



Waldemar KORZENIOWSKI<sup>1</sup>, Krzysztof SKRZYPKOWSKI<sup>1</sup>, Łukasz HEREZY<sup>1</sup>

## Zdalny, nieelektryczny wskaźnik WK-2/8 wartości siły obciążającej kotew w wyrobisku górniczym

Streszczenie: Ocena zachowania się górotworu wokół wyrobisk i skuteczności ich wzmocnienia w podziemnych kopalniach rud jest uzależniona od efektywności współpracy obudowy kotwowej z górotworem, którą można oceniać na podstawie odpowiednio zaprojektowanych pomiarów. Na tle opisanych w literaturze kilku rozwiązań dotyczących sposobów monitorowania obciążenia obudów kotwowych autorzy zaproponowali nowe, oryginalne urządzenie umożliwiające masowe pomiary w warunkach kopalnianych. Po przeanalizowaniu zalet i wad istniejących konstrukcji w artykule przedstawiono istotę, zasadę działania oraz metodę pomiaru obciążenia kotwy w wyrobisku podziemnym za pomocą nowego przyrządu. Wykonany prototyp WK-2/8 został wycechowany oraz przetestowany z powodzeniem w warunkach laboratoryjnych w pełnym zakresie pomiarowym. Przyrząd ten, nazwany również wskaźnikiem lub podkładką dynamometryczną, nie wymaga zasilania elektrycznego i umożliwia, stosunkowo precyzyjne (z rozdzielczością 10–14 kN, w zakresie do około 90 kN) i zdalne odczytanie wartości siły osiowej obciążającej kotew (patent AGH) przez każdą osobę znajdującą się w określonym rejonie. Przyrząd może być instalowany w wyrobiskach górniczych w warunkach istniejących obciążeń. Stosunkowo niski koszt wykonania przyrządu pomiarowego, stanowiącego dodatkową podkładkę, jak również łatwy sposób montażu, umożliwiają jego powszechne zastosowanie w kopalniach, gdzie stosuje się kotwienie jako sposób wzmocnienia górotworu.

Słowa kluczowe: monitoring kotwy, wskaźnik obciążenia

## Remote, non-electric rock-bolt loading force indicator WK-2/8 for mining excavation

Abstract: The assessment of a rock's behaviour around excavations and the effectiveness of its reinforcement in underground ore mines is dependent on the performance of the rock-bolt and rock-mass interaction, which can be estimated on the basis of appropriately designed measurements. Based on the background of various measurements solutions described in the literature, concerning rock bolt monitoring methods, the authors proposed a new, original device for mass measurements in mine conditions. After examining the advantages and

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków; e-mail: walkor@agh.edu.pl

disadvantages of existing constructions, the article presents the essence, principle of operation and method of measuring anchor load in an underground excavation with the a instrument, indicator WK-2/8. The prototype has been carefully researched and successfully tested in a full-scale laboratory environment. This instrument, also referred to as a load indicator or force pad, does not require electrical power and allows for relatively accurate (with a resolution of 10-14kN, up to about 90kN loading capacity) and a remote reading of the axle loading of the anchor (AGH patent) by any person present in the specified area. The device can be installed in mining excavations under loading conditions. The relatively low cost of a measuring instrument, practically used as an additional washer, as well as an easy assembly method, makes it universally applicable in mines where anchoring is used as a means of strengthening the rock.

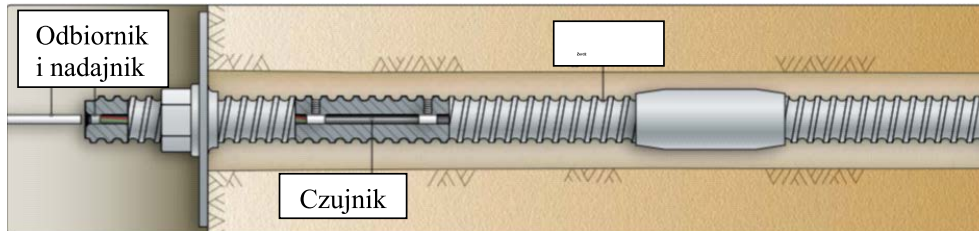
Keywords: rock-bolt monitoring, loading indicator

