku której następują odkształcenia wysokości i obwodu tulei. Deformacje te przenoszone są na cztery tensometry oporowe połączone z aparaturą pomiarową (zob. Podgórski K., W., „Obudowa kotwowa wyrobisk górniczych", Wydawnictwo Śląsk, Katowice, 1969).

Opis patentowy PL 86058 ujawnia rozwiązanie konstrukcyjne kotwy badawczej, w której korpusie umieszczone są tensometry, a jego wnętrze wypełnione jest substancją przenoszącą odkształcenia korpusu.

Opis zgłoszeniowy wynalazku US 2012/0227507 ujawnia czujnik do pomiaru obciążenia obudowy kotwowej składający się z tensometrów oporowych. Na podstawie wartości modułu sprężystości stali, z której został wykonany łącznik wkręcany na żerdź, wielkości przekroju poprzecznego oraz odkształcenia, oblicza się osiową siłę rozciągającą w żerdzi kotwy rozprężnej.

Opis patentowy PL 224792 ujawnia podkładkę do pomiaru i monitoringu siły naciągu kotwi górniczych, posiadającą zintegrowany tensometryczny czujnik siły, w kształcie wydrążonego walca z naklejonymi tensometrami, umieszczonego w osłonie.

Z opisu patentowego PL 171409 znany jest układ do monitoringu, który zawiera komputer (KP), którego dwukierunkowy interfejs (IF) poprzez dwukierunkowy układ optoizolacji (UO) sprzęgnięty jest z układem dopasowania linii (UDL), który zasilany jest z zasilacza powierzchniowego (ZP). Układ dopasowania linii (UDL) jest połączony poprzez linię telefoniczną (KLT) z układem rozgałęziającym (UR), który jest zasilany z zasilacza dołowego (ZD) i posiada N przyłączy (P1...PN), do każdego z których jest dołączona linia transmisji danych (LTR1...LTRN) oraz linia zasilania (LZ1...LZN) układów kotwy. Do każdej z linii jest dołączonych od 1 do k układów kotwy (UK11...UKkNN), przy czym każdy z nich zawiera żerdź kotwy, wklejaną w górotwór stropowy, na której wzdłuż jej długości naklejone są tensometry połączone w mostki (T1...TL), w których wyjścia oraz wyjście układu kalibracji (KAL) włączane są sterowanym układem przełączającym (UP) w obwód sprzężenia zwrotnego modulatora częstotliwości (MCz), zasilanego z zasilacza modulatora (ZM), załączonego mikrosterownikiem (MS). Wyjście modulatora częstotliwości (MCz) połączone jest z układem kalibracji (KAL) oraz z wejściami mostków tensometrycznych (T1...TL) i mikrosterownikiem (MS), który jest również połączony z układem przełączającym (UP), a poprzez dwukierunkowy układ optoizolacji układu kotwy (UOUK) jest także połączony z linią transmisji danych (LTR1...LTRN) i zasilany jest z układu zasilania głównego (ZG), który połączony jest z linią zasilania (LZ1...LZN) układów kotwy oraz z zasilaczem modulatora (ZM).

Opis zgłoszeniowy wynalazku US2008085161 ujawnia system monitorowania i dokumentowania instalacji co najmniej jednej kotwy wzmacniającej skałę w tunelu lub kopalni, w którym informacje związane z instalacją kotew są przechowywane i związane z identyfikacją kotwy. Informacje są rozróżniane za pomocą środków do rejestrowania co najmniej jednego parametru związanego z instalacją śruby i środków do przechowywania odpowiednich danych parametrów instalacji w odpowiedniej pamięci oraz środków do rejestrowania pozycji instalacji i środków do przechowywania odpowiedniej instalacji danych

pozycji w powiązanej pamięci. Wynalazek dotyczy również sposobu monitorowania i dokumentowania instalacji.

Zgłoszenie patentowe WO9639610 opisuje system do monitorowania korpusu ziemnego i/lub skalnego zawierający wiele czujników oddalonych od siebie na powierzchni korpusu w celu dostarczania odpowiednich pierwszych sygnałów wskazujących na przemieszczenie powierzchni w stosunku do korpusu. Wiele interfejsów jest odpowiednio powiązanych czujnikami do odbierania pierwszych sygnałów i wytwarzania drugich sygnałów pochodzących z pierwszych sygnałów. Środki sterujące oddalone od interfejsów i kolejno uruchamiające je, dostarczają drugie sygnały do środków sterujących.

Chiński wzór użytkowy CN202883017U ujawnia system monitorowania online i wstępnego ostrzegania o naprężeniu kabla kotwiącego w kopalni węgla i należy do dziedziny monitorowania online i ostrzegania wstępnego o warunkach podparcia kabla kotwiącego w kopalni węgla. System monitorowania i ostrzegania w trybie online obejmuje czujnik ciśnienia, jednostkę gromadzenia danych, główny odbiornik danych i główny komputer, przy czym czujnik ciśnienia jest zamontowany na kluczowym kablu kotwowym i służy do uzyskiwania stanu naprężenia liny kotwiczącej, jednostka akwizycji danych jest połączona z czujnikiem ciśnienia, odbiornik danych podstawowych jest połączony z jednostką akwizycji danych, a komputer główny jest połączony z odbiornikiem danych głównych. Czujnik ciśnienia jest połączony z jednostką akwizycji danych za pomocą linii danych, jednostka akwizycji danych jest połączona z naziemnym komputerem głównym po zebraniu danych do odbiornika danych głównych, a wyniki przetwarzania danych są uzyskiwane przez oprogramowanie do analizy danych, aby zdecydować, czy należy wysyłać krótkie wiadomości z ostrzeżeniem lub nie.

Dokument AU2013200898A1 opisuje tuleję na kotwicę linową, która ma strefę osłabienia, która odkształca się przy określonym obciążeniu ściskającym, oraz etykietę RFID, która jest przymocowana do plastikowej taśmy, która jest sprzęgnięta ze strefą osłabienia.

Wzór użytkowy CN203239395U ujawnia inteligentny system wczesnego ostrzegania i monitorowania pręta kotwiącego dla jezdni otaczającej katastrofę skalną. System składa się z ruchomego, stałego połączonego inteligentnego zestawu prętów kotwiących wczesnego ostrzegania, pojedynczego mikrokomputerowego terminala wczesnego ostrzegania, głównej maszyny monitorującej i górnego komputera, przy czym ruchomy, stały połączony inteligentny zestaw prętów kotwiących wczesnego ostrzegania może zapewnić wydajność funkcji wspierającej dostosowującej się do cech charakterystycznych dla dużego naprężenia gruntu. Inteligentny system wczesnego ostrzegania i monitorowania prętów kotwiących może wcześnie ostrzegać i kompleksowo monitorować jezdnię otaczającą katastrofę skalną w bliskiej odległości i na odległość, ma niezawodną funkcję regulacji wspomagającej, a jego zaletami jest to, że jest silny w trafności, bezpieczny i niezawodny, o wysokim stopniu automatyzacji, zdolny do monitorowania danych w czasie rzeczywistym i szeroki zakres zastosowań.

Wzór użytkowy o nr CN203572600U ujawnia system wczesnego ostrzegania monitorujący naprężenia otaczającej skały, w oparciu o słupy kotwiące monitorujące typu slip-casting o pełnej długości i podziemną podstację przetwarzania zawierającą przewodowy kolektor danych naprężeń, centrum sterowania przetwarzaniem gromadzenia danych i wzmacniacz sygnału, które są połączone sekwencyjnie. Zgodnie z systemem wczesnego ostrzegania monitorującego naprężenia otaczającej skały, dodatkowy pomiar poprzez ponowne wiercenie nie jest wymagany, wielofunkcyjne słupy kotwiące mają już funkcję pomiaru naprężeń, dzięki czemu oszczędza się siłę roboczą i zasoby materiałowe, materiały i urządzenia.

Dokument CN203669903U przedstawia wzór użytkowy ujawniający pręt kotwiący zdolny do monitorowania siły wstępnego napinania w czasie rzeczywistym, dotyczy urządzenia do pomiaru siły wstępnego napinania pręta kotwiącego za pomocą inteligentnego siłomierza i należy do dziedziny bezpieczeństwa w kopalniach. Inteligentny siłomierz w pręcie kotwiącym służy do pomiaru kształtu pręta kotwiącego po naprężeniu i odkształceniu pręta kotwiącego, aby wyliczyć siłę wstępnego naprężenia pręta kotwiącego i poprawić współczynnik bezpieczeństwa podparcia jezdni.

Zgłoszenie patentowe CN104612733A przedstawia urządzenie do monitorowania pręta kotwiącego zawierające urządzenie do wykrywania naprężenia, urządzenie komunikacyjne i urządzenie końcowe, przy czym urządzenie do wykrywania naprężenia jest elektrycznie połączone z urządzeniem komunikacyjnym i służy do uzyskiwania danych naprężenia pręta kotwiącego w ustalonym czasie i wysyłania danych naprężenia do urządzenie końcowego za pośrednictwem urządzenia komunikacyjnego. Urządzenie końcowe jest połączone z urządzeniem komunikacyjnym w sposób przewodowy lub bezprzewodowy i jest używane do odbierania danych dotyczących sprężania i wysyłania informacji ostrzegawczych, gdy dane dotyczące sprężania znajdą się poza ustalonym zakresem. Urządzenie wykrywające naprężenie automatycznie uzyskuje dane naprężenia pręta kotwiącego. Ponieważ dane o naprężeniu wstępnym są

uzyskiwane za każdym razem, nie jest potrzebne ręczne wykrywanie betonu wymagane w stanie techniki, a skuteczność wykrywania jest poprawiona.

