

dr DAVID BIGBY
dr KEITH MacANDREW
dr KEN HURT
Golder RMT, Golder Associates (UK) Ltd

Innowacje w zakresie monitorowania stabilności chodników kopalnianych przy zastosowaniu podwójnego (dwuwysokościowego), zdalnie odczytywanego elektronicznego czujnika ostrzegawczego „telltale”

Innovations in mine roadway stability monitoring using dual height and remote reading electronic „telltals”

Czujniki ostrzegawcze *telltals* wykorzystywane przy stosowaniu obudów kotwionych są w chwili obecnej uznane na rynku międzynarodowym środkiem wczesnego ostrzegania przed oberwaniem się stropu. Podwójne czujniki *telltale* umożliwiające natychmiastowy widoczny pomiar rozróżniający ruch górotworu powyżej i poniżej wysokości kotwienia są najpowszechniej występującą wersją. Podwójne czujniki *telltale* zostały po raz pierwszy opracowane przez British Coal na początku lat 90., kiedy wprowadzono obudowy kotwione, które zastąpiły tradycyjne stalowe obudowy łukowe, i kiedy sukces stosowania takich obudów w głębokich kopalniach węgla kamiennego szeroko przypisywano zastosowaniu tych urządzeń zabezpieczających. Od momentu wprowadzenia tego czujnika, opracowano i zastosowano na świecie wiele odmian i modyfikacji podstawowej jego wersji, dostosowując przyrząd do różnych warunków działalności górniczej. Przykładowo, potrójne czujniki *telltale* są powszechnie stosowane w czole chodnika, w miejscach, gdzie zabudowane są obudowy kotwione w połączeniu z dłuższymi ścięgami. Wybór odpowiedniego poziomu zadziałania przy ruchu stropu jest czynnikiem decydującym dla zapewnienia bezpieczeństwa. Doświadczenie pokazuje, że systematyczna obsługa systemu ostrzegawczego *telltale* jest niezbędna dla zapewnienia podjęcia właściwych działań. Zwykle dokonuje się zabudowy dodatkowej obudowy, kiedy zadany poziom zadziałania urządzenia jest przekroczony. W Australii, przykładem jest stosowana metoda TARP. Innym wielkim osiągnięciem było wprowadzenie iskrobezpiecznego, zdalnie odczytywanego, podwójnego systemu *telltale*, który pozwala na podłączenie do 100 elektronicznych przyrządów *telltale* za pomocą dwużyłowego kabla i odczyt przy zastosowaniu przenośnego czynnika znajdującego się na końcu chodnika, lub za pomocą komputera PC znajdującego się na powierzchni kopalni poprzez kabel telefoniczny. W przypadku tej drugiej konfiguracji, uzyskuje się odczyt rzeczywistego stanu stropu w danej chwili przy jednoczesnym natychmiastowym wizualnym wskazaniu tego stanu przez urządzenie pod ziemią. Najnowszym rozwiązaniem jest czujnik *telltale* z automatycznym systemem ostrzegania. Urządzenie to ostrzega o zbliżającym się zawale w czasie wybierania filarowego poprzez dobrze widoczne, błyskające diody LED. Niniejszy artykuł opisuje te i inne rodzaje czujnika *telltale*, jak również przytacza przykłady ich zastosowania na świecie uwzględniając także kraje jak Wielka Brytania, Indie oraz USA.

Rockbolting telltales are now an internationally established means of providing pre-emptive warnings of roof falls. The dual height telltale, providing an immediate visible measurement distinguishing between movement above and below the rockbolted height, is the most widespread version. The dual height telltale was first developed by British Coal in the early 1990's as rockbolting was introduced to replace steel arch support and the success of this support system in deep coal mines has been widely ascribed to the use of this safety device. Since its adoption, many permutations and improvements on the basic design have been developed and applied worldwide to suit different mining circumstances; for instance, triple height telltales are commonly used where a combination of roofbolts and longer tendons are installed at the face of the heading. The choice of appropriate movement action levels is vital for safety. Experience has also shown that systematic management of the application of the telltale warning system is required to ensure that appropriate action (usually the installation of additional support) is taken in time when action levels are exceeded. In Australia, this is exemplified in the TARP approach. Another major development has been an intrinsically safe remote reading dual height telltale system which allows up to 100 electronic telltales to be connected with a twin core cable and read, using either a portable read-out, from the end of the roadway, or a surface PC via a telephone cable connection. In the latter configuration, a real time display of roof condition is obtained whilst retaining the immediate visual indication underground. A recent development is the "Autowarning" telltale. This provides a warning of impending goafing in depillaring operations via high visibility, flashing LEDs. The paper describes these and other telltale developments and provides case histories of their application worldwide, including UK, India, and USA.

1. WPROWADZENIE

Słowo „telltale” używane jest do określenia czujnika tensometrycznego, który zawiera wizualny wskaźnik ruchu górotworu w przestrzeni przyściennej i ma na celu zapewnić wizualne ostrzeżenie o nadmiernej deformacji (przemieszczaniu się) górotworu.

Czujniki tensometryczne telltale stosuje się głównie w chodnikach kopalnianych, w których zabudowano obudowy kotwione, w celu ostrzegania przed nadmiernym ruchem stropu lub krawędzi wybierania. Firma Rock Mechanics Technology (obecnie część brytyjskiej firmy Golder Associates Ltd) opracowała cały szereg czujników tensometrycznych telltale od najprostszych modeli mechanicznych do najnowszych urządzeń elektronicznych i systemów automatycznego ostrzegania. Niniejszy artykuł opisuje zarówno same produkty, jak też ich zastosowanie na całym świecie.

2. OPRACOWANIE I ZASTOSOWANIE MECHANICZNYCH CZUJNIKÓW TENSOMETRYCZNYCH TELLTALE DO WYKRYWANIA RUCHÓW GÓROTWORU

2.1. Pojedyncze czujniki tensometryczne telltale (do pomiaru pojedynczej wysokości)

Podstawowym zastosowaniem czujników tensometrycznych telltale jest rejestrowanie odkształceń górotworu w chodnikach, w których zabudowano obudowy kotwione. Jest to niezbędne, ponieważ nie zawsze występują widoczne oznaki nadmiernego ruchu górotworu.

W najprostszy sposób można powiedzieć, że mechaniczny czujnik tensometryczny telltale składa się ze wskaźnika ruchu górotworu (zwykle oznaczonego kolorowymi paskami i/lub skalą) umieszczonego na wylocie wywierconego otworu i zakotwionego w tym otworze. Pierwsze czujniki tensometryczne telltale miały po prostu formę dłuższego trzpienia punktowo zakotwionego powyżej poziomu obudowy kotwionej, wystającego ze stropu i wskazującego ruch w płaszczyźnie zabudowanej obudową kotwioną [1, 2]. Wadą tego czujnika była ograniczona wysokość monitorowania jak również nieprawidłowe odczyty spowodowane naciskiem bocznym stropu, co mogło doprowadzić do sytuacji, w której trzpień czujnika tensometrycznego telltale zostałby zatrzymany na całej swojej długości i pociągnięty w dół razem ze stropem.

Typowy pojedynczy (o pojedynczej wysokości) czujnik tensometryczny telltale składa się obecnie z rurki wzorcowej, rurki wskaźnika, drutu ze stali nierdzewnej oraz kotwi sprężynowej zamocowanej w odległości dwukrotnej wysokości kotwienia (Rys. 1).

1. INTRODUCTION

The term ‘telltale’ is used to denote a strata extensometer which incorporates a visual indication of strata movement into an excavation and is intended to provide a visible warning of excessive ground deformation.

The application of telltales is primarily in rockbolt supported mine roadways to give warning of excessive roof or rib movement. Rock Mechanics Technology (now part of Golder Associates (UK) Ltd) has developed telltale devices ranging from the simplest mechanical types through to the latest electronic and auto warning configurations. These products and their applications worldwide are described in this paper.

2. DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE MECHANICAL STRATA MOVEMENT TELLTALE

2.1. Single height telltales

The principal application of telltales is to monitor strata deformation in rockbolt supported roadways. This is necessary because visual indications of excessive movement are not always present.

At its simplest, a mechanical telltale consists of a strata movement indicator (usually with coloured bands and/or graduations) positioned in the mouth of a drilled hole and attached to an anchor installed up the hole. The earliest telltales were simply longer bolts, point anchored above the support bolt horizon, and left protruding from the roof to indicate movement within the bolted horizon [1, 2]. These suffered from the disadvantages of limited monitored height and false readings caused by roof shear, which can result in the telltale bolt being trapped along its length and pulled down with the roof.

A typical single height telltale now consists of a reference tube, an indicator tube, a stainless steel wire and a spring anchor positioned at twice the bolted height, as shown in Figure 1.



Rys. 1. Pojedynczy czujnik tensometryczny telltale
Fig. 1. The Single Height Telltale

Jednym z problemów związanych ze stosowaniem wyłącznie mechanicznych czujników tensometrycznych telltale zamontowanych w stropie chodników jest trudność dokonywania odczytów na skali przyrządu w przypadku wysokich chodników. Problem ten został rozwiązany w przypadku pojedynczych czujników tensometrycznych telltale poprzez zastosowanie tarczy obrotowej (Rys. 2).

Czujnik przekształca ruch stropu na ruch obrotowy wskaźnika na tarczy i powiększa ten ruch przy zastosowaniu współczynnika piętnaście. Czujnik ten opracowano w celu spełnienia wymogów stawianych przez Afrykę Południową dotyczących rutynowych systemów monitorujących, które muszą być łatwe w montażu, łatwe do odczytu z dokładnością do 1 mm oraz tanie. Najmniejsze ruchy górotworu można łatwo odczytać, przy czym odczyt jest widoczny z dołu, nawet w chodnikach o wysokości 5 m. Powierzchnia tarczy została podzielona na kolorowe pola odpowiadające wybranym poziomom zadziałania. Takie obrotowe czujniki tensometryczne są obecnie stosowane w kilku kopalniach południowoafrykańskich. Zasada działania czujników obrotowych została opatentowana i takie tanie urządzenia są obecnie produkowane na licencji w RPA.

2.2. Podwójne czujniki tensometryczne telltale (do pomiaru podwójnej wysokości)

Wadą pojedynczych czujników tensometrycznych telltale jest to, że nie zapewniają informacji dotyczącej stanu jakiegokolwiek ruchu występującego w obrębie mierzonej długości. Ruch występujący powyżej wysokości kotwienia jest istotnym parametrem, który może wskazać, że system kotwienia nie zapewnia skutecznego podparcia. Rodzaj dodatkowej obudowy niezbędnej do wykonania w odpowiedzi na taki ruch występujący powyżej wysokości kotwienia zwykle różni się od obudowy stosowanej w przypadku zniekształceń występujących w obrębie wysokości kotwienia (długie ścięgna lub obudowa podporowa w przypadku pierwszym, w przeciwieństwie do dodatkowych kotew w przypadku drugim), tak więc czujnik tensometryczny telltale powinien rozróżniać ruchy występujące w tych strefach.