## **1. Badania i monitorowanie obudów kotwowych**

Do monitorowania obciążenia obudowy kotwowej w praktyce stosuje się wiele różnych rozwiązań opartych na pomiarach wykorzystujących czujniki wymagające zasilania elektrycznego, jak również bardziej lub mniej skomplikowane czujniki mechaniczne, które nie wymagają zasilania. Pośród pierwszej grupy najczęściej wykorzystuje się czujniki strunowe, elektrooporowe, indukcyjne, rzadziej światłowodowe. Ponadto incydentalne nieniszczące testowanie pojedynczych kotew prowadzi się metodami opartymi na analizie widma częstotliwościowego, pola magnetycznego lub innych zjawisk fizycznych. Czujniki elektryczne są zwykle drogie i wymagają obsługi, co w przypadku długotrwałych pomiarów, dla kilkudziesięciu kotew, jest bardzo uciążliwe i z tego powodu nie jest stosowane powszechnie w kopalniach. W takich przypadkach dobrym rozwiązaniem są czujniki mechaniczne pozbawione powyższych wad. W tej grupie są czujniki/wskaźniki obciążenia umożliwiające przybliżoną ocenę wizualną przez obserwatora (ugięcie określonego elementu, deformacja, przemieszczenie itp.) lub bardziej precyzyjną, gdzie wymagane jest zmierzenie określonej wartości przy pomocy odpowiedniego miernika. Niektóre rozwiązania są kombinacją czujnika mechanicznego i elektrycznego (Turek 2012; Turek i in. 2013; Kamiński i in. 2008). Poniżej podano przykładowe reprezentatywne rozwiązania czujników elektrycznych i mechanicznych i na tym tle pokazano nową autorską konstrukcję nieelektrycznego wskaźnika obciążenia kotwy – podkładki dynamometrycznej z możliwością zdalnego odczytu wartości siły.

### **1.1. Pomiar obciążenia kotwy z czujnikiem strunowym**

W początkowym (od strony wyrobiska) odcinku żerdzi kotwy pomiarowej umieszczony jest czujnik strunowy, do którego podczas pomiaru podłączony jest odbiornik i nadajnik. Zasada pomiaru polega na analizie częstotliwości rezonansowych drgań własnych struny (zasadniczy element czujnika strunowego) napiętej wskutek działania określonej siły osiowej. Miernik czujników strunowych zwykle realizuje pobudzenie i odczyt. Po upływie kilku milisekund cewka pobudzająca sprzężona z magnesem stałym staje się elementem odbiorczym i przekazuje do czytnika sinusoidalny sygnał napięciowy o częstotliwości drgań stru-



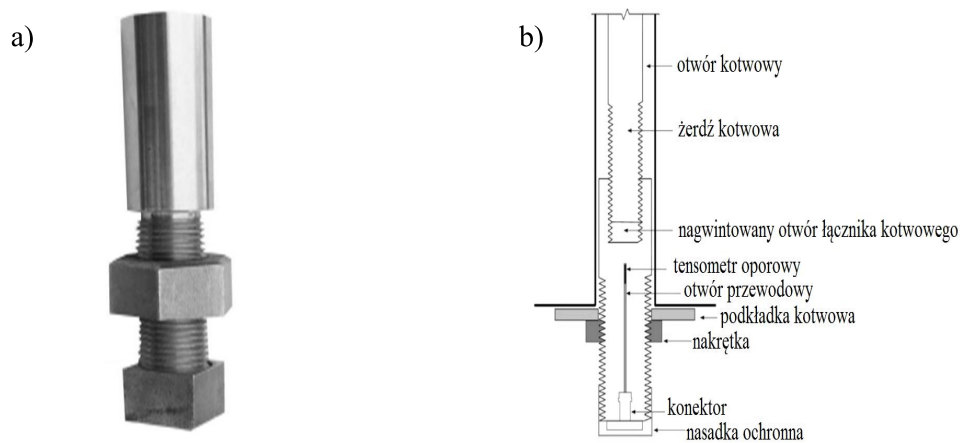
Rys. 1. Kotew pomiarowa z czujnikiem strunowym (Geokon 2017)

Fig. 1. Instrumented rock-bolt with vibrating wire sensor

ny. W czytniku częstotliwość ta jest mierzona cyfrowo, z wysoką dokładnością, przy użyciu precyzyjnego oscylatora kwarcowego. Przykładowe rozwiązanie przedstawia rysunek 1.