Obecnie najczęściej pomiary zmian obciążenia kotew wykonuje się z zastosowaniem kotew oprzyrządowanych (tj. kotew mających tensometry osadzone wzdłuż żerdzi wprowadzonej w górotwór), przy czym odczyty pomiarów mają charakter wizytacyjny. Ogranicza to możliwość dokonywania precyzyjnej analizy szybkości rejestrowanych zmian obciążenia kotew (zmiany płynne czy skokowe, korelacja z występowaniem dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu), która może dostarczać istotne dane dotyczące prawidłowości dokonanego doboru obudowy, poprawności jej współpracy z górotworem i jakości zabezpieczenia wyrobiska.

W przypadku już osadzonych, a nadal pozostających w użyciu kotew nieoprzyrządowanych, pomiary jakichkolwiek zmian obciążenia kotew są możliwe jedynie z zastosowaniem czujników adaptowanych do osadzenia na zakończeniu kotwy wystającym poza obręb górotworu. Ponieważ monitorowanie stanu wytężenia kotew i jego zmian w dłuższym okresie czasowym dostarcza informacje dotyczące skuteczności kotwienia oraz mechanizmu współpracy kotew z górotworem, a zatem i o deformacji stropu, wyposażanie kotew w urządzenia pomiarowe kontrolujące częstotliwie poziom wytężeń i udostępniające wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym przyczyniłoby się do znacznego ograniczenia zagrożenia zawałowego w podziemnych wyrobiskach górniczych kopalni.

Celem wynalazku jest dostarczenie czujnika wytężeń dla nieoprzyrządowanej kotwy, zwłaszcza kotwy rozprężnej, oraz układu monitorowania wytężeń, które to rozwiązania umożliwiają bezinwazyjną kontrolę stanu obudowy kotwowej, w wykonaniu dostosowanym do użytkowania w warunkach wyrobiska kopalni podziemnej.

Czujnik wytężeń dla nieoprzyrządowanej kotwy górniczej, zwłaszcza kotwy rozprężnej, mający co najmniej jeden tensometr oraz zespół pomiarowy do przetwarzania i rejestracji sygnałów tensometrycznych, według wynalazku charakteryzuje się tym, że czujnik wytężeń jest przeznaczony do zamontowania w zespole przystropowym kotwy uprzednio osadzonej w górotworze i jest wyposażony w mostek tensometryczny mający cztery tensometry oporowe w układzie Wheatstone'a, połączony z przetwornikiem analogowo-cyfrowym mającym wejście różnicowe i różnicowe wejście napięciowe odniesienia, a ponadto czujnik jest wyposażony w mikrokontroler mający pamięć nieulotną, pamięć ulotną i interfejs do komunikacji z przetwornikiem analogowo-cyfrowym, oraz jest wyposażony w zegar czasu rzeczywistego, zewnętrzną pamięć nieulotną do archiwizacji danych pomiarowych, oraz jest połączony ze źródłem energii elektrycznej o w przybliżeniu stałym napięciu. Korzystnie, czujnik jest wyposażony w podzespół do komunikacji radiowej mający indywidualny identyfikator sprzętowy do identyfikacji czujnika wytężeń z wykorzystaniem komunikacji radiowej. Jest wyposażony także w sygnalizator optyczny identyfikujący optycznie w czasie rzeczywistym przekroczenie wielkości naprężenia górotworu powyżej zadanej wartości, przekroczenie wielkości naprężenia górotworu poniżej zadanej wartości i/lub przekroczenie szybkości przyrostu naprężenia powyżej zadanej wartości. W szczególności, sygnalizatorem optycznym jest dioda LED zdolna do emisji światła o różnych barwach, albo zespół diod LED obejmujący co najmniej dwie diody LED, z których każda jest zdolna do emisji światła o jednej barwie, przy czym barwy światła przyporządkowane do poszczególnych diod LED w zespole są różne.

Korzystnie, zegar czasu rzeczywistego stanowi element wbudowany w mikrokontroler, ale zdolny do aktywnego funkcjonowania w stanie uśpienia mikrokontrolera. Ewentualnie, zegar czasu rzeczywistego stanowi element zewnętrzny względem mikrokontrolera.

Korzystnie, zewnętrzną pamięcią nieulotną jest pamięć ferroelektryczna.

Korzystnie, pamięć nieulotna mikrokontrolera obejmuje pamięć nieulotną programu i pamięć nieulotną parametrów.

Korzystnie, źródłem energii elektrycznej o w przybliżeniu stałym napięciu jest chemiczne źródło energii elektrycznej, takie jak bateria albo akumulator. W szczególności, czujnik wytężeń jest zabudowany w hermetycznej i odpornej na uszkodzenia mechaniczne obudowie dostosowanej do zamocowania w zespole przystropowym kotwy.

Układ ciągłego monitorowania zmian wytężeń obudowy kotwowej mającej liczne nieoprzyrządowane kotwy górnicze osadzone w górotworze, według wynalazku charakteryzuje się tym, że obejmuje przyporządkowane indywidualnie do każdej kotwy i osadzone w zespole przystropowym kotwy czujniki wytężeń określone powyżej, oraz obejmuje przenośny moduł nadawczo-odbiorczy zawierający mikrokontroler jednoukładowy do sterowania blokiem radiowym, który to blok radiowy dostosowany jest do komunikacji radiowej z podzespołem do komunikacji radiowej czujnika wytężeń, a ponadto przeno-

śny moduł nadawczo-odbiorczy jest wyposażony w wymienną, masową pamięć nieulotną oraz połączony z mikrokontrolerem wyświetlacz i zestaw przełączników sterujących do dwukierunkowej komunikacji przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego z operatorem, a także źródło energii elektrycznej o w przybliżeniu stałym napięciu. Korzystnie, przenośny moduł nadawczo-odbiorczy jest wyposażony w interfejs USB do transferu zarchiwizowanych danych pobranych z czujników wytężeń, do komputera klasy PC, aby trwale zapamiętać i zarchiwizować dane pobrane z czujników wytężeń, a źródłem energii elektrycznej o w przybliżeniu stałym napięciu w przenośnym module nadawczo-odbiorczym jest chemiczne źródło energii elektrycznej, takie jak bateria albo akumulator.

Układ określony powyżej stosuje się do pozyskiwania i archiwizacji danych naprężenia górotworu w funkcji czasu rzeczywistego, aby generować dynamiczną mapę naprężenia górotworu. Korzystnie, wygenerowana dynamiczna mapa naprężenia górotworu służy do przewidywania lokalizacji w wyrobisku kopalni podziemnej o podwyższonym ryzyku zagrożenia katastrofą górniczą.

Czujnik wytężeń według wynalazku może być instalowany na uprzednio wbudowanych kotwach, bez ingerencji w mocowanie kotwy, i zapewnia ciągłe monitorowanie zmian obciążenia kotew, w długim okresie czasu (wielomiesięcznym), zabudowanych w zespole przystropowym kotew o zamocowaniu mechanicznym (takich jak kotwy rozprężne i kotwy wklejane). Czujnik w czytelny sposób autonomicznie sygnalizuje aktualne stany obudowy wyrobiska, takie jak stan normalnej pracy, zagrożenia lub alarmowy. Ponadto posiada możliwość archiwizacji i przesyłania drogą radiową wyników pomiarów, w celu dalszego ich późniejszego przetwarzania i analizy – celem doskonalenia metod doboru i rozwiązań systemów obudowy kotwowej. Układ monitorowania wytężeń umożliwia nieustanne śledzenie zmian obciążenia kotew, w długim okresie czasu (do jednego roku), a także rejestrację i przesyłanie danych pomiarowych z wielu czujników, a następnie przetwarzanie uzyskanych wyników pomiarów. Zgodnie z wynalazkiem, w oparciu o historyczne i aktualne dane wytężeń w powiązaniu z ustaloną lokalizacją czujników, zestawia się dynamiczną mapę wytężeń ilustrującą miejsca zwiększonych naprężeń górotworu (kumulowanie naprężeń w wydłużonych okresach czasowych) oraz ich zmienności w czasie, co umożliwia wytypowanie obszarów o zwiększonym zagrożeniu katastrofą górniczą.

Wynalazek jest dalej szczegółowo przedstawiony z powołaniem rysunku, którego fig. 1 przedstawia schematycznie zestawienie podzespołów wchodzących w skład czujnika wytężeń według wynalazku, fig. 2 ilustruje praktyczną realizację płytki drukowanej z układami elektronicznymi czujnika według wynalazku, fig. 3 przedstawia schematycznie zestawienie podzespołów wchodzących w skład przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego, fig. 4 przedstawia schematycznie zestawienie czujników i przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego współpracujących w układzie monitorowania wytężeń według wynalazku, fig. 5 przedstawia schemat blokowy układu nRF24L01 zastosowanego w praktycznej realizacji czujnika według wynalazku, fig. 6 przedstawia schemat trybów pracy wykorzystywany w praktycznej realizacji czujnika według wynalazku, fig. 7 przedstawia wykres przykładowych danych kalibracyjnych czujnika według wynalazku, fig. 8 przedstawia etapy optymalizacji zużycia energii w praktycznej realizacji czujnika według wynalazku, a fig. 9 przedstawia zmodyfikowane pod kątem oszczędności energii schemat trybów pracy wykorzystywany w praktycznej realizacji czujnika według wynalazku.