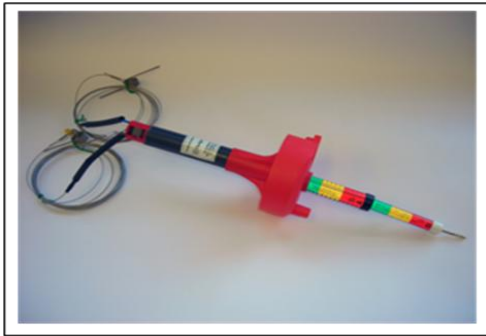
Rys. 2. Obrotowy czujnik tensometryczny telltale
Fig. 2. The Rotary Telltale

One of the problems with purely mechanical telltales installed in the roadway roof is the difficulty in reading the graduated scale in high roadways. This problem has been overcome for single height telltales by developing the Rotary Telltale (Figure 2).

The device converts roof movement into rotation of a pointer round a dial and magnifies the movement by a factor of fifteen. This has been developed to meet a South African requirement for a routine monitoring system that is easy to install, easy to read, accurate to better than 1 mm and low cost. Small movements can be read easily with the reading visible from below, even in a 5 m high roadway. The dial face is subdivided into coloured bands corresponding to chosen action levels. These rotary telltales are currently being used in several South African mines. The rotary principle has been patented and a low cost design is currently manufactured under licence in RSA.

2.2. Dual height telltales

A shortcoming of single height telltales is that they do not provide information on the position of any movement occurring within the monitored length. Movement above the rockbolted height is an important parameter, which can indicate that the bolt system is failing to provide effective support. The type of additional support required in response to movement above the bolted height will usually differ from that needed for deformation within the bolted height (long tendons or standing support for the former compared with additional bolts for the latter), and ideally a telltale should distinguish between movement in these zones.



Rys. 3. Podwójny czujnik telltale
Fig. 3. The Dual Height Telltale

W tym celu wprowadzono czujniki o dwóch lub większej ilości pozycji kotwienia, obejmujące powszechnie stosowane rodzaje czujników tensometrycznych w Australii. Jednak pomimo tego, że istnieje możliwość określenia stopnia odkształceń, zarówno powyżej jak i w obrębie wysokości kotwienia, przy pomocy dodatkowych pozycji kotwienia bez koncentrycznego ustawienia wskaźników opisanego poniżej, w dalszym ciągu niezbędne jest dokonanie porównania i odjęcie odczytanych wyników dla wykonania tego zadania. Podważa to podstawową rolę czujnika tensometrycznego telltale w zapewnieniu natychmiastowego widocznego ostrzeżenia, szczególnie w przypadku wystąpienia ruchów górotworu powyżej wysokości kotwienia.

W celu ułatwienia wprowadzenia obudów kotwionych do brytyjskich kopalń węgla kamiennego, pracownicy British Coal przezwyciężyli ten problem poprzez zaprojektowanie podwójnego czujnika tensometrycznego telltale, który został opatentowany w Wielkiej Brytanii w 1992 roku i we wszystkich krajach świata łącznie z Australią, w których wydobywa się węgiel kamienny (Rys. 3). Najważniejszą cechą podwójnego czujnika tensometrycznego telltale jest to, że bezpośrednio wskazuje występowanie ruchu górotworu zarówno w obrębie, jak i powyżej wysokości kotwienia. Uzyskano to dzięki zastosowaniu dwóch pozycji kotwiących w połączeniu z koncentrycznym układem wskaźników ruchu (Rys. 4).

Układ mocowania wskaźników oznacza, że wskaźnik A bezpośrednio pokazuje odkształcenie stropu w obrębie wysokości kotwienia, a wskaźnik B zawieszony poniżej, bezpośrednio wskazuje odkształcenia powyżej wysokości kotwienia bez konieczności dokonywania jakichkolwiek obliczeń przez obserwatora. Wskaźnik A jest zwykle zamocowany około 0,3 m poniżej końcówki obudowy kotwionej, co od-



Rys. 4. Odczyt podwójnego czujnika telltale
Fig. 4. Reading the Dual Height Telltale

Telltales with two or more anchor positions, including the most commonly used types in Australia, have been introduced to do this. However, although it is possible to determine the movement magnitudes above and within the bolted height using additional anchor positions, without the concentric indicator arrangement described below, it is still necessary to compare and subtract the readings in order to do this. This defeats the primary role of the telltale in providing an immediate visible warning, particularly of movement above the bolted height.

In order to facilitate the introduction of rockbolt support into UK coal mines, staff working for British Coal overcame this problem by devising the dual height telltale, which in 1992 was patented in Britain and coal mining countries worldwide, including Australia (Figure 3). The key feature of the dual height telltale is that it directly indicates movement both within and above the bolted height. This is achieved using two anchor positions in conjunction with the concentric design of the movement indicators (Figure 4).

The anchorage arrangement means that the A indicator directly displays roof deformation within the bolted height and the B indicator suspended below directly shows deformation above the bolted height, without any necessity for calculation by the observer. The A indicator anchor is normally positioned approximately 0.3 m below the top of the rockbolts to coincide with the boundary of the fully reinforced zone. The B anchor

powiada granicy całkowicie wzmocnionej strefy. Pozycja mocowania czujnika B znajduje się zwykle przynajmniej w odległości dwukrotnej wysokości kotwienia. Pełny opis dotyczący opracowania tego urządzenia został przedstawiony przez Bigby'ego i De Marco [3].

W Wielkiej Brytanii, podwójne czujniki tensometryczne telltale instalowane są maksymalnie w odstępach co 20 metrów wzdłuż wszystkich chodników, w których zamontowano obudowy kotwiowe, przy czym wskaźnik B zakotwiony zostaje w miejscu znajdującym się przynajmniej w odległości podwójnej wysokości kotwienia obudowy kotwiowej powyżej płaszczyzny stropu. Tensometry są sprawdzane przez sztygara oddziałowego przynajmniej raz w czasie zmiany i jakiegokolwiek wskazania nadmiernego ruchu górotworu zostają odnotowane w jego raporcie. Podobne praktyki stosowane są wszędzie tam, gdzie montowane są obudowy kotwiowe w stosunkowo trudnych warunkach górniczych, takich jak słaby strop i/lub lokalne wysokie naprężenia górotworu, które przykładowo występują w Europie i Kanadzie. Procedura kontroli bezpieczeństwa bazująca na wykorzystaniu czujników tensometrycznych telltale jest powszechnie uznawana za główny czynnik, który przyczynił się do pomyślnego wprowadzenia obudów kotwionych w tak trudnych warunkach [4].

2.3. Poziomy działania czujników tensometrycznych telltale

Zastosowanie czujników tensometrycznych telltale jako skutecznego urządzenia ostrzegającego o niebezpieczeństwie wymaga ustalenia procedur określających sposób ich stosowania i odczytu oraz określenia jakiego rodzaju działania należy podjąć w zależności od poziomu zmierzonego przesunięcia stropu. Tego rodzaju procedury znalazły się w koncepcji australijskiego dokumentu TARP (Trigger Action Response Plan).

W Wielkiej Brytanii, konkretne wytyczne znajdują się w dokumencie opublikowanym przez brytyjski Health and Safety Executive (HSE) [5]. Dokument ten zaleca, aby dyrektor kopalni określił rutynowe procedury dotyczące przeglądu urządzeń monitorujących zainstalowanych w chodnikach, w których zamontowano obudowy kotwiowe, jak również dotyczące działań niezbędnych do podjęcia przez osoby, które są odpowiedzialne za takie działania. Dokument nakłada również obowiązek posiadania „Planu stref pomiarowych oraz harmonogramu częstotliwości dokonywania pomiarów”. W obszarach „przyległych” tensometry powinny być obserwowane, a wyniki ujęte w sprawozdaniu na każdej zmianie,

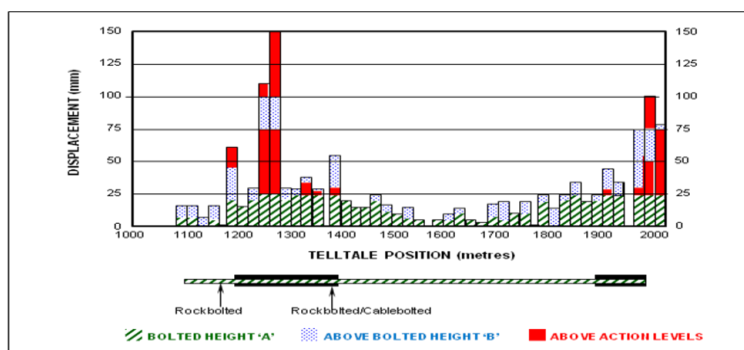
position is typically at least twice the rockbolted height. A full description of the development of this device is given by Bigby and DeMarco [3].

In the UK, dual height telltales are installed at maximum intervals of 20 m along all rockbolted roadways, with the B indicator anchored at least twice the bolted height above the roof horizon. The telltales are observed by the District Official at least once during his shift and any indicating excessive movement noted on his statutory report. Similar practices have been adopted elsewhere where rockbolting is used in relatively difficult mining conditions involving weak roof and/or high local rock stresses, for example in Europe and Canada. A ground control safety procedure based on the use of telltales has been widely credited as a major factor in the successful introduction of rockbolting in these conditions [4].

2.3. Telltale action levels

The use of telltales as an effective safety warning device requires procedures detailing how they should be deployed and read and specifying what action should be taken, depending upon the level of roof dilation measured. This is embodied in the Australian TARP (Trigger Action Response Plan) concept.

In the UK specific guidance is provided in a document published by the UK Health and Safety Executive (HSE) [5]. This document recommends that the Colliery Manager should specify procedures for auditing of routine monitoring devices in rockbolted roadways, actions to be taken and the person responsible for taking the action. There must also be a “Schedule of measurement zones and measurement frequency”. In “Inbye” areas, telltales should be observed and reported each shift and measured and recorded at least weekly. In areas of known or suspected instability they need to be measured and recorded at least daily and in other areas they should be measured and recorded at least once each month.



Rys. 5. Tygodniowe dane z czujników tensometrycznych telltale
Fig. 5. Weekly Dual Height Telltale Data

natomiast pomiar powinien być dokonywany i zapisywany przynajmniej raz na tydzień. Na obszarach znanych lub podejrzewanych jako niestabilne należy dokonywać pomiaru i rejestrować dane przynajmniej raz na dzień, natomiast na innych obszarach należy dokonywać pomiaru i rejestrować dane przynajmniej raz na miesiąc. Rysunek 5 pokazuje typowy wykres tygodniowego zestawu danych z odczytu podwójnych czujników tensometrycznych zainstalowanych w chodniku pokładowym, wskazując gdzie należy podjąć działania naprawcze.