### 1.2. Pomiar obciążenia kotwy z wykorzystaniem tensometru elektrooporowego

Innym przykładem czujnika do pomiaru obciążenia obudowy kotwowej rozprężnej jest rozwiązanie wykorzystujące relację pomiędzy rezystancją przewodnika (tensometr elektrooporowy) i jego wydłużeniem proporcjonalnym do wartości odkształcenia obciążonej kotwy. Tensometr jest umieszczony w specjalnym łączniku, który jest wkręcany na żerdź kotwową od strony wyrobiska (Mitri 2011, 2012; Hyett in. 2012) (rys. 2). Łącznik ma średnicę 31 mm przystosowaną dla żerdzi o średnicy 16 mm lub 19 mm. Może być również stosowany w żerdziach o średnicy 22 mm, ale wówczas ma średnicę 35 mm. Znając moduł sprężystości Younga dla stali, z jakiej został wykonany łącznik, pole przekroju poprzecznego oraz odkształcenie, można obliczyć osiową siłę rozciągającą działającą na obudowę kotwową.



Rys. 2. Czujnik obciążenia w formie łącznika

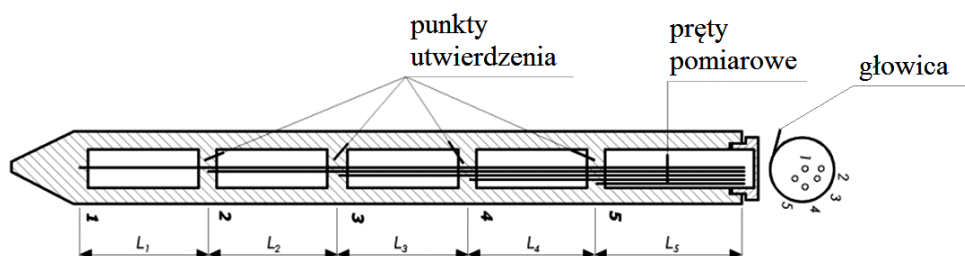
a) widok ogólny, b) połączenie z żerdzią kotwową (Mitri 2011, 2012; Hyett in. 2012)

Fig. 2. Loading sensor as a connector

a) general view, b) connection with rock-bolt rod

### 1.3. Mechaniczna kotew pomiarowa typu MMA

Kotew pomiarowa typu MMA produkcji japońskiej (rys. 3), stanowi swego rodzaju kombinację kotwy i ekstensometru. Jest to wewnętrznie wydrążona kotwa o znanym module sprężystości, w której umieszczono pręty pomiarowe, przytwierdzone w pięciu punktach do wewnętrznych ścianek żerdzi. Na powierzchni zewnętrznej znajdują się karby zapewniające pewność zamocowania (wklejenia) kotwy w górotworze. Zadaniem kotwy jest określenie miejsc zwiększonych naprężeń i odkształceń powstałych na przykład wskutek zaistnienia rozwarstwień górotworu na określonej głębokości oraz określeniu rozkładu średnich sił działających wzdłuż jej osi. Kotwy pomiarowe instaluje się identycznie jak pozostałe i spełniają one również rolę obudowy. Zmiana odległości pomiędzy punktami przytwierdzenia a głowicą pomiarową mierzona jest bezpośrednio czujnikiem przemieszczeń o zakresie do 50 [mm] i dokładności 0,01 [mm].

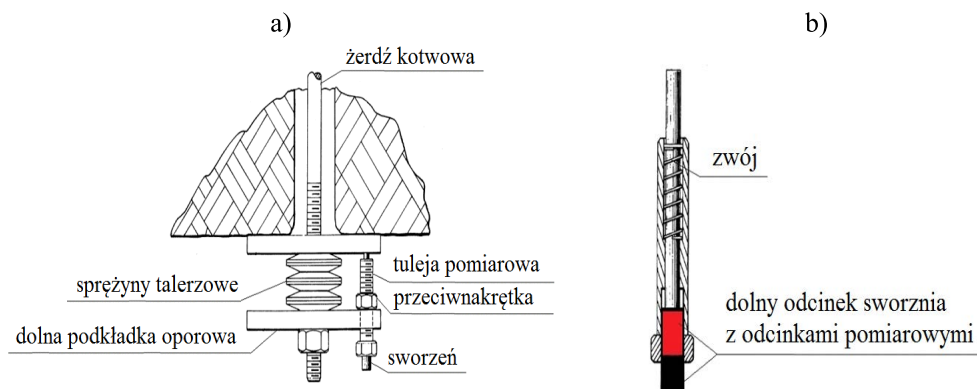


Rys. 3. Mechaniczna kotew pomiarowa MMA (Sorum 1991)