Czujnik wytężeń według wynalazku jest przeznaczony do współpracy z nieoprzyrządowaną kotwą górniczą, na przykład z kotwą rozprężną lub wklejaną, zwłaszcza z kotwą rozprężną. Wymieniona kotwa jest osadzona w górotworze, na przykład jest wprowadzona w odpowiedni otwór wykonany w górotworze i mocowana w otworze, na przykład z zastosowaniem elementów do montażu rozprężnego albo spoiw utwardzalnych. Czujnik wytężeń według wynalazku jest przeznaczony do zamontowana w zespole przystropowym kotwy – pomiędzy podkładką i nakrętką kotwy, i może być stosowany do współpracy z kotwami uprzednio osadzonymi, jak i do współpracy z nowoosadzonymi kotwami nieoprzyrządowanymi.

Czujnik wytężeń 1 według wynalazku, który jest zilustrowany schematem blokowym przedstawionym na fig. 1, jest wyposażony w mostek tensometryczny 2 obejmujący cztery tensometry oporowe zestawione w układzie Wheatstone'a. Mostek tensometryczny 2 czujnika wytężeń 1 jest odpowiednio połączony elektrycznie z przetwornikiem analogowo-cyfrowym 3 mającym wejście różnicowe i różnicowe wejście napięciowe odniesienia. Korzystnie, przetwornik analogowo-cyfrowy 3 jest przetwornikiem o wysokiej rozdzielczości i niskim poborze energii. Czujnik wytężeń 1 ponadto jest wyposażony w mikrokontroler 4 mający interfejs do komunikacji z przetwornikiem analogowo-cyfrowym 3. Mikrokontroler 4 ma pamięć nieulotną, która obejmuje pamięć nieulotną programu oraz pamięć nieulotną parametrów, oraz pamięć ulotną, taką jak RAM. Czujnik 1 jest wyposażony w zegar czasu rzeczywistego, który ewentualnie może być zegarem wewnętrznym mikrokontrolera 4, pod warunkiem, że wymieniony zegar wewnętrzny pozostaje funkcjonalnie czynny także w stanie uśpienia mikrokontrolera 4. Ponadto

czujnik 1 jest wyposażony w zewnętrzną pamięć nieulotną 5 do archiwizacji danych pomiarowych (którą korzystnie jest pamięć ferroelektryczna) oraz jest połączony ze źródłem energii elektrycznej 6 o w przybliżeniu stałym napięciu. Korzystnie, źródłem energii elektrycznej 6 jest chemiczne źródło energii elektrycznej, takie jak bateria albo akumulator. Czujnik wytężeń 1 jest wyposażony w sygnalizator optyczny 7 identyfikujący optycznie w czasie rzeczywistym stan obudowy kotwowej, na przykład poprzez dostarczenie informacji o przekroczeniu wielkości naprężenia górotworu powyżej zadanej wartości, o przekroczeniu wielkości naprężenia górotworu poniżej zadanej wartości, i/lub przekroczeniu szybkości przyrostu naprężenia powyżej zadanej wartości, względnie o braku zagrożenia. Sygnalizatorem optycznym 7 korzystnie jest dioda LED zdolna do emisji światła o różnych barwach, albo zespół diod LED obejmujący co najmniej dwie diody LED, z których każda jest zdolna do emisji światła o jednej barwie, przy czym barwy światła przyporządkowane do poszczególnych diod LED w zespole są różne. Na przykład sygnalizatorem optycznym 7 jest dioda LED zdolna do emisji światła w co najmniej w dwóch zakresach długości fal światła widzialnego, korzystnie w 2–4 zakresach długości fal światła widzialnego, względnie zespół co najmniej dwóch diod LED zdolnych do emisji światła różnych zakresach długości fal światła widzialnego, na przykład zespół 2–4 diod LED. Przykładowymi zakresami długości fali światła widzialnego emisji diod LED są zakresy odpowiadające barwom światła zwykle rozpoznawanym przez oko ludzkie, wybrane spośród barwy czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej i niebieskiej.

W obrębie opisu i zastrzeżeń patentowych, źródło energii elektrycznej o w przybliżeniu stałym napięciu oznacza źródło energii elektrycznej zdolne do dostarczania prądu o stałym zwrocie i kierunku przepływu ładunków elektrycznych, przy czym napięcie zapewniane przez źródło – po obciążeniu układem elektrycznym, który jest zasilany przez wymienione źródło – jest zasadniczo stałe, na podstawie porównania pomiarów wykonywanych w nieodległych punktach czasowych, w odstępach nie dłuższych niż 15 minut. Źródłem energii elektrycznej o w przybliżeniu stałym napięciu jest zwłaszcza źródło o napięciu stopniowo zmniejszającym w toku długotrwałej eksploatacji względem napięcia wyjściowego/początkowego, takie jak wymienione powyżej chemiczne źródło energii elektrycznej.

Czujnik wytężeń 1 według wynalazku jest ponadto wyposażony w podzespół do komunikacji radiowej 9 mający indywidualny identyfikator sprzętowy do identyfikacji indywidualnego czujnika 1 z wykorzystaniem komunikacji radiowej.

Czujnik wytężeń 1 jest zabudowany w hermetycznej i odpornej na uszkodzenia mechaniczne obudowie dostosowanej do zamocowania w zespole przystropowym kotwy. Poszczególne elementy elektroniczne czujnika są umieszczone na specjalnie zaprojektowanej płytce drukowanej 8, która korzystnie ma kształt wycinka pierścienia. Przykładowa płytka drukowana 8 o szczególnym kształcie wycinka pierścienia została przedstawiona na fig. 2. Korzystnie, obudowa czujnika wytężeń 1 jest wykonana tak, aby po zakończeniu czasu eksploatacji ewentualnie uzyskać dostęp do danych zachowanych w pamięci nieulotnej, aby odczytać ostatnie dane (np. niedostępne drogą radiową wskutek zaniku zasilania, albo awarii czujnika). Dane te pozostają zapisane w zewnętrznej pamięci nieulotnej 5 (którą korzystnie jest nieulotna ferroelektryczna pamięć FeRAM) i nie ulegają skasowaniu po zaniku zasilania czujnika wytężeń 1. W celu odzyskania danych zapisanych w nieulotnej ferroelektrycznej pamięci FeRAM konieczne jest wyjęcie z obudowy czujnika wytężeń 1 układu elektronicznego. Korzystnie, obudowa czujnika wytężeń 1 jest zaopatrzona w specjalną szczelinę umożliwiająca otwarcie obudowy i dostęp do układu elektronicznego.

Podzespół do komunikacji radiowej 9 czujnika 1 służy do komunikacji radiowej z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10, który okresowo może znajdować w lokalizacji radiowo dostępnej, w relacji do co najmniej jednego czujnika wytężeń 1 osadzonego w zespole przystropowym kotwy. Wymieniony przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10, który jest schematycznie zilustrowany na fig. 3, zawiera mikrokontroler jednoukładowy 11 do sterowania blokiem radiowym 12, który to blok radiowy 12 dostosowany jest do komunikacji radiowej z podzespołem do komunikacji radiowej 9 czujnika wytężeń 1. Ponadto przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 jest wyposażony w wymienną, masową pamięć 13 nieulotną oraz połączony z mikrokontrolerem 11 wyświetlacz 14, zestaw przełączników sterujących 15 do dwukierunkowej komunikacji przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 z operatorem, a także źródło energii elektrycznej 16 o w przybliżeniu stałym napięciu. Korzystnie, źródłem energii elektrycznej 16 o w przybliżeniu stałym napięciu w przenośnym module nadawczo-odbiorczym 10 jest chemiczne źródło energii elektrycznej, takie jak bateria albo akumulator.

Czujnik wytężeń 1, po zamontowaniu w zespole przystropowym nieoprzyrządowanej kotwy górniczej, zwłaszcza kotwy rozprężnej, monitoruje zmiany obciążenia kotwy dzięki temu, iż zależny od obciążenia kotwy sygnał elektryczny z mostka tensometrycznego 2 jest przetwarzany do postaci cyfrowej sygnału przez przetwornik analogowo-cyfrowy 3, którym korzystnie jest przetwornik analogowo-cyfrowy

o wysokiej rozdzielczości i niskim poborze energii. Przetwornik analogowo-cyfrowy 3 jest sterowany przez mikrokontroler 4, korzystnie mikrokontroler jednoukładowy o niskim poborze energii w stanie uśpienia. Dane pobrane z przetwornika analogowo-cyfrowego 3 są zapisywane w nieulotnej pamięci 5 i poddawane analizie mającej na celu określenie stanu obciążenia kotwy. Wynik analizy – na przykład stan dobry albo stan alarmowy – jest wyświetlany, korzystnie cyklicznie, w postaci różnobarwnych sygnałów przez sygnalizator optyczny 7. Wszystkie bloki układu czujnika wytężeń 1 są zasilane ze źródła energii elektrycznej 6 o w przybliżeniu stałym napięciu. Korzystnie, źródło energii elektrycznej 6 jest wewnętrznym źródłem zasilania czujnika wytężeń 1, takim jak chemiczne źródło energii elektrycznej, na przykład dostarczonym jako akumulator energii elektrycznej lub bateria.

Nadto, informacja o stanie obciążenia kotwy jest również wysyłana bezprzewodowo (drogą radiową), korzystnie cyklicznie, za pomocą podzespołu do komunikacji radiowej 9 i jest odbierana przez przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10, gdy ten znajduje w lokalizacji radiowo dostępnej względem rozmieszczenia czujnika wytężeń 1. Podzespół do komunikacji radiowej 9 jest również wykorzystywany do transmisji historycznych danych pomiarowych zgromadzonych w pamięci nieulotnej 5 czujnika wytężeń 1, do przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10, a także jest wykorzystywany do odbierania danych wysyłanych z przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 dotyczących konfiguracji parametrów i zegara czasu rzeczywistego czujnika wytężeń 1. W okresach pomiędzy pomiarami układ elektroniczny czujnika wytężeń 1 przechodzi w stan o niskim poborze energii.

Przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10, gdy znajduje się w lokalizacji radiowo dostępnej względem rozmieszczenia czujnika wytężeń 1, rozpoznaje dany czujnik wytężeń na podstawie niepowtarzalnego identyfikatora sprzętowego czujnika wytężeń 1. Każdy czujnik wytężeń 1 ma przypisany indywidualny identyfikator sprzętowy do identyfikacji indywidualnego czujnika z wykorzystaniem komunikacji radiowej. Przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 jest wyposażony w zapamiętaną listę identyfikatorów sprzętowych zbioru czujników wytężeń, co umożliwia – po rozpoznaniu drogą radiową czujników wytężeń znajdujących się lokalizacji radiowo dostępnej – na wybranie specyficznego identyfikatora sprzętowego czujnika wytężeń, z którego operator zamierza pobrać zgromadzone dane pomiarowe i/lub w którym operator zamierza przeprowadzić konfigurację oprogramowania i zegara czasu rzeczywistego.

Przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10, w którym elementem sterującym jest mikrokontroler jednoukładowy 11, zapisuje odebrane dane w masowej, nieulotnej i wymiennej pamięci 13. Podłączony do mikrokontrolera wyświetlacz 14 i zestaw przełączników sterujących 15 służą do dwukierunkowej komunikacji przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 z operatorem. Wszystkie bloki modułu 10 są zasilane z wewnętrznego źródła energii elektrycznej 16 o w przybliżeniu stałym napięciu.

Zazwyczaj w lokalizacji radiowo dostępnej względem przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 dostarczonego przez operatora do przestrzenni wyrobiska kopalni podziemnej, znajduje się kilka czujników wytężeń, na przykład czujniki 1.1, 1.2, 1.3 (jak pokazano schematycznie na fig. 4). Przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 rozpoznaje dany czujnik wytężeń – wybrany spośród dostępnych – na podstawie niepowtarzalnego identyfikatora sprzętowego czujnika wytężeń. W trakcie przemieszczenia się operatora wraz przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10, w obrębie dostępności radiowej względem przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 ujawniają się kolejne czujniki – ogólnie oznaczone 1.n (gdzie n oznacza liczbę naturalną, a zbiór od 1.1 do 1.n obejmuje czujniki według wynalazku, z których każdy jest zamocowany w zespole przystropowym indywidualnej kotwy w wyrobisku kopalni). Sukcesywnie zarazem, w toku przemieszczania przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 w obrębie wyrobiska kopalni podziemnej może stawać się niedostępna komunikacja radiowa z czujnikami, na przykład 1.1, 1.2, 1.3. Niemniej, w następstwie wizytacji kolejnych przestrzeni wyrobiska kopalni podziemnej z zastosowaniem przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 przemieszczanego w obrębie co najmniej jednego wyrobiska i sekwencyjnego aktywowania komunikacji radiowej z licznymi czujnikami wytężeń 1.1–1.n, wykonuje się pobieranie danych pomiarowych zgromadzonych w czujnikach 1.1–1.n i/lub przeprowadza się indywidualne konfiguracje oprogramowania i zegara czasu rzeczywistego w czujnikach 1.1–1.n. W rezultacie, w sposób cykliczny uzyskuje się komplet danych dotyczących poziomu wytężenia poszczególnych kotew zainstalowanych w wyrobisku kopalni podziemnej, archiwizowanych w funkcji czasu rzeczywistego.

W związku z powyższym, przedmiotem wynalazku jest także układ monitorowania wytężeń zilustrowany schematycznie na fig. 4, obejmujący liczne czujniki wytężeń 1.1–1.n określone powyżej, zamocowane na nieoprzyrządowanych kotwach górniczych osadzonych w górotworze, przy czym każdy z czujników 1.1–1.n jest przyporządkowany indywidualnie do kotwy (w zespole przystropowym której jest osadzony). Wymieniony układ monitorowania wytężeń obejmuje także przenośny moduł nadawczo-

-odbiorczy 10 zawierający mikrokontroler jednoukładowy 11 do sterowania blokiem radiowym 12, który to blok radiowy 12 dostosowany jest do komunikacji radiowej z podzespołem do komunikacji radiowej 9 czujnika wytężeń (tj. każdego z czujników 1.1–1.n), a który to przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 jest wyposażony także w wymienną, masową pamięć nieulotną 13 oraz połączony z mikrokontrolerem 11 wyświetlacz 14 i zestaw przełączników sterujących 15 do dwukierunkowej komunikacji przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 z operatorem, który to przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 jest zaopatrzony w przenośne źródło energii elektrycznej 16 o w przybliżeniu stałym napięciu, takie jak chemiczne źródło energii elektrycznej, na przykład baterię albo akumulator. Nadto, przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 jest wyposażony w interfejs USB do transferu zarchiwizowanych danych pobranych z czujników wytężeń 1.1–1.n, do komputera klasy PC, aby trwale zapamiętać i zarchiwizować dane pobrane z czujników wytężeń 1.1–1.n.

Układ ciągłego monitorowania wytężeń według wynalazku umożliwia ciągłe śledzenie zmian obciążenia kotew, w długim okresie czasu (wielomiesięcznym), z wykorzystaniem licznych czujników wytężeń 1.1–1.n zabudowanych w zespole przystropowym kotew o zamocowaniu mechanicznym, zwłaszcza kotew rozprężnych. Czujnik wytężeń 1 według wynalazku, zamknięty w obudowie odpornej na uszkodzenia mechaniczne i trudne warunki dołowe (wilgoć, zapylenie), może zostać zabudowany na długi okres czasu w zespole przystropowym typowych kotew stanowiących obudowę podstawową podziemnych wyrobisk górniczych, bez konieczności demontażu.

Informacje dotyczące rzeczywistego obciążenia obudowy górniczej, jej odkształceń, uszkodzeń oraz zachodzących deformacji stropu bezpośrednio umożliwiają kontrolę zabezpieczenia podziemnych wyrobisk górniczych, określenie skuteczności kotwienia oraz analizę mechanizmu współpracy kotew z górotworem. Czynniki technologiczne i właściwości reologiczne górotworu powodują, że z upływem czasu obciążenie kotew ulega zmianie (rośnie), jednak w pewnych wypadkach może też spadać (nawet całkowicie do zera – w przypadku kotew o zamocowaniu mechanicznym). Czujnik wytężeń 1 według wynalazku w czytelny sposób sygnalizuje stan obudowy wyrobiska, umownie określonych – w relacji do mierzonych poziomów wytężeń – jako stan braku zagrożenia (normalnej pracy), stan zagrożenia lub stan alarmowy. Dane pomiarowe z każdego czujnika obejmują dane pierwotne stanowiące częstotliwie wykonywane pomiary wytężeń, jak i dane przetworzone ilustrujące zmienność wartości wytężenia w funkcji czasu. Dane pomiarowe po zarchiwizowaniu, zebraniu za pomocą przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10, są dostarczone do komputera PC za pośrednictwem łącza USB modułu nadawczo-odbiorczego 10. Na podstawie danych lokalizacyjnych czujników wytężeń 1.1–1.n na terenie kopalni, przetworzonych do postaci przestrzennego odwzorowania, oraz danych wytężeń w funkcji czasu rzeczywistego w poszczególnych lokalizacjach czujników wytężeń 1.1–1.n zestawia się dynamiczną mapę naprężenia górotworu ilustrującą miejsca zwiększonych naprężeń (kumulowanie naprężeń w wydłużonych okresach czasowych) oraz ich zmienności w czasie, co umożliwia wytypowanie obszarów o zwiększonym zagrożeniu katastrofą górniczą.

Przykład

Rozwiązanie według wynalazku jest dedykowane do ciągłego monitorowania zmian obciążenia obudowy kotwowej, we współpracy z kotwami o zamocowaniu mechanicznym (rozprężnymi), i jest przeznaczony do użytku przemysłowego w warunkach podziemnych kopalń, zwłaszcza kopalń rud miedzi. Czujnik wytężeń jest zabudowany w hermetycznej i odpornej na uszkodzenia mechaniczne obudowie mocowanej w zespole przystropowym kotwy – pomiędzy podkładką kotwy a jej nakrętką. Aby dostosować czujnik do mocowania między podkładką kotwy a jej nakrętką, obudowa czujnika ma kształt pierścieniowy.

Czujnik składa się z szeregu bloków funkcyjnych wymienionych powyżej (mostek tensometryczny 2, przetwornik analogowo-cyfrowy 3, mikrokontroler 4, pamięć nieulotna 5, podzespół do komunikacji radiowej 9, źródło zasilania 6) i zilustrowanych na fig. 1, które w większości stanowią specjalizowane elementy elektroniczne. Typowymi elementami programowalnymi są tzw. „mikrokontrolery”, wyposażone w dodatkowe zewnętrzne urządzenia peryferyjne. Spośród szerokiej gamy dostępnych mikrokontrolerów do przykładowej realizacji według wynalazku został wybrany mikrokontroler spełniający następujące wymagania:

- umożliwiający realizację zadanych funkcji,
- minimalizujący ilość zewnętrznych układów peryferyjnych,
- posiadający możliwość kontroli i regulacji poboru mocy w trybie aktywnym,
- zapewniający ekstremalnie niski pobór mocy w trybie nieaktywnym.