Od początku, tj. od momentu wprowadzenia podwójnych czujników telltale, kolorowe paski zgodnie z normą brytyjska oznaczały: zielony (0-25 mm), żółty (25-50 mm), czerwony (50-75 mm) i standardowo należy podjąć działania w kierunku zamontowania dodatkowych podpór po każdym przesunięciu o 25 mm na którymkolwiek wskaźniku. Uzasadnienie podjęcia działań przy tych poziomach wskazań znajduje odzwierciedlenie w wielu źródłach. Po pierwsze, francuskie doświadczenia wskazują, że istnieje tolerancja 100 mm zanim dojdzie do pęknięcia stropu. Tak więc 25 mm należy traktować jako ostrzeżenie i stosowne jest podjęcie działania przy 50 mm w przypadku niestabilnej tendencji czasowej (tak jak opisał Stillborg [6]). Uzupełnieniem tego były dane z akustycznych tensometrów stosowanych w australijskich kopalniach udostępnione przez ACIRL w czasie wprowadzania obudów kotwionych do kopalń brytyjskich, które wskazywały podobne poziomy ruch górotworu zanim dochodziło do rozwinięcia się zawału stropu. Po drugie, pod uwagę brany jest typowy poziom naprężeń dla pęknięcia calizny węglowej wynoszący około 4 mm/m. Odpowiada to 10 mm przesunięciu na obydwu wskaźnikach dla kotwy o długości 2,4 m, jeśli naprężenie rozłożyło się na całej monitorowanej wysokości.

25 mm przejście na pole żółte wskazuje więc średnie naprężenie wynoszące 10 mm/m w całej monitorowanej strefie, co wskazywałoby na to, że istnieje prawdopodobieństwo tworzenia się znacznych stref słabego stropu w miejscu monitorowania.

Figure 5 shows a typical graph of a set of weekly Dual Height Telltale data for a gateroad, showing where remedial action has been taken.

Since their introduction the coloured bands on standard UK dual height telltales have been green (0-25 mm), yellow (25-50 mm), red (50-75 mm) and, by default, action to provide additional support has to be taken after each 25 mm of movement on either indicator. The rationale behind these action levels was drawn from a number of sources. Firstly, there was French experience that 100 mm of total roof movement could be tolerated before roof failure. Thus a warning at 25 mm and action at 50 mm would seem appropriate for an unstable time trend (as described by Stillborg [6]). This was supplemented by sonic extensometer data from Australian mines, provided by ACIRL during the introduction of rockbolting to the UK, which indicated similar levels of movement prior to roof falls developing. Secondly, it takes into account the typical strain level to failure of coal measures rocks of around 4 mm/m. This translates into 10 mm displacement on either indicator for a 2.4 m rockbolt, if the strain were spread throughout the monitored height. The 25 mm transition to yellow thus indicates a mean strain of 10 mm/m throughout the monitored zone, which would indicate that significant zones of softening are likely to be forming in the monitored column.

Wraz z rozwojem doświadczeń w zakresie stosowania obudów kotwionych w Wielkiej Brytanii, oraz szczególnie ze względu na zebranie ogromnych ilości danych z tensometrów akustycznych oraz czujników tensometrycznych telltale, opracowano poziomy działania dla konkretnych kopalń. Przykłady wyznaczenia poziomów działania dla konkretnych kopalń można znaleźć w opracowaniu Kent'a, Cartwright'a i Biggy'ego [7]. Pomimo, że standardowe podwójne czujniki tensometryczne telltale w dalszym ciągu wykorzystują 25 mm kolorowe pola, w niektórych kopalniach uważa się za konieczne podjęcie działań naprawczych przy poziomie odkształceń poniżej 25 mm, i w tych przypadkach można zastosować specjalistyczne czujniki posiadające kolorowe tarcze o różnych szerokościach. Niższe poziomy podjęcia działania są niezbędne, szczególnie w przypadku wskaźnika B, gdzie strop jest bardziej kruchy niż zwykle, i/lub gdzie poziom miejscowych naprężeń zalegających warstw jest niski. W przypadku warunków, w których występują niskie wartości naprężeń poziomych, luźny strop wykazuje mniejsze prawdopodobieństwo zaciskania w danym miejscu przez przemieszczanie się stropu tak jak ma to miejsce przy wysokich naprężeniach poziomych, co prowadzi do zagrożenia zawaleniem stropu przy mniejszych poziomach rozszerzania się stropu.

2.4. Wykrywanie nacisku bocznego

Pomimo tego, że drut stosowany w podwójnych czujnikach tensometrycznych telltale do zawieszenia wskaźników jest mniej podatny na zablokowanie przez nacisk boczny stropu niż w prętowych czujnikach tensometrycznych, które były wcześniej używane, coś takiego może się ciągle zdarzyć w czynnych warstwach z naprężeniami ścinającymi, dając fałszywe odczyty. Funkcja wykrywania naprężeń bocznych została obecnie dodana do mechanicznych czujników Golder RMT dla umożliwienia łatwego wykrywania jakiegokolwiek blokady drutu w warunkach wysokiego nacisku bocznego. Dołączenie sprężyny na połączeniu drutu z kotwą pozwala na delikatne pociągnięcie wskaźników w dół, po czym wskaźniki powinny wrócić do swojej początkowej pozycji. Jeśli nastąpi opór przy tym pociągnięciu w dół, drut zostanie zablokowany.

2.5. Inne rodzaje mechanicznych czujników tensometrycznych telltale

Od momentu wprowadzenia mechanicznych czujników tensometrycznych telltale, opracowano wiele odmian i usprawnień podstawowego modelu, które dostosowano do różnych warunków górniczych. Po-

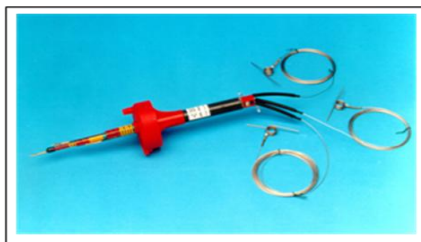
As experience with rockbolting in the UK developed and, in particular, a large quantity of sonic extensometer and telltale data was gathered, more site specific action levels were developed. Examples of determining site specific action levels are given by Kent, Cartwright and Bigby [7]. Although standard dual height telltales still use 25 mm coloured bands, some mines find it necessary to take remedial action at deformation levels below 25 mm and in these cases, specialised telltales with different widths of coloured band may be used. Lower action levels have been needed, particularly for the B indicator, where the roof is more brittle than usual and/or where the levels of in-situ horizontal stress are low. In lower horizontal stress conditions, loosened roof is less likely to be clamped in place by roof shortening in the way that it is under high horizontal stress, leading to a danger of roof falls at lower levels of roof dilation.

2.4. Shear detection

Although the wire used in the dual height telltale to suspend the indicators is less susceptible to being trapped by roof shear than the rod type telltales formerly used, this can still happen in actively shearing strata, resulting in false readings. A shear detection facility is now incorporated as standard in Golder RMT mechanical telltales to allow any trapping of the wire in high shear conditions to be easily detected. The addition of a spring attachment at the wire/anchor joint allows the indicators to be pulled downwards slightly, following which they should return to their initial position. If they resist this downward pull, then the wires are trapped.

2.5. Other mechanical telltale types

Since the adoption of the mechanical telltale, many permutations and improvements on the basic design have been developed and applied to suit different mining circumstances. The Triple Height Telltale



Rys. 6. Potrójny czujnik telltale
Fig. 6. The Triple Height Telltale

trójny czujnik tensometryczny telltale (rys. 6) został przykładowo zaprojektowany w odpowiedzi na coraz częściej stosowane elastyczne kotwie ze stalowego plecionego drutu stalowego jako dodatkowa podpora dla standardowych obudów kotwionych mocowanych za pomocą żywicy. Typowy system kotwienia stropu w Wielkiej Brytanii przy zastosowaniu kotew elastycznych obejmuje mieszanie standardowych obudów kotwionych o długości 2,4 m mocowanych za pomocą żywicy (przy minimalnym zagęszczeniu 1 kotew na metr kwadratowy) oraz 4 m kotew elastycznych mocowanych za pomocą żywicy na 90% słupa. Tak jak nazwa wskazuje, potrójny czujnik tensometryczny telltale posiada dodatkowy koncentryczny wskaźnik w stosunku do czujnika podwójnego. Wskaźnik A (znajdujący się najbliżej stropu) zostaje zakotwiony 0,3 m poniżej górnej części obudowy kotwionej, wskaźnik B (środkowy) zostaje zamocowany 0,5 m poniżej górnej części kotwy elastycznej, a wskaźnik C (najniższy) jest mocowany minimum 5 m powyżej poziomu stropu lub 1 m powyżej elastycznych kotew jeśli są dłuższe niż 4 m.

Pozwala to załodze kopalni, a szczególnie inżynierowi odpowiedzialnemu za montaż obudów na łatwe określenie, czy jakiegokolwiek zmierzone ruchy stropu występują w obrębie wysokości kotwienia (wskaźnik A), w strefie stropu wzmocnionego samymi kotwami elastycznymi (wskaźnik B), czy powyżej wysokości kotwienia (wskaźnik C), co jednocześnie pozwala na zastosowanie najbardziej odpowiedniego rodzaju dodatkowej obudowy tam, gdzie jest to wymagane.

Wiele innych odmian czujników telltale stosuje się w mniejszych ilościach do szczególnych wyspecjalizowanych zastosowań. Dotyczy to czujników ze specjalną wydłużoną rurką referencyjną pozwalającą na umieszczenie czujnika na niższej wysokości w wysokich chodnikach. Przykładem może być czujnik telltale montowany na ścianie (ociosie) wyrobiska. Stosuje się tutaj mechanizm z linką Bowdena w celu przeniesienia wskaźników na ocios wyrobiska dla umożliwienia łatwiejszego dokonywania odczytów. Dodatkowo, obok drutów służących do ustalenia pozycji każdego ze wskaźników, zastosowano trzeci drut w tulei linki w celu wskazania pozycji rurki re-

(Figure 6), for example was developed in response to the increasing use in the UK of steel wire strand flexible rockbolts as an additional support to standard full column resin anchored rockbolts. A typical UK roof bolting pattern employing flexible bolts would include a mixture of 2.4 m full column resin anchored rockbolts (at a minimum density of 1 bolt per square metre) and 4 m, 90% column, resin anchored, flexible bolts. As its name suggests, the Triple Height Telltale has an additional concentric indicator when compared to the Dual Height Telltale. The A indicator (nearest roof) is anchored 0.3 m below the top of the rockbolts, the B indicator (middle) is anchored 0.5 m below the top of the flexible bolts and the C indicator (lowest) is anchored a minimum of 5 m above the roof horizon or 1m above the flexible bolts if they are longer than 4 m.

This allows the mine personnel and particularly the support engineer to easily determine whether any measured roof dilation is occurring within the bolted height (A indicator), in the roof zone reinforced by flexible bolts alone (B indicator), or above the reinforced height (C indicator) and so allows the most appropriate type of remedial support to be applied where required.

Many other permutations of the telltale are in use in smaller quantities for specialised applications. These include special extended reference tube designs to bring the indicators to a lower height in high roadways. The ribside indicator telltale is an example. Here a Bowden cable type mechanism is used to transfer the dual height indicators to the ribside to enable easy reading. In addition to a wire for each indicator position, a third wire is used within the cable sleeve to indicate the reference tube position. This eliminates any error due to wire/sleeve expansion or contraction.

ferencyjnej. Eliminuje to wystąpienie jakiegokolwiek błędu spowodowanego wydłużaniem się lub kurczeniem drutu/tulei.