Fig. 3. Mechanical measuring rock-bolt MMA

### 1.4. Talerzowo-sprężynowy czujnik obciążenia kotwy

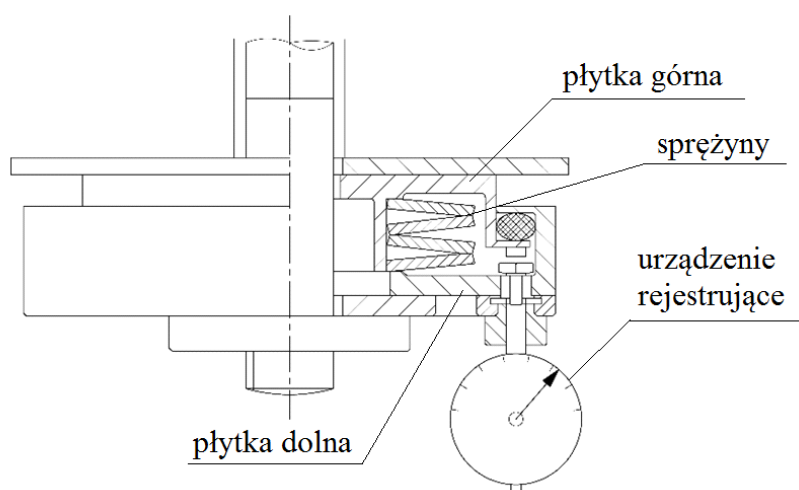
Czujnik instalowany jest pomiędzy podkładką kotwową i powierzchnią wyrobiska. Składa się ze sprężyn talerzowych ograniczonych dwoma płaskimi podkładkami oporowymi (rys. 4). Dolna podkładka od strony wyrobiska posiada otwór, w którym znajduje się nagwintowana tuleja. Wewnątrz tulei umieszczony jest sworzeń mogący przesuwać się wzdłuż dłuższej tulei. W górnej, wewnętrznej części tulei znajduje się sprężyna nawinięta na sworzeń, zapewniająca stały kontakt z górną podkładką oporową. Poszerzona część sworznia od strony wyrobiska składa się z dwóch charakterystycznych odcinków. Pierwszy zewnętrzny odcinek, wystający poza nakrętkę, jest pomalowany na czarno; natomiast drugi, schowany w nakrętce, na czerwono. Podczas instalacji obudowy kotwowej nadawany jest nacąg wstępny, do momentu wysunięcia się sworznia z częścią zaznaczoną na czarno. Pod wpływem obciążenia następuje ściskanie sprężyn talerzowych, oraz wysuw sworznia z tulei pomiarowej. Identyfikacja obciążenia jest wnioskowana na podstawie pojawienia się, wysunięcia sworznia z czerwonym odcinkiem. Znając skok gwintu nakrętki oraz liczbę obrotów potrzebnych do ustalenia poziomu między zakresem czerwonym a czarnym na sworzniu pomiarowym, można jakościowo oszacować obciążenie.



Rys. 4. Czujnik obciążenia obudowy kotwowej  
a) konstrukcja czujnika, b) zakresy pomiarowe sworznia (Gordon 1993)

Fig. 4. Rock-bolt loading sensor  
a) sensor's construction, b) measuring range of the pivot

Czujniki zbudowane na podobnej zasadzie, to na przykład dynamometr sprężynowy typu DSzP-8 składający się również ze sprężyn talerzowych (Podgórski K. i Podgórski W. 1969) (rys. 5) czy też (Bauer 1985). Czujnik mechaniczny składa się z czterech sprężyn, które są umieszczone pomiędzy dwoma płytami oporowymi. Pod wpływem obciążenia, następuje ściśnięcie sprężyn, które jest sygnalizowane wychyleniem wskazówki na czujniku zegarowym.