Odpowiednim mikrokontrolerem jest *Atmel XMEGA 256 A3BU*, który charakteryzuje się następującymi cechami istotnymi:

- wysoka wydajność,
- nieulotna pamięć danych i programu,
- 256 kB programowanej w systemie pamięci flash,
- 4 kB pamięci EEPROM,
- 16 kB wewnętrznej pamięci SRAM,
- siedem szesnastobitowych liczników timerów,
- interfejs USB 2.0 (12 Mb/s),
- dwa 12-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe,
- autonomiczny 32-bitowy zegar czasu rzeczywistego,
- dwa interfejsy SPI,
- sześć interfejsów USART mogących pracować jako SPI,
- rozbudowany system zdarzeń i przerwań,
- programowo regulowana częstotliwość pracy procesora,
- ekstremalnie niski pobór prądu w trybie nieaktywnym (4 μA),
- interfejs JTAG, który może być programowo wyłączony,
- możliwość programowego wyłączania praktycznie wszystkich wewnętrznych urządzeń peryferyjnych.

W tablicy 1 zestawiono elementy elektroniczne zastosowane w przykładowym czujniku wytężeń według wynalazku.

Tablica 1
Elementy zastosowane w przykładowym czujniku wytężeń

Funkcja	Układ
kontrola i sterowanie całego układu, przechowywanie parametrów konfiguracyjnych	Atmel XMEGA 256 A3BU
archiwizacja danych	FM25V20A
komunikacja radiowa	nRF24L01+
Zasilanie	LP 3990MF-3.3
pomiar wytężenia	LTC 2411
sensor wytężenia	mostek tensometryczny

Poszczególne elementy wraz z dodatkowymi elementami pasywnymi zostały umieszczone na specjalnie zaprojektowanej płytce drukowanej, która ma kształt wycinka pierścienia (jak ilustruje wcześniej powołana fig. 2).

Do praktycznej realizacji układu monitorowania wytężeń wykonano szereg egzemplarzy czujnika wytężeń. Każdy czujnik wytężeń posiada własny numer ID. Czujniki wytężeń 1.1–1.n współpracują z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10, który drogą radiową komunikuje się z wymienionymi czujnikami. Przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 spełnia funkcję czytnika i rejestratora danych pomiarowych, a zarazem umożliwia bezprzewodowe programowanie i kontrolę zabudowanych w warunkach dołowych wyrobiska kopalni czujników oraz transfer i gromadzenie rejestrowanych i zmagazynowanych w pamięci danych pomiarowych.

W relacji do przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10, na podstawie analizy założeń projektowych oraz stosowanych protokołów transmisji danych wybrano jako element zdalnej komunikacji zespół *nRF24L01+* firmy Nordic Semiconductor. Schemat blokowy *nRF24L01+* jest przedstawiony na fig. 5.

Zespół *nRF24L01+* pracuje w otwartym paśmie 2,4 GHz, zapewniając szybkość transmisji 250 kbps, 1 Mbps i 2 Mbps. Charakteryzuje się niskim poborem mocy: 11,3 mA w trybie TX, 13,5 mA w trybie RX dla 2 Mbps, 900 nA w trybie nieaktywnym.

Istotnym z punktu widzenia poboru energii jest czas transmisji. Jednym z elementów wpływających na ten czas jest wielkość używanego adresu. Z tego powodu zastosowano najmniejszą dostępną wielkość adresu, czyli trzy bajty. W ogólnym przypadku ogranicza to ilość rozróżnialnych urządzeń do 16 777 216. Ze względu na czytelność adresów stanowiących równocześnie identyfikatory czujników zdecydowano na stosowanie w nich jedynie cyfr. Zapewnia to rozróżnialność 1000 czujników. Z uwagi na propagację fal radiowych w warunkach wyrobiska kopalni podziemnej równocześnie w zasięgu przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 znajdzie się co najwyżej kilka czujników wytężeń. Wobec tego zastosowane ograniczenie nie ma wpływu na funkcjonowanie całego układu monitorowania wytężeń. Jeżeli w całym systemie wymagana będzie liczba czujników przekraczająca 1000, można będzie skorzystać z większych adresów lub wykorzystać unikalne numery seryjne czujników (bez zwiększania wielkości adresów).

Z czujnikami wytężeń 1.1–1.n przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 komunikuje się stosując oryginalnie opracowany protokół. Protokół ten oparty jest o transfer trzydziestodwubajtowych pakietów danych. Pakiety te zawierają identyfikator wysyłającego urządzenia oraz dane pomiarowe. Takie rozwiązanie umożliwia wybór czujnika wytężeń, z którym przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 nawiąże łączność (w przypadku gdy w danym miejscu dostępne są sygnały radiowe z kilku czujników). Dodatkowo przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 informuje operatora, czy jest w zasięgu konkretnego czujnika.

Po wybraniu danego czujnika wytężeń operator może:

- odczytać aktualny stan czujnika:
  - - status czujnika:
    przekroczenie maksymalnego wytężenia kotwy od czasu rozpoczęcia pomiarów,
    przekroczenie minimalnego wytężenia kotwy od czasu rozpoczęcia pomiarów,
    przekroczenie maksymalnej szybkości zmiany wytężenia kotwy od czasu rozpoczęcia pomiarów,
  - - wytężenie kotwy,
  - - liczbę wykonanych pomiarów,
  - - napięcie zasilania,
  - - lokalny czas kotwy,
- pobrać zarchiwizowane dane.

W trakcie operacji transferu danych następuje automatyczna synchronizacja zegara czasu rzeczywistego danego czujnika wytężeń z zegarem przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10. Ze względu na istotność oznaczenia czasu dla korelacji pomiarów wszystkich czujników wytężeń 1.1–1.n, korzystnie – każdorazowo przed rozpoczęciem pobierania danych z czujników – koryguje się zegar rejestratora danych (np. przy pomocy zegara sterowanego radiowo, odbiornika GPS lub serwera czasu).

Dane pomiarowe zgromadzone w pamięci przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 są następnie przekazywane do komputera klasy PC. W tym celu moduł nadawczo-odbiorczy 10 jest wyposażony jest w interfejs USB 2.0. do połączenia z komputerem klas PC. Komputer PC widzi przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 jako masowe urządzenie przechowywania danych (MSC). Korzystnie, dane pomiarowe pobrane z czujników przenosi się niezwłocznie do pamięci stałej komputera typu PC, prowadząc systematyczną archiwizację danych z komputera typu PC.

Cechą charakterystyczną układu monitorowania wytężeń jest wykorzystywanie wielu czujników 1.1–1.n, które pracując niezależnie dostarczają jednak wspólnie informacje zebrane w jednym polu eksploatacyjnym lub wyrobisku kopalni podziemnej. Dane odbierane od czujników przez przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 są zapisywane w oddzielnych plikach danych. Pliki te są następnie przechowywane w standardowym katalogu na dysku twardym komputera PC. Ze względu na sekwencyjny, rozłożony w czasie odczyt danych z czujników wytężeń 1.1–1.n poszczególne pliki zawierają informacje o stanach wytężenia kotew w różnych okresach czasu. Z tego powodu niezbędne jest użycie dedykowanego oprogramowania umożliwiającego efektywny dostęp do zgromadzonych danych i ich analizowanie. Układ według wynalazku umożliwia gromadzenie danych, które można podzielić na dwie grupy zawierające: informacje o czujnikach, informacje o pomiarach stanu wytężenia kotew przez poszczególne czujniki. Ustalenie relacji pomiędzy tymi grupami stwarza możliwość efektywnego przetwarzania

danych. Zadanie to można zrealizować korzystając z relacyjnych baz danych. Spośród wielu dostępnych systemów baz danych wybrano *SQLite*.

Ponieważ w układzie monitorowania wytężeń według wynalazku liczne autonomicznie działające czujniki wytężeń 1.1–1.n (z których każdy posiada indywidualny mikrokontroler 4) współpracują z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10, to niezbędne jest niezależne dostarczenie oprogramowania:

- dla obsługi autonomicznie funkcjonujących czujników wytężeń 1.1-1.n,
- dla obsługi modułu nadawczo-odbiorczego 10.

Programy te zapewniają właściwą pracę urządzeń, dla których są dedykowane, jak i stosowaną komunikację między nimi. Oprogramowanie dedykowane dla autonomicznie funkcjonującego czujnika wytężeń 1 ma za zadanie:

- wstępną konfigurację mikrokontrolera,
- inicjalizację parametrów konfiguracyjnych,
- konfigurację pamięci FeRAM,
- przygotowanie do pracy układu komunikacji radiowej,
- włączenie systemu sygnalizacji optycznej,
- przeprowadzanie układu pomiędzy jego poszczególnymi stanami,
- realizację funkcji wymaganych przez poszczególne stany.

Stany funkcjonowania czujnika wytężeń 1 oraz możliwe przejścia pomiędzy nimi przedstawia fig. 6. Po włączeniu zasilania czujnik wytężeń 1 przechodzi do stanu (trybu pracy) serwisowego. W tym stanie możliwa jest:

- całkowita konfiguracja czujnika,
- kalibracja czujnika wytężeń.

Kalibracja dostarcza indywidualną charakterystykę danego czujnika wytężeń 1. Charakterystyka uzyskana w trakcie procesu kalibracji może być dostarczona w postaci:

- tabeli dołączonej do urządzenia i pozwalającej przeliczać wskazania urządzenia na wielkości fizyczne,
- w postaci funkcji kalibracyjnej bezpośrednio przekształcającej wartości mierzonych sygnałów na wymagane wielkości fizyczne.