W przypadku stosowania tradycyjnych czujników telltale, naprężenie drutu uzależnione jest od ciężaru wskaźnika. Powoduje to, że w mniejszym stopniu nadają się do zastosowania w warunkach odkształcających się ociosów wyrobiska, co w rezultacie doprowadziło do opracowania specjalnie w tym celu modelu sprężynowego.

2.6. Zastosowanie na świecie

W ciągu ostatnich dwudziestu lat, mechaniczne czujniki tensometryczne telltale znalazły ogromne zastosowanie w głębokich kopalniach górnictwa węgla kamiennego na całym świecie. Dotyczy to zarówno standardowych podwójnych czujników, jak i wielu innych alternatywnych modeli opracowanych w odpowiedzi na potrzeby kopalń, w których występują specyficzne warunki geotechniczne i eksploatacyjne. W chwili obecnej stosowane są one w wielu kopalniach Stanów Zjednoczonych. Obejmuje to zastosowanie potrójnych czujników telltale w miejscach, gdzie stosuje się równocześnie obudowy kotwowe o różnych długościach. Pojedynczy czujnik telltale z tarczą obrotową jest powszechnie stosowany w kopalniach południowoafrykańskich, gdzie prowadzi się eksploatację komorowo-zabierkową, tj. tam gdzie istnieje konieczność zidentyfikowania i zareagowania na niski poziom ruchu górotworu w wysokich chodnikach. Podwójny mechaniczny czujnik telltale jest także stosowany w bardzo wielu kopalniach węgla kamiennego w Indiach, Indonezji i Norwegii.

3. ELEKTRONICZNY PODWÓJNY CZUJNIK TENSOMETRYCZNY TELLTALE

3.1. Koncepcja

Pomimo tego, że wprowadzenie podwójnego mechanicznego czujnika telltale było znaczącym krokiem do przodu w kontroli bezpieczeństwa w kopalniach, istnieją pewne jego ograniczenia związane z potrzebą dokonywania częstych odczytów wizualnych, a także trudnością w uzyskaniu dokładnych odczytów, szczególnie w wysokich chodnikach. Dodatkowo, istnieje wymóg zdalnego monitorowania obszarów potencjalnie niestabilnych lub niedostępnych. W rezultacie, firma Golder RMT opracowała iskrobezpieczny tensometr z systemem czujników telltale, który jest elektroniczną wersją podwójnego czujnika telltale. Bezstykowy elektroniczny czujnik łączy w sobie takie cechy jak wysoka dokładność przy niskim koszcie, jak również opcje dokonywania odczytu lokalnie lub zdalnie.

With conventional telltales, wire tensioning relies on the weight of the indicator. This makes them less suitable for use in deforming ribsides and consequently spring loaded versions have been developed for this purpose.

2.6. Worldwide applications

Over the last twenty years the mechanical telltale has been adopted in a large number of deep coal mining industries worldwide, both in its standard dual height form and in a number of alternative forms developed to meet the specific local mining and geotechnical environments. They are now in use in a significant number of US mines. This includes the triple height telltale, used where multiple lengths of reinforcement are installed concurrently. The Single Height Rotary Telltale is used widely in South African room and pillar coal mines where low levels of movement in high roadways must be identified and reacted to. The mechanical dual height telltale is also being used in significant numbers in Indian, Indonesian and Norwegian coal mines.

3. THE ELECTRONIC DUAL HEIGHT TELLTALE

3.1. Concept

Although the introduction of the dual height mechanical telltale represented a significant step forward in mining ground control safety practice, it is limited by the need for frequent visual reading and the associated difficulty in obtaining consistent and accurate readings especially in high roadways. In addition there is a requirement for remote monitoring of potentially unstable or inaccessible areas. Consequently Golder RMT has developed an intrinsically safe electronic extensometer and telltale system which includes an electronic version of the dual height telltale. The contactless electronic telltale combines high accuracy with low cost and local or remote reading options.

Charakterystyka systemu czujnikowego telltale ze zdalnym odczytem firmy Golder RMT (RRTT) posiada szereg istotnych cech, takich jak:

- niski koszt transponderów i złączy, co sprawia, że ogólne koszty zakupu są do zaakceptowania,
- łatwy montaż do wykonania przez brygadę chodnikową i system jest niezwykle podobny do standardowych czujników tensometrycznych telltale,
- transpondery dla podwójnej wysokości,
- zachowanie tradycyjnego odczytu wizualnego występującego przy standardowych czujnikach, zarówno poprzez obserwację kolorowych pasków, jak i odczyt na skali milimetrowej,
- brak baterii lub oddzielnych źródeł zasilania dla pojedynczych transponderów,
- cechy umożliwiające dokonanie diagnozy pod ziemią pozwalające na łatwe zidentyfikowanie niesprawnych transponderów,
- łatwa wymiana uszkodzonych transponderów i możliwość uniknięcia konieczności noszenia dużych ilości części zamiennych,
- automatyczny system rozpoznawania dodatkowych transponderów w przypadku ich podłączenia,
- automatyczne generowanie alarmu w przypadku przekroczenia poziomu działania.

Ostateczna wersja systemu gwarantuje wszystkie te wymagania.

3.2. Zasada dokonywania pomiaru

Podstawowa zasada dokonywania pomiaru oparta jest na tym, że indukcyjność cewki jest zróżnicowana w zależności od pozycji pręta ferrytowego w tej cewce. Elektronika pokładowa przekształca indukcyjność na częstotliwość, która jest transmitowana kiedy dany transponder zostaje zaadresowany. Rozwiązanie takie posiada przewagę nad urządzeniami potencjometrycznymi ze względu na brak styku, mniejsze zapotrzebowanie na energię oraz brak podatności na wilgoć. Elektronika przetwarzająca sygnały jest znakomicie dostosowana do analogowych systemów wykorzystujących sygnał wywoławczy oparty na częstotliwości. Wiele wersji takiego elektronicznego czujnika tensometrycznego jest opartych na pojedynczym transponderze bazowym o zakresie do 75 mm przy rozdzielczości 0,1 mm. Transpondery mogą być odczytane zdalnie lub lokalnie za pomocą przenośnego czytnika zaopatrzonego w źródło prądu. Można je odczytywać oddzielnie lub łącznie dzięki połączeniu pojedynczym przewodem z centralnym punktem monitorującym.

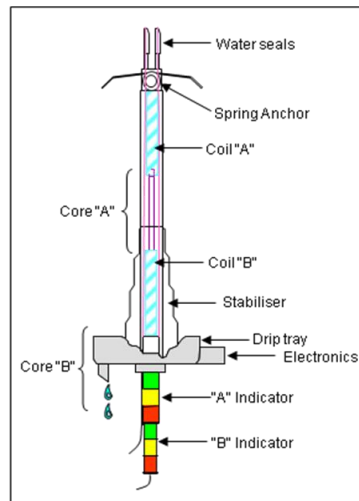
The design specification for the Golder RMT Remote Reading Telltale (RRTT) system contained a number of essential features, namely;

- low cost transponders and connectors, such that the overall cost of ownership remains acceptable,
- simple installation, preferably by the heading team, and as similar as possible to standard telltales,
- dual height transponders,
- retention of the visual reading characteristics of standard telltales, both by observation of the colour bands and reading of a millimetre scale,
- no batteries or separate power supplies for individual transponders,
- underground diagnostic features to allow easy identification of faulty transponders
- easy replacement procedures for faulty transponders and avoidance of the necessity to carry large stocks of spares
- automatic system recognition of additional transponders when they are connected
- automatic generation of warnings when action levels are exceeded.

The final system design achieved all the above requirements.

3.2. Measurement principle

The basic measurement principle used is that the inductance of a coil varies depending upon the position of a ferrite rod within that coil. The on-board electronics convert the inductance to a frequency which is transmitted down the line when the transponder is addressed. This has the advantage over potentiometric devices of being contact-less, requiring very low power and not being susceptible to moisture. The signal conditioning electronics are well suited to an analogue, frequency based interrogation system. Numerous forms of this electronic extensometer are available based on a single basic transponder design with a range up to 75 mm at 0.1 mm resolution. Transponders can be interrogated remotely or locally with a portable readout unit which also provides the power source. They can be read separately, or connected together by a single cable to a central monitoring point.



Rys. 7. Elektroniczny transponder czujnika
Fig. 7. The Electronic Telltale

3.3. Transpondery czujnika tensometrycznego telltale

Transpondery czujnika tensometrycznego telltale (Rys. 7) są dostępne w wersjach pojedynczych i potrójnych jak również w wersji podwójnej. Zaprojektowane są tak, aby zmieściły się w otworach o średnicy 35-45 mm, w których zamocowano drut ze stali nierdzewnej na każdym poziomie otworu za pomocą prostej kotwy sprężynowej. Druty te przenoszą względnie osiowe przemieszczanie się górotworu w kierunku mechanizmów pomiarowych znajdujących się w korpusie transpondera. Posiadają one widoczne, koncentryczne wskaźniki z 25 mm kolorowymi paskami oraz milimetrową skalą, umożliwiającymi bezpośredni odczyt wzrokowy jak również pomiar elektroniczny. W każdym transponderze, dwa pręty ferrytowe są bezpośrednio podłączone do odpowiednio wskaźnika A oraz wskaźnika B, tak jak pokazano to na rysunku 7.

Elektroniczne transpondery czujnika telltale są zewnętrznie podobne do czujników wzrokowych Golder RMT i są tak zaprojektowane, że mogą być używane tylko w pionowych otworach. Alternatywne transpondery tensometru zawieszono na drucie nie posiadają możliwości odczytu wzrokowego, ale ich przewagą jest posiadanie mechanizmu napinającego sprężynę, co pozwala na ich użycie w otworach, które nie są pionowe. Są one dostępne w modelach dla jednej, dwóch i czterech wysokości pomiarowych.

3.4. System zdalnego odczytu

System zdalnego odczytu podwójnych czujników tensometrycznych telltale pozwala na podłączenie do 100 elektronicznych czujników za pomocą przewodu

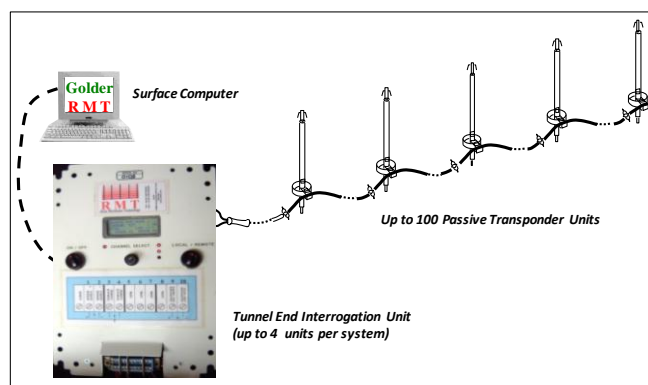
3.3. Telltale transponders

The telltale transponders (Figure 7) are available in single height or triple height versions as well as dual height. They are designed to fit into 35-45 mm diameter boreholes with a stainless steel wire attached to each borehole horizon using a simple spring anchor. These wires transfer the relative axial displacement of the rock to the measurement mechanisms located within the transponder body. They incorporate concentric visible indicators with 25 mm coloured bands and millimetre scales to allow direct visual reading, as well as the electronic measurement system. In each transponder the two ferrite rods are directly connected to the A and B indicators respectively as shown in Figure 7.