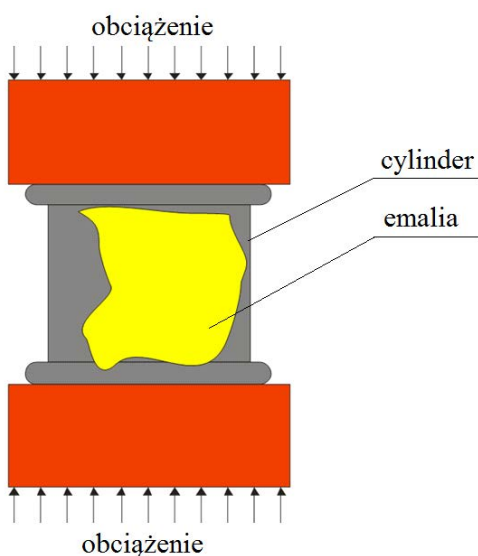


Rys. 5. Dynamometr sprężynowy typu DSzP-8

Fig. 5. Spring dynamometer, type DSzP-8

### 1.5. Cylinder pomiarowy do szacowania obciążenia kotwy

Ciekawym rozwiązaniem określania obciążenia obudowy kotwowej jest zastosowanie cylindra pomiarowego, umieszczonego pomiędzy podkładką kotwową a nakrętką. Cylinder jest pokryty emalią metaliczną (białą lub fluorescencyjną). Cechą charakterystyczną czujnika jest jego zniszczenie, które następuje przy odkształceniu o około 20% mniejszym niż wynosi granica plastyczności żerdzi kotwowej (Peng i in. red. 2001). Pomiar obciążenia jest realizowany na podstawie obserwacji ubytku pola powierzchni emalii z cylindra pomiarowego. Jest to szybka obserwacja, ale jednak subiektywna i mało precyzyjna, uzależniona od obserwatora. Zasadę pomiaru pokazuje rysunek 6.



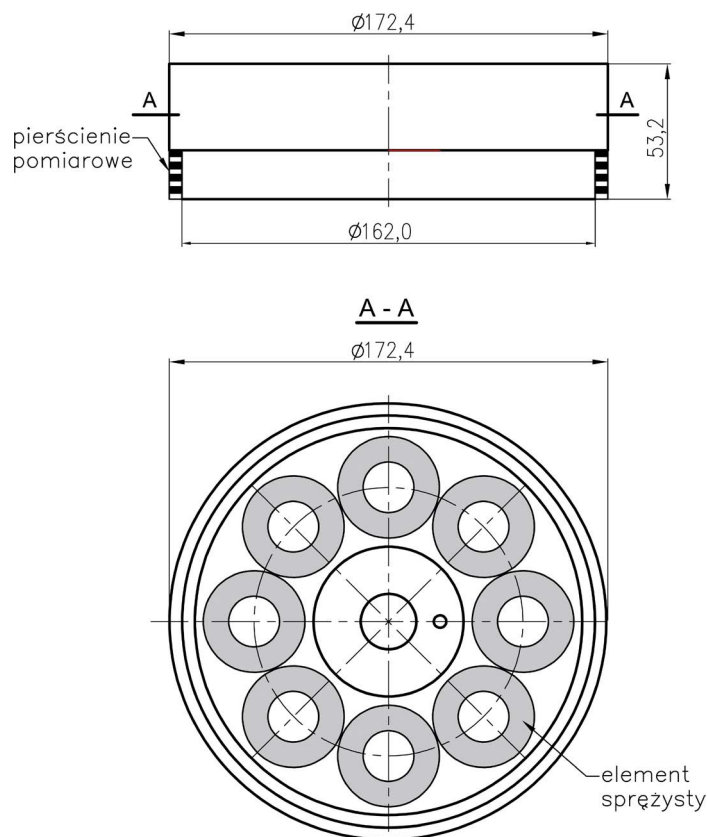
Rys. 6. Zasada pomiaru obciążenia kotwy emaliowana tuleją (Peng i in. red. 2001)

Fig. 6. Idea of load measurements with enameled bush

### 2. Metoda precyzyjnego pomiaru obciążenia kotwy za pomocą prototypowego wskaźnika WK-2/8

Istotą sposobu określenia wielkości obciążenia kotwy za pomocą prototypowego wskaźnika WK-2/8 (rys. 7) jest pomiar odpowiedniego przemieszczenia wynikającego z przyrostu obciążenia osiowego żerdzi kotwowej (rys. 8). Na żerdzi, pomiędzy obrysem wyrobiska (np. stropem) a nakrętką lub łbem kotwy umieszcza się przyrząd, który jest jednocześnie dynamometryczną podkładką kotwową (rys. 9). Składa się on z dwóch cylindrów, które przesuwają się względem siebie wskutek działania na nie i na umieszczone wewnątrz elementy sprężyste, obciążenia ściskającego i wynikającego z tego faktu przyrostu siły. Para