Kalibrowany czujnik wytężeń 1 montuje się na standardowej kotwie umieszczonej w maszynie wytrzymałościowej, mającej atestowany sensor wytężenia. Za pomocą układu sterowania maszyny wytrzymałościowej zadaje się sekwencyjnie ustalone wytężenia kotwy weryfikowane przez czujnik siły urządzenia. Z kalibrowanego urządzenia pomiarowego odbiera się drogą radiową sygnał niezrównoważenia mostka tensometrycznego 2. Sygnał ten jest proporcjonalny do wytężenia kotwy.

Do wyznaczenia współczynników funkcji kalibrującej zastosowano metodę regresji liniowej. Współczynniki regresji obliczono stosując metodę najmniejszych kwadratów. Przykładowe wyniki procedury kalibracyjnej przedstawiono na fig. 7.

Wyznaczone parametry kalibracyjne następnie zapisuje się w pamięci nieulotnej parametrów mikrokontrolera 4 czujnika wytężeń 1. Kolejnym krokiem procesu kalibracyjnego jest sprawdzenie zgodności wskazań skalibrowanego czujnika (w jednostkach siły) ze wskazaniami atestowanego czujnika wytężenia maszyny wytrzymałościowej.

Po zakończeniu obsługi serwisowej czujnik wytężeń 1 przechodzi do stanu nieaktywnego. Nie ma możliwości ponownego przejścia do stanu serwisowego. Ma to na celu ochronę tak istotnych informacji jak:

- identyfikator urządzenia,
- dane kalibracyjne.

W tym stanie czujnik wytężeń 1 pozostaje od momentu zakończenia obsługi serwisowej do zainstalowania w wyrobisku kopalni podziemnej. Po zainstalowaniu czujnika wytężeń 1 w zespole przystropowym kotwy, operator – za pomocą przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 – może przeprowadzić dany czujnik w stan aktywny. Od tego momentu czujnik wytężeń 1 będzie cyklicznie przełączać się pomiędzy stanami aktywnym a stanem uśpienia (stan uśpienia ma na celu minimalizację zużycia energii przez urządzenie).

W stanie aktywnym:

- konfigurowany jest trzydziestodwubitowy zegar czasu rzeczywistego w celu ponownego przeprowadzenia układu ze stanu uśpienia do stanu aktywnego,
- wykonywany jest pomiar wytężenia kotwy,
- przeprowadzana jest analiza otrzymanych wyników,
- następuje archiwizacja danych (o ile jest miejsce w pamięci),
- wykonywany jest pomiar napięcia zasilania,

- analizowany jest wynik tego pomiaru,
- wysyłany jest impuls świetlny o kolorze właściwym dla stanu urządzenia,
- wysyłany jest informacyjny pakiet danych radiowych,
- przeprowadzana jest próba odbioru pakietu z rejestratora danych,
- w przypadku odbioru takiego pakietu urządzenie realizuj e przesłane w nim polecenie,
- urządzenie przechodzi do stanu uśpienia.

Operator ma możliwość wysłania do czujnika polecenia przesłania danych. Po otrzymaniu tego polecenia czujnik przesyła:

- czas rozpoczęcia serii pomiarów,
- ilość punktów pomiarowych,
- odstęp czasowy pomiędzy pomiarami,
- wyniki pomiarów.

W trakcie transmisji możliwe jest chwilowe włączanie sygnalizatora optycznego 7 z wysłaniem sygnału świetlnego, korzystnie o barwie różnej od barw przypisanych do stanu ostrzegawczego lub alarmowego (zazwyczaj wybranych spośród barw żółtej, pomarańczowej i czerwonej), na przykład sygnału świetlnego o barwie niebieskiej. Taki sygnał świetlny informuje o oczekiwaniu czujnika na stan gotowości przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 do odbioru kolejnego pakietu. W przypadku gdy przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10 wykazuje długotrwałą niezdolność do odbioru danych (np. w wyniku uszkodzenia rejestratora lub wyczerpania się jego źródła zasilania), czujnik wytężeń 1 automatycznie przerywa transfer i rozpoczyna nowy cykl pomiarowy.

Dodatkowa modyfikacja trybu pracy czujnika wytężeń 1 prowadzi do większej oszczędności energii przy zachowaniu łatwości komunikacji czujnika wytężeń 1 z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10. Po aktywowaniu zabudowanego czujnika wytężeń 1 przechodzi on automatycznie ze stanu uśpienia do stanu aktywnego z wykonaniem pomiaru lub do stanu aktywnego bez wykonywania pomiaru. Różna częstotliwość przechodzenia do poszczególnych stanów umożliwia dalsze ograniczanie średniej energii zużywanej przez czujnik wytężeń 1.

Obniżenie zapotrzebowania na energię elektryczną niezbędną do funkcjonowania czujnika wytężeń 1 uzyskuje się w następstwie optymalizacji zużycia energii w poszczególnych trybach pracy wymienionego czujnika.

Stany aktywne różnią się w zależności od tego, czy czujnik wytężeń 1 komunikuje się z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10, czy też nie. W rzeczywistych warunkach w wyrobisku kopalni podziemnej czujnik wytężeń 1 funkcjonuje autonomicznie kilkadziesiąt dni bez komunikacji z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10. Kilkusekundowa komunikacja z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10 jedynie bardzo nieznacznie podwyższa przeciętne długookresowe zużycie energii. Stąd też najkorzystniejszy rezultat można zapewnić poprzez optymalizację trybów pracy sterowanych oprogramowaniem uruchamianym w warunkach braku komunikacji z przenośnym modułem nadawczo-odbiorczym 10.

W tym celu wykonano następujące etapy dostosowawcze:

etap 1 – zmniejszono moc podzespołu do komunikacji radiowej 9 stosowanego do transmisji danych;

etap 2 – zoptymalizowano procedurę odbioru danych drogą radiową;

etap 3 – zmodyfikowano proces przechodzenia czujnika wytężeń 1 ze stanu o niskim poborze energii do stanu normalnej pracy, oraz opracowano nową procedurę inicjalizacji poszczególnych podzespołów elektronicznych takich jak podzespół do komunikacji radiowej 9, zewnętrzna pamięć nieulotna 5;

etap 4 – zmodyfikowano algorytm transmisji danych drogą radiową przez podzespół do komunikacji radiowej 9 czujnika wytężeń 1.

Porównanie czasowych zależności poboru prądu przed (wykres górny) i po poszczególnych krokach optymalizacji (od etapu 1 do etapu 4) przedstawiono na fig. 8.

Wprowadzono także dodatkowy stan *Idle* o zredukowanym w stosunku do stanu nieaktywnego zapotrzebowaniu na energię. Stan *Idle* jest dodatkowym stanem o funkcjonalności podobnej do stanu nieaktywnego jednak o znacznie mniejszym zapotrzebowaniu energetycznym. W trakcie normalnej pracy zabudowanego w wyrobisku czujnika zmienia on swoje stany pomiędzy stanem uśpienia a stanem aktywnym z wykonaniem pomiaru i stanem aktywnym bez wykonywania pomiaru.

Stany funkcjonowania czujnika wytężeń 1 po uwzględnieniu stanu *Idle* oraz możliwe przejścia pomiędzy nimi przedstawia fig. 9.

Stan aktywny bez wykonania pomiaru wprowadzono, aby:

- ułatwić komunikację przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10 z czujnikiem wytężeń 1,
- zapewnić większą częstotliwość wysyłania sygnałów świetlnych przez sygnalizator optyczny 7, względem częstotliwości wykonywania pomiarów,
- obniżyć średnie zużycia energii przez czujnik wytężeń 1 podczas monitorowania stanu wytężenia kotwy w wyrobisku kopalni podziemnej.

Stan ten jest modyfikacją poprzedniego polegającą na usunięciu z niego kompletnej procedury pomiarowej. Wobec tego do jego optymalizacji zastosowano procedury użyte dla poprzedniego stanu. Jedynym wyjątkiem jest optymalizacja pomiaru.

W rzeczywistych warunkach czujnik wytężeń 1 podczas magazynowania będzie w stanie *Idle*, natomiast po zabudowaniu w wyrobisku będzie się przełączał pomiędzy jednym ze stanów aktywnych a stanem uśpienia.

W poniższej tablicy zestawiono oszacowany maksymalny czas pracy czujnika 1 w poszczególnych stanach. Przyjęto interwał aktywności równy 10 sekund. Otrzymane wyniki dotyczą standardowego źródła zasilania o pojemności 2880 C.

Tablica 2

Tryb		Ładunek na jeden cykl [mC]		Całkowity czas pracy po optymalizacji [dni]	Wzrost efektywności energetycznej
		przed optymalizacją	po optymalizacji		
Idle		3,53	0,78	420	4.5-krotny
aktywny	bez pomiaru	3,72	0,98	340	3,8-krotny
	z pomiarem	5,57	1,87	170	3-krotny

Przenośny moduł nadawczo-odbiorczy 10, poza swoim podstawowym zadaniem jakim jest transfer danych, spełnia jeszcze jedną istotną funkcję. Jak wspomniano powyżej, po zakończeniu kompletnego cyklu wytwórczego czujnik wytężeń 1 znajduje się w stanie *Idle*. Przed zamontowaniem czujnika 1 w zespole przystropowym kotwy należy czujnik wytężeń 1 przeprowadzić do stanu nieaktywnego komunikując się z nim z użyciem przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10. Natomiast po zamontowaniu czujnika wytężeń 1 w zespole przystropowym kotwy należy przeprowadzić czujnik 1 ze stanu nieaktywnego do stanu uśpienia komunikując się z nim z użyciem przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego 10.