Electronic telltale transponders are outwardly similar to Golder RMT's visual telltales and are designed to be used in vertical holes only. The alternative wire extensometer transponders do not have the visual reading facility but have the advantage of a spring tensioning mechanism, allowing them to be deployed in non-vertical boreholes. These are available in one, two and four height models.

3.4. Remote reading system

The remote reading dual height telltale system allows up to 100 electronic telltales to be connected with a twin core cable and are read using either a por-



Rys. 8. System czujników Telltale ze zdalnym odczytem
Fig. 8. Remote Reading Telltale System Transponder

dwużyłowego i umożliwia odczyt na przenośnym czytniku znajdującym się na końcu chodnika lub poprzez komputer PC znajdujący się na powierzchni, który połączony jest kablem telefonicznym (Rys. 8). Wysoce niezawodny system oparty na sygnale częstotliwości jest używany przez miejscową jednostkę łączności w celu adresowania i kierowania sygnału wywoławczego dla każdego transpondera. Każdy transponder posiada konkretny adres tonowy. Kiedy taki ton zostanie umieszczony w linii przez jednostkę kierującą sygnał wywoławczy, odpowiedni transponder odpowiada za pomocą dwóch tonów reprezentujących odczyty wskaźnika A i B.

Transpondery można zainstalować za pomocą prostego połączenia zagniatanego bez konieczności zatrudniania specjalisty. Pod ziemią, jedynym wymaganym źródłem zasilania jest zasilanie 12 volt do jednostki kierującej sygnał wywoławczy. Poszczególne transpondery pobierają niezbędną niewielką ilość energii z tej samej linii, która przekazuje odczyty i adresuje sygnały danych. Długość przewodu pomiędzy podziemnym stanowiskiem dokonywania odczytów i najdalej oddalonym transponderem może wynosić do 2 kilometrów. Komputer PC zdalnego sterowania może znajdować się w odległości do 10 km od podziemnej jednostki monitorującej. Jeden komputer PC może monitorować do 4 zestawów transponderów. W takiej konfiguracji uzyskuje się odczyt stanu stropu w rzeczywistym czasie przy jednoczesnym utrzymaniu natychmiastowego odczytu wzrokowego danych pod ziemią. Do systemu można również podłączyć pojedyncze, podwójne i poczwórne tensometry stropu i krawędzi wybierania oraz rejestratory konwergencji.

3.5. Odczytywanie przyrządów i analiza danych

Główną funkcją systemu RRTT jest udostępnienie w rzeczywistym czasie danych na temat stanu wszystkich podłączonych czujników telltale w celu

table readout, from the end of the roadway, or by a surface PC, via a telephone cable connection (Figure 8). A highly reliable frequency based system is used by the local communications unit to address and interrogate each transponder. Each transponder has a specific address represented by a tone. When that tone is placed on the line by the interrogation unit, the relevant transponder responds with two tones representing the A and B indicator readings.

The transponders can be installed using a simple crimp connection without the need for specialist staff. Underground, the only power supply required is a 12 volt supply to the interrogation unit. Individual transponders draw their low power requirements from the same line that carries the reading and addressing data signals. There can be up to 2 km of cable between the underground reading position and the most distant transponder. The remote PC can be up to 10 km from the underground monitoring unit. One PC can monitor up to 4 sets of transponders. In this configuration, a real time display of roof condition is obtained whilst the immediate visual indication underground is retained. The one, two and four height roof and rib extensometers and convergence meters can also be interfaced to the system.

3.5. Instrument reading and data analysis

The main function of the RRTT system is to provide real time data on the state of all the connected telltales to allow remedial action to be taken before

umożliwienia podjęcia działań naprawczych zanim dojdzie do rozwinięcia się zawału stropu. Jednakże, system ten działa również jako rejestrator danych pozwalający na przechowywanie danych historycznych do dalszych analiz. Uzyskuje się to na różne sposoby. Dane pierwotne dotyczące częstotliwości magazynowane są zarówno w plikach tekstowych, jak i w formie dostępu swobodnego przy skonfigurowanej częstotliwości skanowania. Dostęp do tych danych można uzyskać za pomocą oprogramowania „Boltmon” na komputerze PC znajdującym się na powierzchni kopalni lub poprzez wczytanie ich do arkusza kalkulacyjnego Excel w celu wykonania wykresów i analizy. Program „Boltmon” otrzymuje w sposób nieprzerwany odczyty z transponderów systemu i, kiedy zostanie raz skonfigurowany, będzie pracował w tle bez dalszej potrzeby interwencji operatora. Program „Boltmon” umożliwi również wyświetlenie danych w sposób graficzny z wybranych odczytów transponderów w rzeczywistym czasie oraz udostępni inne narzędzia diagnostyczne.

Główny interfejs użytkownika jest zapewniony przez program „RRTelltales”. Uzyskuje on dostęp do danych częstotliwości magazynowanych przez program „Boltmon”, konwertuje odczyty na milimetry przesunięcia stropu i wyświetla je na ekranie w formie tabelarycznej. Program „RRTelltales” magazynuje również zarejestrowane dane w pliku dostępu swobodnego, do których można się dostać by załadować je do bazy danych przy użyciu specjalnie do tego celu napisanego programu. Istnieje możliwość ustawienia poziomu „alarmu” dla każdego z monitorowanych wskaźników czujników telltale obejmujących zarówno bezwzględną wartość przesunięcia stropu, jak i stopień zmiany. Uzyskuje się to poprzez zestaw globalnych wartości domyślnych dla całego systemu, przy czym istnieje możliwość dania pierwszeństwa lokalnym wartościom poszczególnych czujników tensometrycznych telltale.

3.6. Certyfikat bezpieczeństwa samoistnego

System uzyskał Europejskie Świadectwo Bezpieczeństwa ATEX w połowie 2000 roku, a ostatnio uzyskał australijskie dopuszczenie IECex do stosowania w potencjalnie wybuchowej atmosferze.

Przykłady zastosowania

Chodnik w kopalni węgla kamiennego w Niemczech

Pierwsze zastosowanie systemu w pełnej skali obejmujące 67 czujników tensometrycznych telltale miało miejsce w 1300-metrowym głównym chodniku podścianowym w niemieckiej kopalni węgla kamiennego w 2001 roku [8]. Był to chodnik o przekroju prostokątnym zabudowany obudową kotwioną ob-

a roof fall develops. However it also acts as a data logger allowing historical data to be stored for subsequent analysis. This is achieved in a number of ways. The raw frequency data is stored in both text file and random access formats at the configured scan rate. This data can be accessed by the “Boltmon” software program running on the surface PC or read into an Excel spreadsheet for plotting and analysis. The “Boltmon” program obtains readings consecutively from the system transponders and, once configured, continues to run in the background with no need for further operator intervention. “Boltmon” also provides a graphical display of selected transponder readings in real time and other diagnostic tools.

The main user interface is provided by the “RRTelltales” program. This accesses the frequency data stored by “Boltmon”, converts readings to millimetres of movement and displays them on the screen in tabular form. The “RRTelltales” program also stores the recorded data in a random access file which can be accessed for subsequent uploading into a database by a purpose written program. An “alarm” level can be set for each of the monitored telltale indicators, for both absolute movement and rate of change. This is achieved through a set of global, default values set for the whole system which can be overridden with a local set of values for each individual telltale.

3.6. Intrinsic safety certification

The system received European ATEX Intrinsic Safety Approval in mid 2000 and has just received Australian IECex approval for use in potentially explosive atmospheres.

Application examples

German coal mine roadway

The first full-scale application of the system, employing 67 telltales, was in a 1300 m longwall maingate access tunnel in a German coal mine in 2001 [8]. This was a rectangular section rockbolted roadway serving a retreating longwall face. The Remote Reading Telltale System was used in order to obtain de-

The screenshot displays a software interface titled "Remote Reading Telltales". It features a table with columns for "Telltale Details", "23/01/2002", "24/01/2002", and "Current Readings (mm), ROM (mm/hr)". The "Telltale Details" column lists roadway names like "1830 G 124MM" and "1830 G 141MM". The date columns show data for January 23rd and 24th, 2002, with sub-columns for "A Ridge", "B Ridge", "Total", and "R.O.M.". The "Current Readings" column has sub-columns for "A Ridge", "B Ridge", "Total", "R.O.M.", and "Action Level Status". The status column contains "Ok" for all entries. At the bottom, a status bar shows "25/01/2002 | 11:39:09 | Interval = 20 | Slots per day = 72 | Active Instruments = 51 | No New Inst's on System | Current User: SuperUser".

Rys. 9. Główny ekran wyświetlacza zdalnie odczytywanego systemu telltale
Fig. 9. Remote Reading Telltale Main Display Screen

sługujący ścianę wybieraną od pola. Zastosowano system czujników telltale ze zdalnym odczytem dla uzyskania szczegółowych informacji dotyczących zachowania się stropu w obszarze przedścianowym i aby sprawdzić jak zachowuje się strop i system podpór za ścianą. Ta konkretna konfiguracja różniła się od „klasycznej” instalacji systemu RRTT ze względu na to, że:

- transpondery nie zostały zainstalowane na czole chodnika w czasie jego drażenia, ale były instalowane w kilku partiach po wydrażeniu chodnika. Jednak istniejący system rejestrujący (mechaniczne czujniki telltale) wskazywały, że przed instalacją występowały bardzo małe ruchy stropu.
- chęć utrzymania odczytów za czołem przodka wybierkowego oznaczała, że należało zachować ogromną ostrożność, aby zapobiec uszkodzeniu transponderów i przewodów znajdujących się na końcówce ściany.

Wstępne pilotowe zainstalowanie 10 transponderów pozwoliło na uniknięcie jakichkolwiek nieprzewidywanych problemów, które zostały zidentyfikowane i usunięte zanim nastąpił montaż pełnej instalacji systemu.

Zaraz potem zmontowano cały system (w czerwcu 2001 roku) z wykorzystaniem 67 transponderów rozmieszczonych pomiędzy cechami 123 i 1108 metrów. Ściana rozpoczęła produkcję 25 czerwca 2001 roku. Ostatni transponder został minięty przez ścianę w październiku 2002 roku. W okresie eksploatacji częstotliwość skanowania ustawiona została na 20 minut w taki sposób, że wyświetlacz systemu był uaktualniany i dane były rejestrowane ze wszystkich podłączonych czujników telltale 72 razy na dobę.