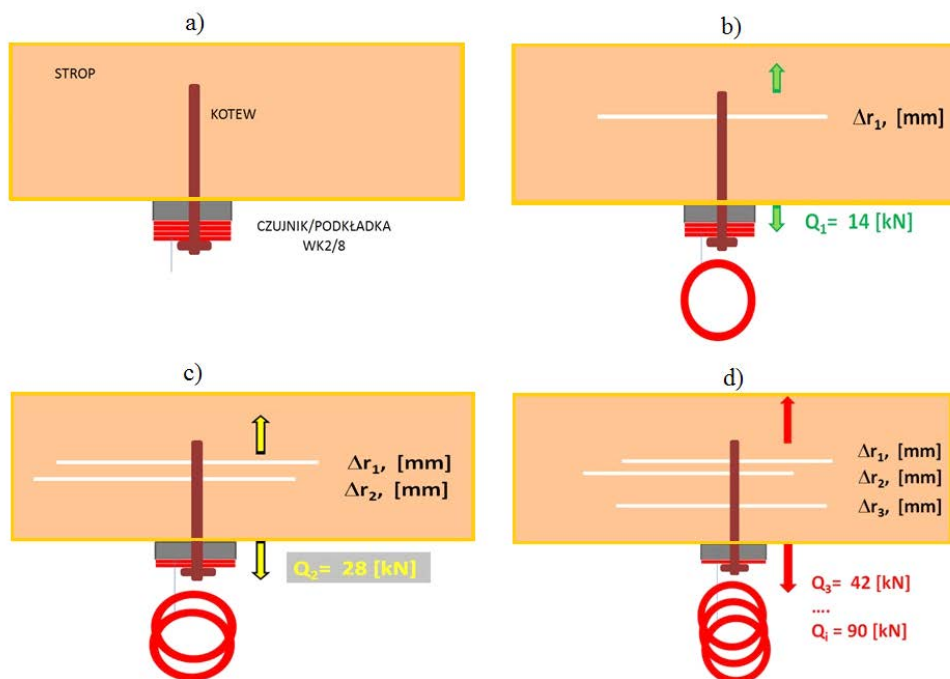
cyldrów, zewnętrznego o większej średnicy i wewnętrznego o mniejszej, skierowane są wklęsłymi stronami do siebie i swobodnie nasuwają się wzajemnie, pokonując opór, uprzednio precyzyjnie wycechowanych elementów sprężystych. Na wewnętrznym cylindrze umieszczone są pierścienie pomiarowe z zastosowaniem ciasnego pasowania uniemożliwiającego samoistne ich przesuwanie, mogące przesunąć się wskutek obciążenia kotwy, które wyraża się wartością siły osiowej działającej wzdłuż kotwy (Korzeniowski i in. 2016). Grubość każdego pierścienia pomiarowego dobiera się do charakterystyki obciążeniowo-odkształceniowej elementu sprężystego. Po zsunięciu i odpadnięciu poszczególnych pierścieni pomiarowych o znanej grubości określa się wizualnie ich liczbę i w ten pośredni sposób określa się wartości siły osiowej obciążającej kotew.



Rys. 7. Wskaźnik obciążenia kotwy WK-2/8 (podkładka dynamometryczna)

Fig. 7. WK-2/8 rock-bolt loading indicator (dynamometric washer)

Sposób instalacji opisanego wskaźnika odbywa się analogicznie jak zwykłej podkładki kotwowej. Jest ona nakładana jest na kotwę i dokręcana nakrętką lub w inny sposób blokowana na końcówce kotwy od strony wyrobiska. Zaproponowane rozwiązanie umożliwia zdalne, wizualne określenie tej siły osiowej działającej na kotew bez konieczności zasto-