Zastrzeżenia patentowe

1. Czujnik wytężeń dla nieoprzyrządowanej kotwy górniczej, zwłaszcza kotwy rozprężnej, mający co najmniej jeden tensometr oraz zespół pomiarowy do przetwarzania i rejestracji sygnałów tensometrycznych, **znamienny tym**, że czujnik wytężeń (1) jest przeznaczony do zamontowania w zespole przystropowym kotwy uprzednio osadzonej w górotworze i jest wyposażony w mostek tensometryczny (2) mający cztery tensometry oporowe w układzie Wheastone'a, połączony z przetwornikiem analogowo-cyfrowym (3) mającym wejście różnicowe i różnicowe wejście napięciowe odniesienia, a ponadto czujnik (1) jest wyposażony w mikrokontroler (4) mający pamięć nieulotną, pamięć ulotną i interfejs do komunikacji z przetwornikiem analogowo-cyfrowym (3), oraz jest wyposażony w zegar czasu rzeczywistego, zewnętrzną pamięć nieulotną (5) do archiwizacji danych pomiarowych, oraz jest połączony ze źródłem energii elektrycznej (6) o w przybliżeniu stałym napięciu.
2. Czujnik wytężeń według zastrz. 1, **znamienny tym**, że jest wyposażony w podzespół do komunikacji radiowej (9) mający indywidualny identyfikator sprzętowy do identyfikacji czujnika wytężeń (1) z wykorzystaniem komunikacji radiowej.
3. Czujnik wytężeń według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że jest wyposażony w sygnalizator optyczny (7) identyfikujący optycznie w czasie rzeczywistym przekroczenie wielkości naprę-

żenia górotworu powyżej zadanej wartości, przekroczenie wielkości naprężenia górotworu poniżej zadanej wartości, i/lub przekroczenie szybkości przyrostu naprężenia powyżej zadanej wartości.

4. Czujnik wytężeń według zastrz. 3, **znamienny tym**, że sygnalizatorem optycznym (7) jest dioda LED zdolna do emisji światła o różnych barwach, albo zespół diod LED obejmujący co najmniej dwie diody LED, z których każda jest zdolna do emisji światła o jednej barwie, przy czym barwy światła przyporządkowane do poszczególnych diod LED w zespole są różne.
5. Czujnik wytężeń według zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że zegar czasu rzeczywistego stanowi element wbudowany w mikrokontroler (4), ale zdolny do aktywnego funkcjonowania w stanie uśpienia mikrokontrolera.
6. Czujnik wytężeń według zastrz. 1–4, **znamienny tym**, że zegar czasu rzeczywistego stanowi element zewnętrzny względem mikrokontrolera (4).
7. Czujnik wytężeń według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zewnętrzną pamięcią nieulotną (5) jest pamięć ferroelektryczna.
8. Czujnik wytężeń według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pamięć nieulotna mikrokontrolera (4) obejmuje pamięć nieulotną programu i pamięć nieulotną parametrów.
9. Czujnik wytężeń według zastrz. 1–8, **znamienny tym**, że źródłem energii elektrycznej (6) o w przybliżeniu stałym napięciu jest chemiczne źródło energii elektrycznej, takie jak bateria albo akumulator.
10. Czujnik wytężeń według zastrz. 1–9, **znamienny tym**, że jest zabudowany w hermetycznej i odpornej na uszkodzenia mechaniczne obudowie dostosowanej do zamocowania w zespole przystropowym kotwy.
11. Układ monitorowania zmian wytężeń obudowy kotwowej mającej liczne nieoprzyrządowane kotwy górnicze osadzone w górotworze, obejmujący przyporządkowane indywidualnie do każdej kotwy i osadzone w zespole przystropowym kotwy czujniki wytężeń określone w zastrz. 2–10, oraz obejmujący przenośny moduł nadawczo-odbiorczy (10) zawierający mikrokontroler jednoukładowy (11) do sterowania blokiem radiowym (12), który to blok radiowy (12) dostosowany jest do komunikacji radiowej z podzespołem do komunikacji radiowej (9) czujnika wytężeń (1), a ponadto przenośny moduł nadawczo-odbiorczy (10) jest wyposażony w wymienną, masową pamięć nieulotną (13) oraz połączony z mikrokontrolerem (11) wyświetlacz (14) i zestaw przełączników sterujących (15) do dwukierunkowej komunikacji przenośnego modułu nadawczo-odbiorczego (10) z operatorem, a także źródło energii elektrycznej (16) o w przybliżeniu stałym napięciu.
12. Układ monitorowania zmian obciążenia obudowy kotwowej według zastrz. 11, **znamienny tym**, że przenośny moduł nadawczo-odbiorczy (10) jest wyposażony w interfejs USB do transferu zarchiwizowanych danych pobranych z czujników wytężeń, do komputera klasy PC, aby trwale zapamiętać i zarchiwizować dane pobrane z czujników wytężeń (1).
13. Układ monitorowania zmian obciążenia obudowy kotwowej według zastrz. 11 albo 12, **znamienny tym**, że źródłem energii elektrycznej (16) o w przybliżeniu stałym napięciu w przenośnym module nadawczo-odbiorczym (10) jest chemiczne źródło energii elektrycznej, takie jak bateria albo akumulator.