Na rys. 9 przedstawiono przykład głównego ekranu systemu „RRTelltales” w tej kopalni. W pierwszej kolumnie, pod hasłem „Szczegóły dotyczące telltale” pokazane zostały podłączone czujniki. W tym przypadku, podano nazwę chodnika (1830) oraz znaczni-

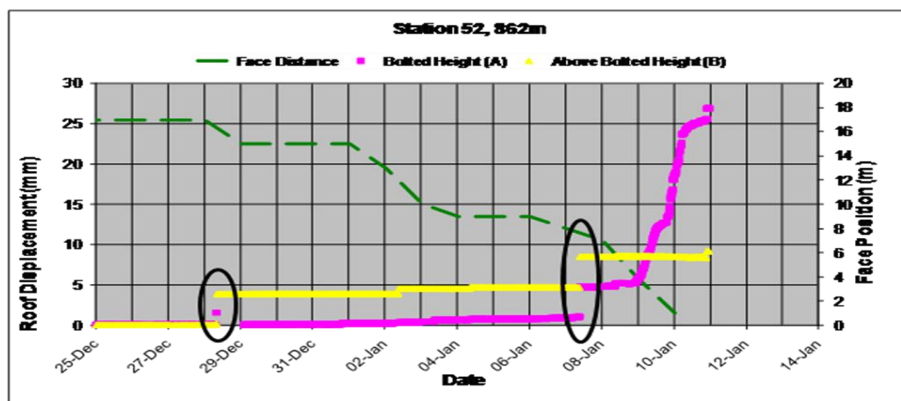
tailed information on roof behaviour in the front abutment area and to help to understand the performance of the roof and support system behind the longwall. This particular configuration differed from a “classic” RRTT system installation in that:

- the transponders were not installed at the face of the roadway during development, but in several batches after the roadway had been driven. However the existing monitoring systems (mechanical telltales) indicated that very little roof movement had occurred prior to installation.
- the desire to maintain readings behind the face meant that great care would be needed to prevent damage to the transponders and cable in the face-end area.

An initial pilot installation with 10 transponders allowed any unforeseen problems to be identified and corrected prior to the full installation.

Following this, the full system was installed during June 2001 with a total of 67 transponders installed between the 123 and 1108 metre marks. The face commenced production on 25th June 2001. The face passed the last transponder on the system in October 2002. During the period of operation the scan rate was set at 20 minutes such that the system display was updated and data was recorded from all connected telltales 72 times a day.

An example of the main “RRTelltales” screen from this site is shown in Figure 9. The connected telltales are shown in the first column under “Telltale Details”. In this case the roadway name (1830) and the metre mark where each telltale is installed are shown.



Rys. 10. Dane ze zdalnie odczytywanego czujnika telltale

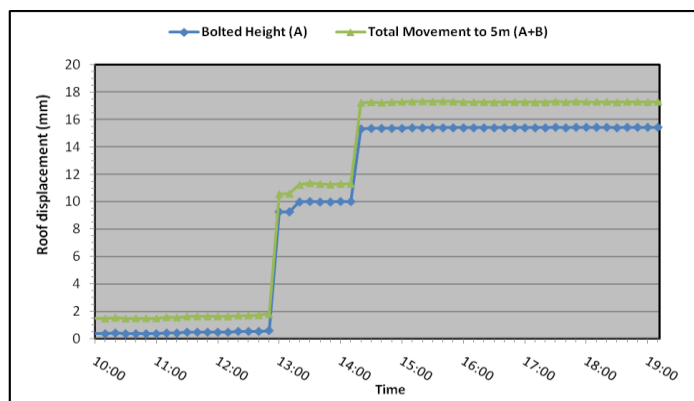
Fig. 10. Remote Reading Telltale Data – Station 52 German Coal Mine Roadway

ki poszczególnych metrów, na których każdy z czujników był zamontowany. Druga połowa ekranu po prawej stronie pokazuje aktualne warunki rejestrowane przez poszczególne czujniki. Pokazane są następujące elementy: A, B i całkowity ruch górotworu w milimetrach, wielkość przemieszczenia stropu (ROM) dla A i B w milimetrach na godzinę, oraz warunki wzbudzenia alarmu dla A, B obejmujące wartość całkowitą i ROM. Kolor tła w kolumnach odczytów dla A i B odpowiada kolorowi paska na transponderze (zielony <25 mm, <50 mm żółty >25 mm, czerwony >50 mm). Odczyty na wyświetlaczu są uaktualniane z prędkością skanowania ustawioną zarówno w programie „Boltmon” jak i „RRTelltales”. Pozostałe kolumny po lewej stronie ekranu pokazują przemieszczanie się stropu zarejestrowane przez czujniki telltale w ciągu poprzednich dni bieżącego tygodnia. Operator może przewinąć ekran do tyłu maksymalnie o 1 tydzień, aby sprawdzić jakie występowały trendy w opadaniu stropu.

Warunki stropowe chodnika podścianowego były znakomite w całym okresie wybierania od pola. Czoło ściany, ogólnie rzecz biorąc, nie miało wpływu na zachowanie się stropu aż do czasu kiedy znalazło się bliżej niż 20 m od chodnika. Rysunek 10 pokazujący szczegółowe dane z czujnika tensometrycznego telltale znajdującego się w stacji 52 na 862 m wskazuje, że żaden ruch nie nastąpił aż do momentu kiedy czoło ściany znajdowało się w odległości 16 m. Wykres ten pokazuje dane rejestrowane co 20 minut i można zauważyć, że poziom szczegółowości danych wskazuje kilka interesujących aspektów ruchu stropu, które można zaobserwować tylko przy zastosowaniu tego rodzaju systemu monitorującego. Szczególnie czujnik B wskazuje ruch stropu występujący w kilku wyraźnych uskokach wynoszących do 4 mm. Czujnik A również wskazuje te uskoki, ale z wyjątkiem 4 mm uskoku, który wystąpił 7 stycznia, są one ogólnie o mniejszej wartości.

The right hand half of the screen shows the current condition of each telltale. This is shown in terms of A, B and Total movement in millimetres, rate of movement (ROM) for A and B, in millimetres per hour, and the alarm condition for A, B, Total and ROM. The background colour in the A and B reading columns corresponds with the visible coloured band on the transponder itself (< 25 mm green, < 50 mm yellow >25 mm, red >50 mm). The readings on this display are updated at the scanning rate set for both “Boltmon” and “RRTelltales”. The remaining columns on the left hand side of the screen show the roof displacements for each telltale for previous days during the current week. The operator can scroll back for up to one week to allow recent trends to be examined.

Maingate roof conditions ahead of the longwall were excellent throughout the face retreat. The face did not generally begin to affect the roof until it was less than 20 m away. Figure 10, which shows detail of telltale data from Station 52 at 862 m, indicates that movement did not begin in this case until the face was some 16 m away. This graph shows each 20 minute data point and it can be seen that this level of detail shows several interesting aspects of roof movement which could only be observed with a monitoring system of this type. In particular, the “B” telltale shows roof movement occurring in several distinct steps of up to 4 mm. The “A” indicator also shows these steps but, except for the 4 mm step on 7th January, they are generally of a lesser degree.



Rys. 11. Dane z aktualnie działającego systemu RRTT pokazujące gwałtowne skoki odkształceń stropu (skanowanie co 10 minut)

Fig. 11. Data from Current RRTT Site Showing Sudden Steps in Roof Deformation (10 Minute Scanning Interval)

Ta pierwsza próba pokazała potencjalne możliwości nowego systemu w zakresie pozyskiwania danych dotyczących procesów odkształcania się stropu, jak również działanie układu jako systemu ostrzegania w rzeczywistym czasie w celu zapobiegania zawałowi stropu w strategicznych chodnikach zabudowanych obudową kotwiową.

Stosunkowo gwałtowne skoki ruchu stropu zaobserwowano na wielu czujnikach tensometrycznych telltale zlokalizowanych w chodnikach w miarę zbliżania się czoła ściany. Podobne wzorce ruchu stropu zaobserwowano od tego czasu w innych kopalniach, co potwierdziło prawdziwość zjawiska. Na rysunku 11 przedstawiono przykład z aktualnie działającego systemu, gdzie czujniki telltale skanowane są co 10 minut. W tym przypadku wystąpiło nagle i gwałtowne przemieszczenie się stropu o około 8 mm, po którym, po 70 minutach nastąpiło następne przesunięcie się stropu o dalsze 6 mm. Żaden dodatkowy ruch nie wystąpił powyżej wysokości kotwienia.

Kopalnia w Wielkiej Brytanii – Monitoring otomowanej przecinki ścianowej

W lipcu 2005 roku w brytyjskiej kopalni zainstalowano system telltale ze zdalnym odczytem, składający się z 13 podwójnych czujników w celu monitorowania przecinki ścianowej na głębokości 800 m. Chodnik ten miał być czasowo zamknięty, aby zapobiec samozapłonowi węgla i potrzebny był system do zdalnego monitorowania warunków zamkniętej części chodnika głównego, w którym zabudowana była obudowa kotwiowa.

Zainstalowany system działał niezawodnie w całym okresie, kiedy chodnik był niedostępny i stosunkowo niewielkie ruchy stropu potwierdziły stabilne warunki, co pozwoliło kopalni nie wycofywać urządzeń z zamkniętego przodka ściany do czasu kiedy urządzenia ścianowe były potrzebne.

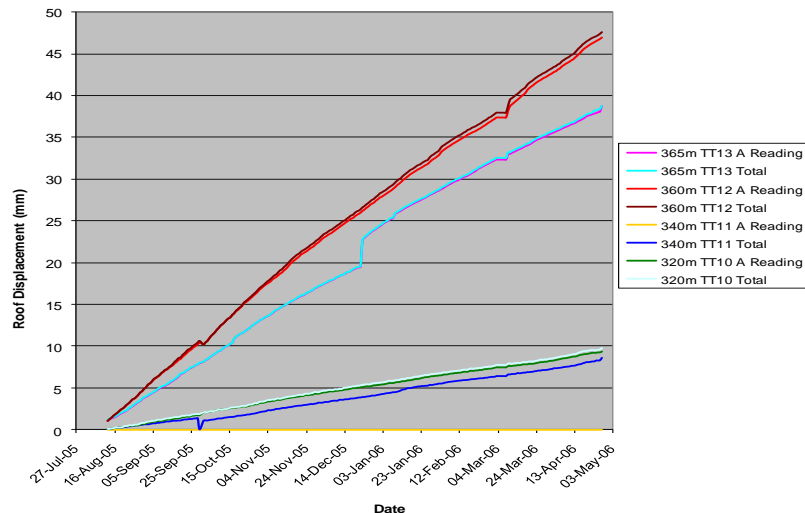
This first trial demonstrated the potential of the new system in obtaining data on roof deformation processes as well as acting as a real time warning system to prevent roof falls in strategic rockbolted roadways

Relatively sudden steps in movement as the face approached were seen on many of the telltales in the roadway and similar patterns of movement have since been observed at other sites, confirming that they are a real phenomenon. An example from a current application site, where the telltales are scanned every 10 minutes, is shown in Figure 11. Here, a sudden immediate roof displacement of approximately 8 mm occurred, followed 70 minutes later by a second displacement of another 6mm. No additional movement above the bolted height occurred.

UK Coal Mine – Monitoring of Sealed Access Road

A remote reading telltale system, comprising 13 dual height telltales, was installed in July 2005 to monitor a faceline access road at 800 m depth in a UK mine. This roadway was to be temporarily sealed until required to prevent spontaneous combustion and the system was needed to remotely monitor the condition of the sealed section of rockbolted main gate.

The installed system operated reliably over the period when the roadway was inaccessible and the relatively low movements, confirming stable conditions, allowed the mine to leave the sealed off face unsalvaged until the face equipment was required.