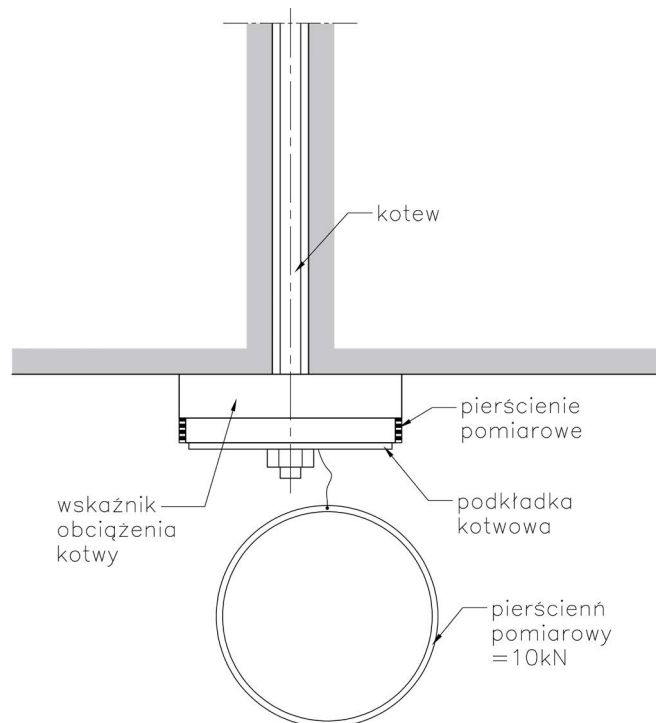


Rys. 8. Zasada działa wskaźnika obciążenia kotwy wynikająca z przyrostu obciążenia  
 a) brak obciążenia, b), c), d) przyrost obciążenia, r – rozwarstwienie, Q – obciążenie

Fig. 8. Operating principle of rock-bolt loading indicator resulting from load increasing  
 a) no load, b), c), d) load increasing, r – stratification, Q – load

sowania dodatkowego urządzenia pomiarowego. Ponadto wskaźnik spełnia rolę i wymagania stawiane typowym podkładkom kotwowym w technologii wzmocnienia górotworu lub w innych zastosowaniach. Szczególną zaletą jest prosta budowa przyrządu i prosty sposób pomiaru możliwy do wykonania praktycznie w każdych warunkach środowiskowych. Prototypowy wskaźnik został wykonany i przetestowany na żerdzi kotwowej typu RS 2N. Składa się on z pary cylindrów, gdzie zewnętrzny ma średnicę 172 mm i wysokość około 53,2 mm. Pomiędzy cylindrami znajduje się osiem elementów sprężystych. Na pobocznicę cylindra wewnętrznego, poniżej krawędzi cylindra zewnętrznego, nasunięte są pierścienie pomiarowe. Teoretycznie można zastosować dowolną liczbę pierścieni w zakresie możliwości przesunięcia cylindrów. Grubość każdego pierścienia pomiarowego dobrano do charakterystyki obciążeniowo-odkształceniowej użytych sprężyn. Pierścienie mogą przesunąć się tylko wskutek działania siły, przenoszonej za pośrednictwem cylindra o większej średnicy. Wielkość skoku cylindra zewnętrznego względem wewnętrznego, podczas nasuwania cylindrów względem siebie, jest równa sumarycznej grubości pierścieni pomiarowych i zawiera się w zakresie do około 10 mm. Obydwa cylindry mają współosiowe, centralnie usytuowane otwory o średnicy odpowiadającej żerdzi kotwowej. Ponadto mają wykonane współosiowe otwory zabezpieczające usytuowane w dnach cylindrów, poza otworem centrycznym, umożli-





Rys. 9. Prototypowy wskaźnik obciążenia WK-2/8 zainstalowany na kotwi tropowej

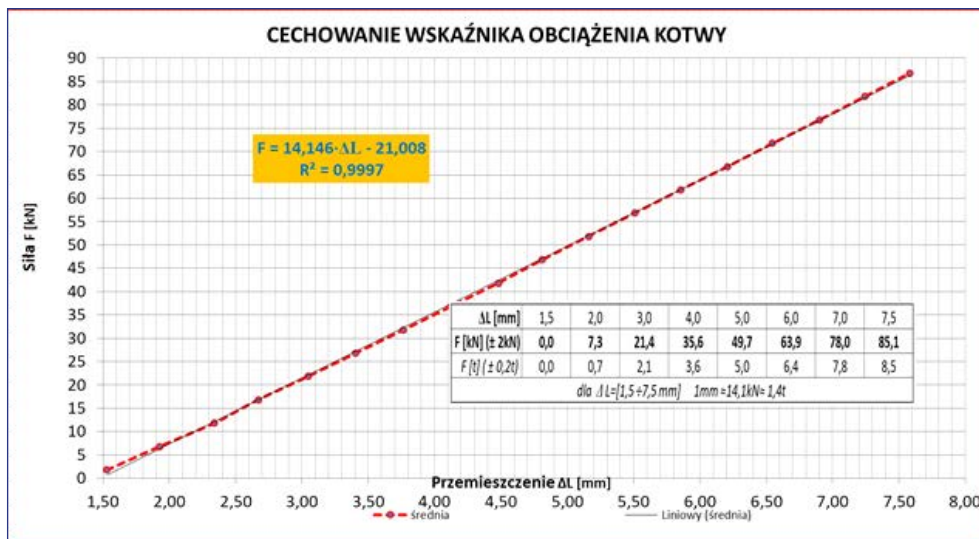
Fig. 9. Prototype of the WK-2/8 rock-bolt loading indicator installed on roof rock-bolt