Rysunki

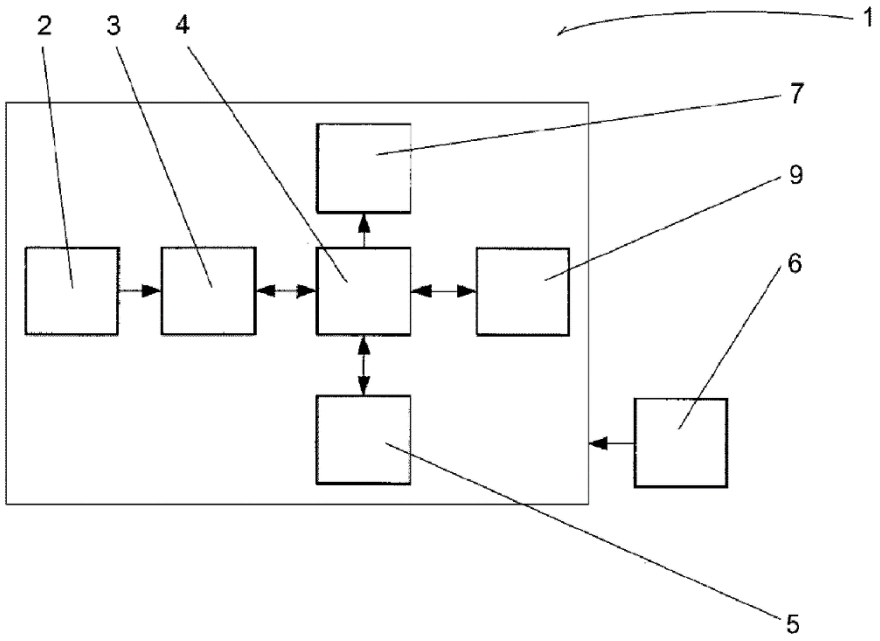


Fig. 1

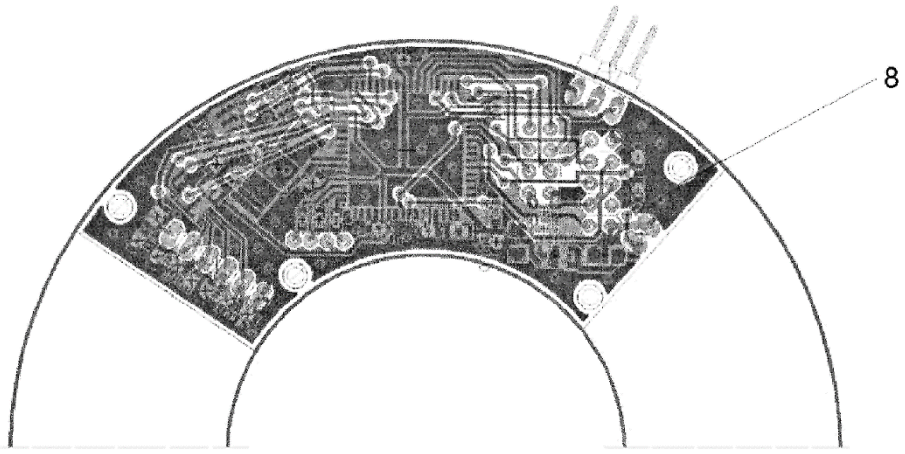


Fig. 2

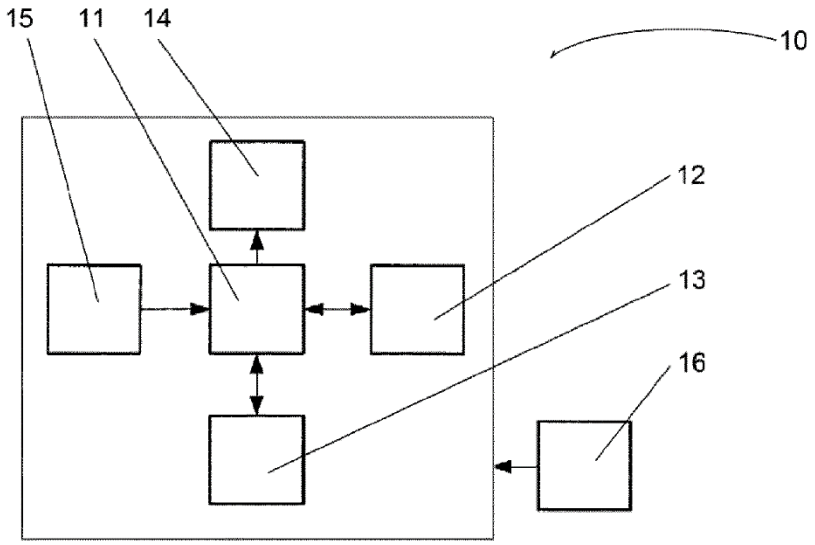


Fig. 3

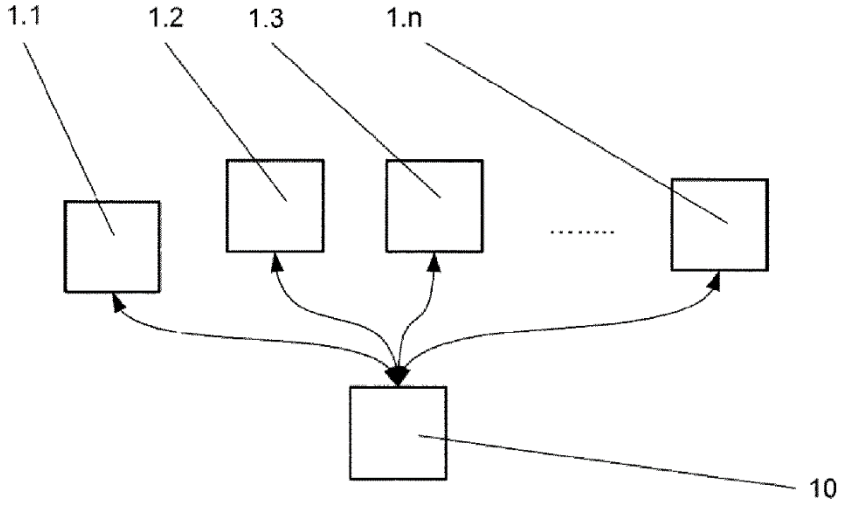


Fig. 4

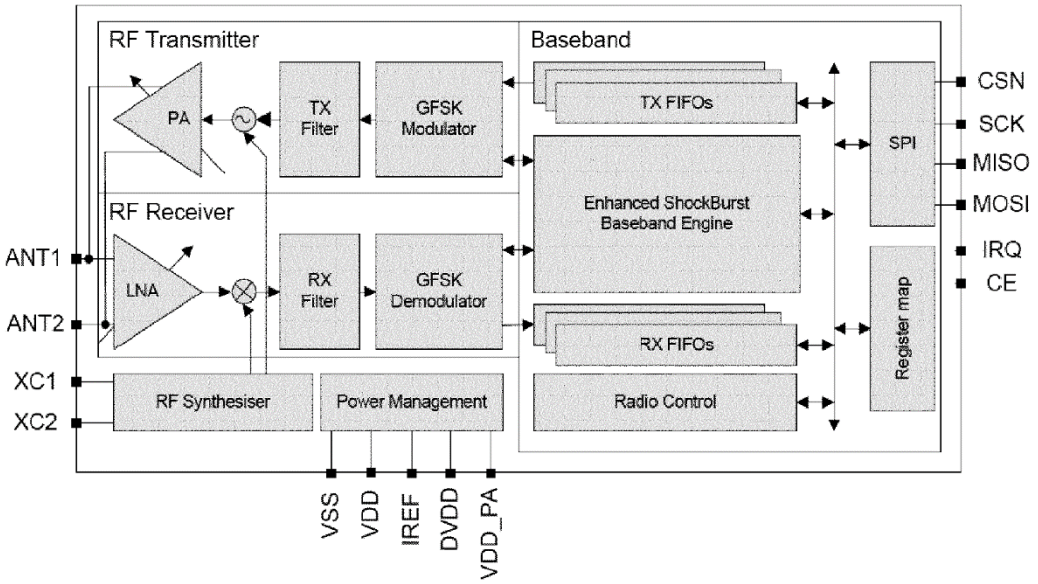

RF Transmitter
Baseband
PA
TX Filter
GFSK Modulator
TX FIFOs
SPI
CSN
SCK
MISO
MOSI
IRQ
CE
RF Receiver
Enhanced ShockBurst Baseband Engine
ANT1
ANT2
LNA
RX Filter
GFSK Demodulator
RX FIFOs
Register map
XC1
XC2
RF Synthesiser
Power Management
Radio Control
VSS
VDD
IREF
DVDD
VDD_PA

Fig. 5

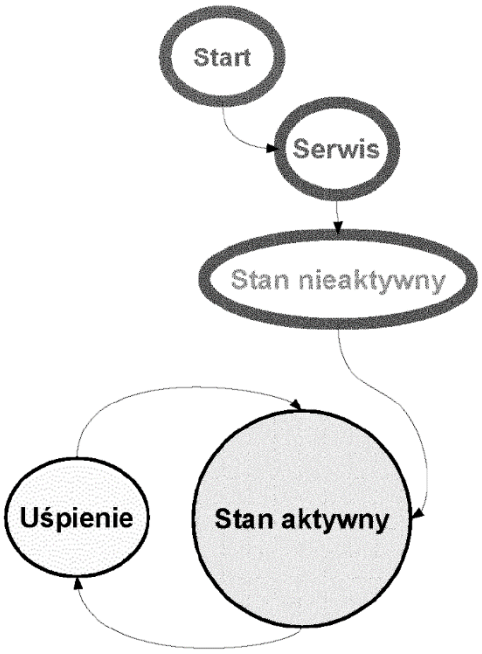

Start
Serwis
Stan nieaktywny
Uśpienie
Stan aktywny

Fig. 6

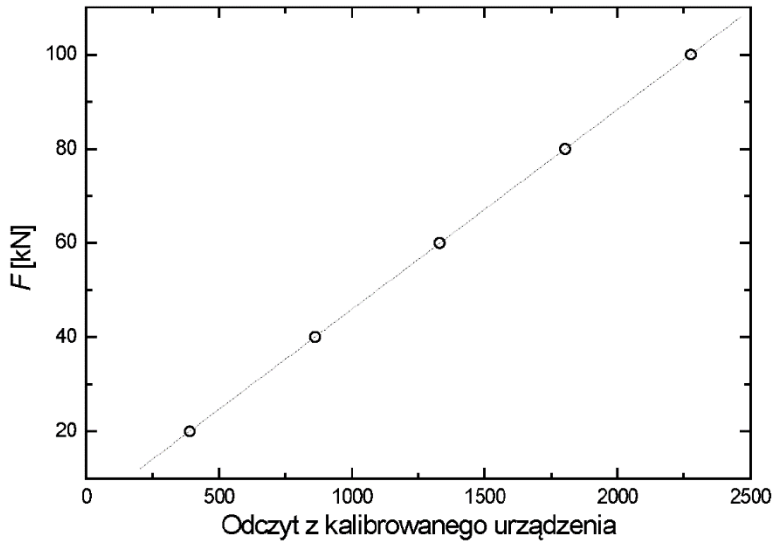

F [kN]
100
80
60
40
20
0
500
1000
1500
2000
2500
Odczyt z kalibrowanego urządzenia

Fig. 7

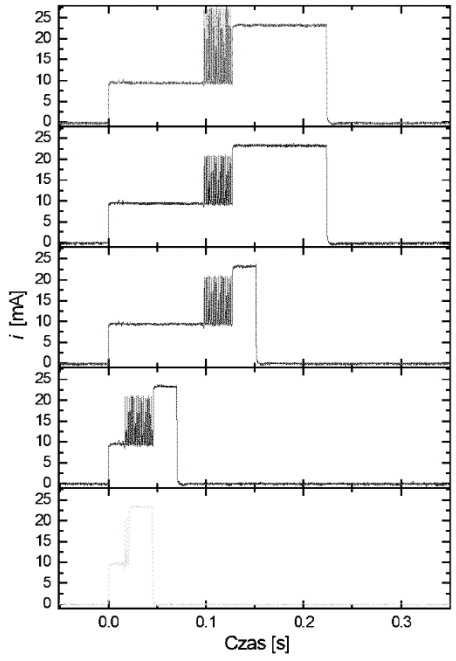

i [mA]
25
20
15
10
5
0
0.0
0.1
0.2
0.3
Czas [s]

Fig. 8

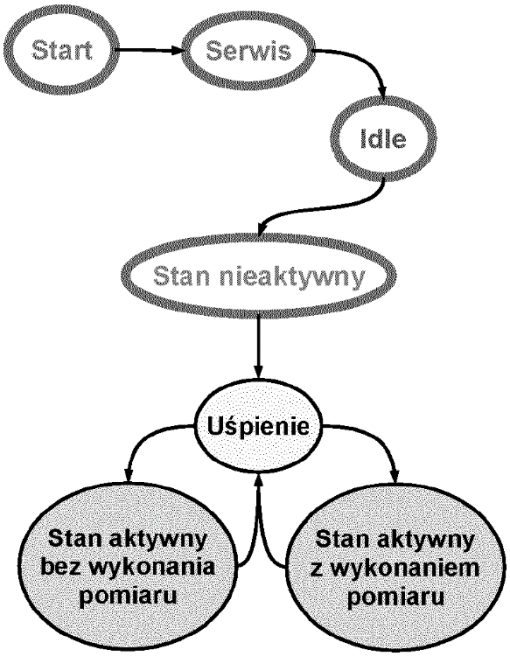

Start
Serwis
Idle
Stan nieaktywny
Uśpienie
Stan aktywny bez wykonania pomiaru
Stan aktywny z wykonaniem pomiaru

Fig. 9