Rys. 12. Wyniki monitoringu zamkniętej przecinki ścianowej w brytyjskiej kopalni węgla kamiennego
Fig. 12. Monitoring Results from Sealed Access Road in a UK Coal Mine

Zamknięte wcześniej odcinki przecinki ścianowej i przodka ściany zostały ponownie udostępnione w kwietniu 2006 roku, co pozwoliło na wizualne odczyty bezpośrednio na czujnikach i porównać z odczytami wyświetlanymi na komputerze PC na powierzchni kopalni. Potwierdziło to, że system utrzymywał dokładność w granicach 1 mm w ciągu 9 miesięcy działania od momentu zamknięcia chodnika. Maksymalne przemieszczenie stropu w chodniku głównym zabudowanym obudową kotwiovą wystąpiło 5 m od skrzyżowania z linią czoła ściany. Przesunięcie wynosiło 46,5 mm na wskaźniku A (wysokość kotwienia) oraz 1,1 mm na wskaźniku B (powyżej kotew). Urządzenia zostały pomyślnie wycofane ze ściany po ponownym dostępie do tego obszaru i zainstalowaniu podpór o długich ścięgnaach na skrzyżowaniach z wylotem ściany.

Rysunek 12 przedstawia dane z czterech czujników telltale z okresu 9 miesięcy, kiedy chodnik był zamknięty, ilustrując krótkotrwałe wzrosty wielkości przesunięcia stropu spowodowane prawdopodobnie awariami pojedynczych jednostek.

Indonezyjska kopalnia węgla kamiennego, w której prowadzona jest eksploatacja komorowo-zabierkowa

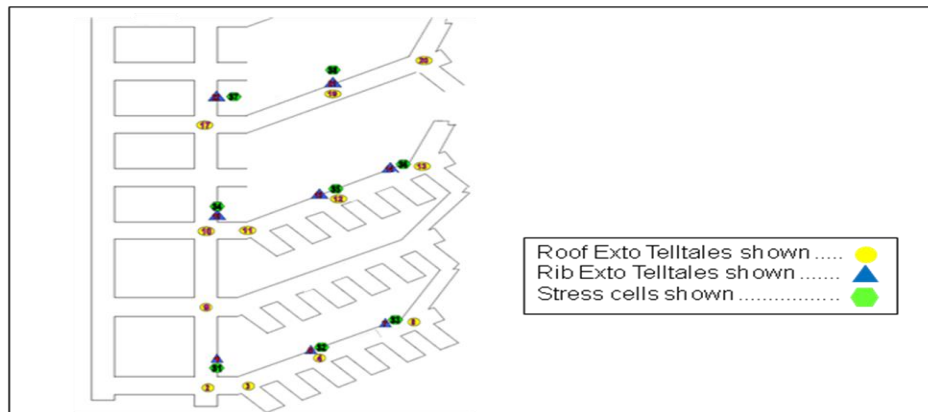
Czujniki tensometryczne telltale ze zdalnym odczytem są obecnie stosowane do monitorowania częściowego wybierania filarowego w eksperymentalnej indonezyjskiej kopalni węgla kamiennego, w której prowadzona jest eksploatacja komorowo-zabierkowa. W tym przypadku stosowany jest przenośny czytnik, który jest podłączany do systemu transponderów umieszczonych pod ziemią. Odczyty są następnie przekazywane do arkusza kalkulacyjnego w celu przedstawienia ich na wykresie graficznym.

The previously sealed lengths of gate road and face line were re-accessed during April 2006, allowing the telltale visual readings to be checked against those displayed on the surface PC. This confirmed that the system had maintained its accuracy to within a millimetre over the 9 month operational period during which the roadway had been sealed. The maximum movement in the rockbolted maingate had occurred 5 m outbye the face line junction. This was 46.5 mm on the A indicator (bolted height) and 1.1 mm on the B indicator (above the bolts). The face was successfully salvaged following re-access of the district and the installation of long tendon support in the face end junctions.

Figure 12 shows data for four of the telltales over the 9 months when the roadway was sealed, again illustrating short term increases in movement rate presumed to be caused by the failure of individual strata units.

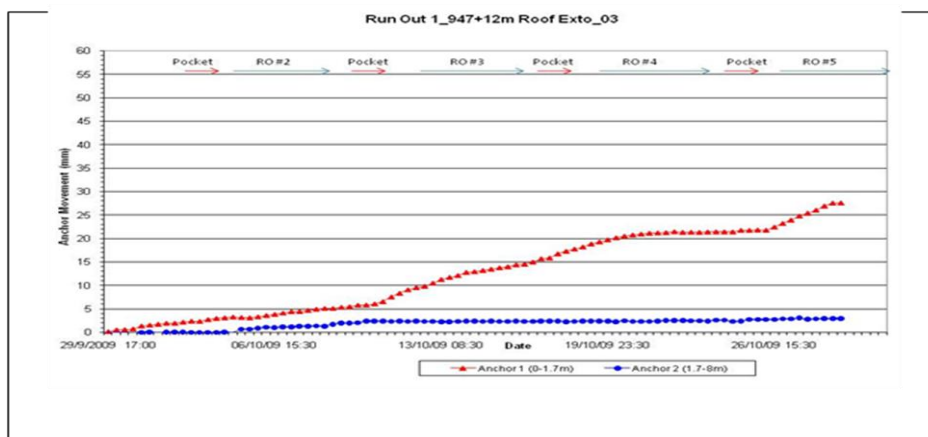
Indonesian room and pillar coal mine

Remote reading telltales are currently being used to monitor partial pillar extraction operations in an experimental Indonesian room and pillar coal mine. In this case the portable readout is used to connect to the chain of transponders underground. The readings are then transferred to a spreadsheet for plotting.



Rys. 13. Plan monitoringu uwzględniający zdalnie odczytywalne czujniki telltale – Eksperymentalna kopalnia węgla w Indonezji

Fig. 13. Monitoring Plan Including Remote Reading Telltales – Experimental Indonesian Coal Mine



Rys. 14. Zdalnie odczytywane dane z podwójnych czujników telltale – Eksperymentalna kopalnia węgla w Indonezji

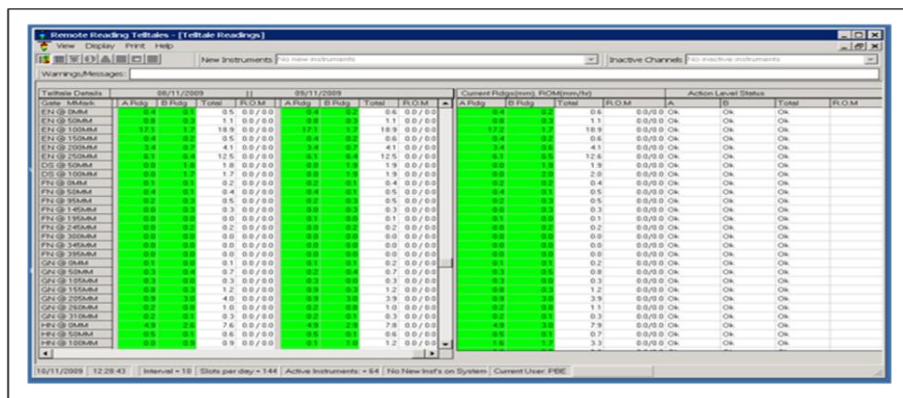
Fig. 14. Remote Reading Dual Height Telltale Data – Experimental Indonesian Coal Mine

Eksploatacja prowadzona jest na głębokości 100 m, a grubość pokładu wynosi 2,5 m. Kopalnia jest prowadzona w układzie połączonych chodników głównych, z których wyprowadzane są kątowe odgałęzienia. Dodatkowo węgiel uzyskuje się z „kieszeni” wybieranych po jednej stronie odgałęzienia. Stabilność odgałęzień i chodników kierunkowych jest przez cały czas monitorowana wraz z postępem eksploatacji.

Montowane tam obudowy składają się z kotew o długości 2,1 m z dodatkowymi ścięgnami w miejscach skrzyżowań, a mocowanie czujników telltale w chodnikach ma miejsce na głębokości do 1,8 m (A) oraz 8 m (B). Rysunek 13 przedstawia miejsce zamontowania przyrządów w odgałęzieniach, natomiast rys. 14 pokazuje typowe wyniki pochodzące z czujników wraz z postępem prac. Rysunek pokazuje dodatkowe ruchy występujące w obrębie wysokości kotwienia, a następnie stabilizację wraz z sukcesywnym wybieraniem kieszeni. Nie wystąpił żaden znaczący ruch powyżej wysokości kotwienia.

The depth of working is 100m and the seam thickness 2.5 m. The mine is being developed as linked main roadways off which angled run outs are driven. Additional coal is obtained by mining out “pockets” from one side of the run outs. The stability of the run outs and laterals is being monitored as this process continues.

The support being installed consists of 2.1 m rockbolts with additional long tendons in junction areas, and the telltale anchors in the roadways are being installed to 1.8 m (A) and 8 m (B). Figure 13 shows the position of the instruments in the run outs and Figure 14 typical telltale results as mining proceeds. The Figure shows additional movement within the bolted height developing and then stabilising as pocketing of successive run outs takes place. No significant movement above the bolts has taken place.



Rys. 15. Obraz ekranu pokazujący dane z czujników telltale – Podziemny zbiornik magazynowy gazu w USA
 Fig. 15. Screenshot of Telltale Data – US Gas Storage Cavern

Zdalnie odczytywany system podwójnych czujników telltale jest obecnie używany do monitorowania stabilności stropu w czasie przygotowywania magazynu gazu w podziemnym wyrobisku w USA. Zainstalowano 64 czujniki telltale w odległości co 15 m w wyrobisku typu komorowo-zabierkowego. System obecnie pracuje i może być w rzeczywistym czasie monitorowany przez inżynierów za pomocą Internetu. Rysunek 15 pokazuje obraz ekranu zarejestrowany w firmie Golder RMT, pokazujący niektóre odczyty z czujników telltale w dniu 10 listopada 2009 roku. Odczyty z przyrządów potwierdzają dobrą stabilność, wykazując bardzo niskie wartości i brak jakichkolwiek wskazań powyżej poziomu działania.

4. CZUJNIK TELLTALE Z AUTOMATYCZNYM SYSTEMEM OSTRZEGANIA

Czujnik telltale z automatycznym systemem ostrzegania został opracowany w oparciu o koncepcję czujnika elektronicznego, który w dalszym ciągu spełnia wymogi bezpieczeństwa samoistnego oraz zapewnia dodatkowe ostrzeżenie o ruchu stropu w postaci widocznych diod LED emitujących błyszczące światło. System zastosowano w obszarach wybranych filarów w wyrobiskach komorowo-zabierkowych w celu ostrzegania przed zbliżającym się zawalem. Jest to oparte na założeniu, że przed wystąpieniem zawału stropu następują mniejsze przesunięcia stropu, które zostają zarejestrowane przez czujniki telltale. System ten jest preferowany w stosunku do systemu monitoringu konwergencji stropu i spągu, który jest podatny na uruchamianie się przez pęcznienie spągu. Ta dodatkowa funkcja ostrzegawcza jest możliwa dzięki temu, że czujnik telltale zawiera zasilanie w postaci alkaicznego ogniwa galwanicznego 1,5 volt oraz LED zabudowane w istniejącej obudowie czujnika telltale (Rys. 16).

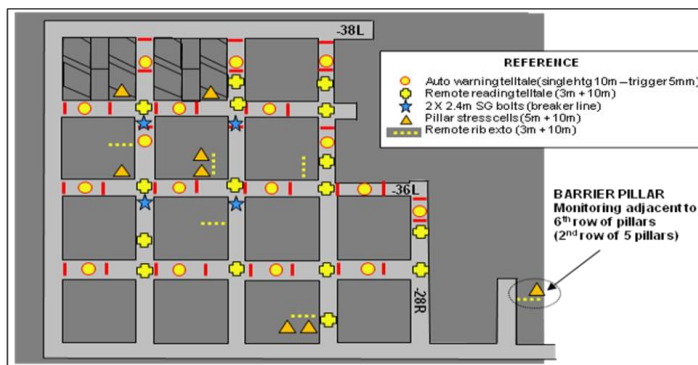
A remote reading dual height telltale system is currently being used to monitor roof stability during development of a gas storage cavern in the USA. Sixty four telltales have been installed at 15 m intervals in a room and pillar type layout. The system is currently live and can be monitored by the engineers in real time on the internet. Figure 15 shows a screenshot taken at Golder RMT of some of the telltale readings on 10th November 2009. The instrument readings confirm good stability with very low readings and none above action levels.

4. THE AUTO WARNING TELLTALE

The auto warning telltale is a development of the electronic telltale concept, still meeting intrinsic safety requirements, and providing an additional high visibility warning of roof movement via flashing light emitting diodes (LEDs). Intended applications include pillar extraction areas in room and pillar workings to give warning of impending goafing. This is based on the premise that goafing events are preceded by smaller scale roof dilation which will be detected by the telltale. It is used in preference over roof to floor convergence monitoring which is susceptible to triggering by floor heave. In order to incorporate this additional warning, the telltale design includes a 1.5 volt alkaline primary cell supply and LED configuration housed within the existing telltale's plastic drip tray moulding (Figure 16).



Rys. 16. Czujnik z automatycznym sygnałem ostrzegawczym
Fig. 16. Auto Warning Telltale



Rys. 17. Plan monitoringu wydobywania filarowego z czujnikami z automatycznym sygnałem ostrzegawczym – Kopalnia w Indiach
Fig. 17. Pillar Extraction Monitoring Plan with Auto Warning Telltales – Indian Coal Mine

Elektroniczny moduł automatycznego ostrzegania uruchamia sekwencję błysków LED, kiedy osiągnięta zostanie wcześniej ustawiona wartość przesunięcia wykryta przez czujnik telltale. W najnowszej wersji czujnika zastosowano minimum 2 diody z opcją zainstalowania 4 diod w miejscach dobrze oświetlonych. Moduł systemu błyskającego posiada żywotność operacyjną ponad 1 miesiąc.

Czujnik telltale z automatycznym ostrzeganiem jest obecnie używany w pierwszych całkowicie zmechanizowanych kopalniach w Indiach, gdzie stosuje się wybieranie filarowe. Czujniki telltale są montowane w środku chodnika i na każdym odgałęzieniu chodnika przed rozpoczęciem wydobywania (Rys. 17). Stosowane czujniki to czujniki pojedyncze z punktem mocowania na wysokości 10 m wewnątrz stropu i zadaną wartością zadziałania przy 5 mm. Takie połączenie dużej wysokości monitorowania z niską wartością uruchamiania ma na celu zapewnienie uruchomienia sygnału ostrzegawczego czujnika zanim mogłoby dojść do dużego zawалу. Czujniki z automatycznym sygnałem ostrzegawczym działają zgodnie z planem, powodując zapalenie się migających diod LED wraz z opadaniem stropu.

5. PODSUMOWANIE

Czujniki tensometryczne telltale stosowane przy obudowach kotwionych w ogromnym stopniu przyczyniły się do kontroli bezpieczeństwa od momentu kiedy zostały opracowane prawie 20 lat temu. Najnowsze modele i wprowadzenie elektronicznego czujnika o większej dokładności z możliwością zdalnego odczytu pozwala na automatyczny monitoring deformacji chodników, w których zainstalowano obudowy kotwione. Uzyskane informacje, jeżeli zostaną w sposób właściwy udostępnione i wykorzystane, mo-

The Autowarning electronic module powers the LEDs in a flashing sequence when a pre-set level of telltale movement is reached. A minimum of two LEDs are employed in the latest version with an option for four LEDs for well lit areas. The flasher module has an operational 'flashing' life of over a month.

The auto warning telltale is currently being used in the first fully mechanised pillar extraction bord and pillar mines in India. Telltales are being installed in each junction and roadway midpoint prior to extraction operations (Figure 17). The telltales used are single height types with the anchor position at 10 m into the roof and a trigger level of 5 mm. This combination of large monitored height and low trigger level is intended to ensure that the telltale warning is triggered prior to a major goafing event. The auto warning telltales are reported to be working as planned with the LEDs flashing as roof failure commences.

5. SUMMARY

The rockbolting telltale has been a major contributor to ground control safety since it was developed in its present form almost twenty years ago. The more recent development and proving of the electronic telltale, with its remote reading capability and improved accuracy, allows intensive monitoring of bolted roadway deformation to be undertaken automatically. The information gained, if properly assessed and used, can play a major role in ensuring safety, optimising support design and confirming the

гą odegrać kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa, optymalizacji konstrukcji podpór i potwierdzeniu stabilności strategicznych chodników kopalnianych. Nie ma wątpliwości, że rola tego typu przyrządów geotechnicznych w kopalniach będzie ciągle rosła, dążąc do całkowitego wyeliminowania zawałów stropu.

stability of strategic roadways. There is no doubt that the role of mining geotechnical instrumentation of this type will continue to grow, with the ultimate aim of eliminating all falls of ground.

Literatura

1. *Blades M.J, Murphy J.M., and Whittaker B.N.*: 1972, Strata bolting, developments in design and application, Colliery Guardian.
2. *Daws G.*: 1987, Coal mine roofbolting, The Mining Engineer, No. 313, Vol. 147, pp 147-1532.
3. *Bigby D., and DeMarco M.*: 2001 Development of the remote reading dual-height telltale system for monitoring mine roof deformation, 20th Int. Conf. On Ground Control in Mining, Morgantown WV, pp 163-172.
4. *Altounyan P, Arthur J, and Waite K.*: 1998 Guidance on the use of rockbolts to support roadways in coal mines – a UK code of practice. Symposium of Rock Mechanics and Productivity and the Implementation of Codes of Practice. West Rand, South Africa,
5. Health and Safety Executive, (HSE), 1996, Guidance on the use of rockbolts to support roadways in coal mines. Deep Coal Mines Advisory Committee, HSE Books.
6. *Stillborg B.*: 1986, Professional Users Handbook for Rock Bolting. Trans Tech Publications.
7. *Bigby D, Cartwright P, and Kent L.*: 1999 Tunnel deformation monitoring “action levels” in coal mines for support/reinforcement design, 18th Int. Conf. On Ground Control in Mining, Morgantown WV, pp 98-107.
8. *Bigby D, Lewis D, and Luttig F.*: 2003 Application of RMT’s remote reading telltale system to monitor roof movement during face retreat at west colliery, Germany 22nd Int. Conf. On Ground Control in Mining, Morgantown WV.

References

1. *Blades M.J, Murphy J.M., and Whittaker B.N.*: 1972, Strata bolting, developments in design and application, Colliery Guardian.
2. *Daws G.*: 1987, Coal mine roofbolting, The Mining Engineer, No. 313, Vol. 147, pp 147-1532.
3. *Bigby D., and DeMarco M.*: 2001 Development of the remote reading dual-height telltale system for monitoring mine roof deformation, 20th Int. Conf. On Ground Control in Mining, Morgantown WV, pp 163-172.
4. *Altounyan P, Arthur J, and Waite K.*: 1998 Guidance on the use of rockbolts to support roadways in coal mines – a UK code of practice. Symposium of Rock Mechanics and Productivity and the Implementation of Codes of Practice. West Rand, South Africa,
5. Health and Safety Executive, (HSE), 1996, Guidance on the use of rockbolts to support roadways in coal mines. Deep Coal Mines Advisory Committee, HSE Books,
6. *Stillborg B.*: 1986, Professional Users Handbook for Rock Bolting. Trans Tech Publications.
7. *Bigby D, Cartwright P, and Kent L.*: 1999 Tunnel deformation monitoring “action levels” in coal mines for support/reinforcement design, 18th Int. Conf. On Ground Control in Mining, Morgantown WV, pp 98-107.
8. *Bigby D., Lewis D., and Luttig F.*: 2003 Application of RMT’s remote reading telltale system to monitor roof movement during face retreat at west colliery, Germany 22nd Int. Conf. On Ground Control in Mining, Morgantown WV.

Recenzent: dr inż. Zbigniew Isakow

НИЗКОЦИКЛИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ НА УСТАЛОСТЬ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЭЛЕМЕНТЫ

Предупредительные датчики telltales, применяемые при использовании анкерных крепей, в настоящее время являются признанными на международном рынке средствами предупреждения об обрыве кровли. Двойные датчики telltale, позволяющие на моментальное измерение, отличающее движение горного массива выше и ниже высоты анкерования, являются наиболее распространённой версией. Двойные датчики telltale первый раз были разработаны British Coal в начале 90-х годов, когда были внедрены анкерные крепи, заменившие традиционные арочные металлические крепи, и когда успех использования таких крепей в глубоких шахтах каменного угля широко приписывано применению данных защитных устройств. С момента внедрения данного датчика на свете разработано и использовано множество вариантов и модификаций основной его версии, приспособивая прибор к разным условиям горной деятельности. Например, тройные датчики telltale широко используются в груди забоя, в местах, где установлены анкерные крепи в соединении с длинными растяжками. Выбор соответствующего уровня срабатывания при движении кровли является решающим фактором для обеспечения безопасности. Опыт показывает, что систематическая эксплуатация системы предупреждения telltale необходима для обеспечения принятия соответствующих мер. Когда заданный уровень срабатывания устройства превышен, обычно выполняется установка дополнительной крепи. В Австралии, например, используется метод TARP. Другим большим достижением было внедрение искробезопасной, дистанционно считываемой, двойной системы telltale. Данная система позволяет подключить до 100 электронных приборов telltale при помощи двужильного кабеля, а также считывать информацию при использовании переносного считывающего устройства, находящегося в конце забоя, или посредством телефонного кабеля при помощи компьютера PC, находящегося на поверхности шахты. В случае второй конфигурации получаем считывание реального состояния кровли в данном моменте при одновременном моментальном визуальном показании данного состояния устройством под землёй. Самым новым решением является датчик telltale с автоматической системой предупреждения. Данное устройство предупреждает о приближающемся обрушении во время столбовой разработки при помощи хорошо заметных, вспыхивающих светодиодов LED. Настоящая статья описывает эти и другие виды датчика telltale, а также приводит примеры их использования в мире, учитывая такие страны как Англия, Индия и США.