liwiający przymocowanie zawiesia podtrzymującego opadające pierścienie pomiarowe. Sposób pomiaru obciążenia kotwy polega na wizualnym policzeniu liczby pierścieni pomiarowych, które zostały zepchnięte z cylindra. Grubość jednego pierścienia pomiarowego może być regulowana w zależności od wymaganej dokładności pomiaru.

Pomiary kopalniane powinny być poprzedzone laboratoryjnym cechowaniem przyrządu. Cechowanie (sporządzenie charakterystyki obciążeniowo-odkształceniowej) wskaźnika obciążenia WK-2/8 wykonano na maszynie wytrzymałościowej (rys. 10). Stwierdzono, że zależność przemieszczeń i siły osiowej obciążającej kotew jest liniowa, przy bardzo wysokiej wartości współczynnika regresji wynoszącej  $r^2 = 0,9997$ . W zaprezentowanym rozwiązaniu wartość 1 mm przemieszczenia cylindra wskaźnika odpowiada sile osiowej kotwy wynoszącej 14,1 kN, przy zakresie do około 90 kN.

Zasadnicza różnica pomiędzy konstrukcjami czujników opartych na sprężynach talerzowych i wskaźnikiem obciążenia WK-2/8 polega na zastąpieniu szeregowego układu sprężyn równoległym ustawieniem elementów sprężystych, co istotnie zwiększa zakres wartości mierzonego obciążenia, przy znacznie mniejszych odkształceniach.

W układzie szeregowym w każdej sprężynie działa jednakowa siła ściskającą  $F = F_1 = \dots F_i$ , odpowiadająca wartości siły osiowej obciążającej kotew. Jeżeli wszystkie sprężyny charakteryzują się identyczną sztywnością  $K$ , to wskutek działania tej siły każda z nich



Rys. 10. Charakterystyka obciążeniowo-odkształceniowa wskaźnika obciążenia kotwy WK-2/8

Fig. 10. Loading-strain characteristics of the WK-2/8 rock-bolt loading indicator

odkształci się (ściśnie) o tę samą wartość:  $\Delta s_i = \frac{F}{k}$ , przy czym sumaryczne odkształcenie wszystkich  $n$  sprężyn wyniesie:

$$\Delta S = \sum_{i=0}^n \Delta s_i = n \frac{F}{k} \quad (1)$$

Współczynnik sztywności  $K_s$  wskaźnika jako układu szeregowego wynosi:

$$K_s = \frac{F}{\Delta S} = \frac{F \cdot k}{n \cdot F} = \frac{1}{n} \cdot k \quad (2)$$

W praktyce taka sytuacja oznacza, że zwiększanie liczby sprężyn powoduje większe ściśnięcie czujnika przy tej samej wartości działającej siły. Innymi słowy, zwiokrotniając liczbę sprężyn, nie zwiększa się zakresu wartości siły, lecz tylko odkształcenie.

W układzie równoległym ważna jest zależność:

$$F = \sum_{i=0}^n F_i \quad (3)$$

gdzie:

$F_i$  – siła ściskająca poszczególne elementy sprężyste,

- $F$  – siła wypadkowa,
- $n$  – liczba współdziałających elementów sprężystych,
- $k$  – sztywność pojedynczej sprężyny.

Siła ściskająca  $F$  rozłożona jest równomiernie na wszystkie ( $n$ ) współpracujące elementy sprężyste ( $F_i = F/n$ ), które przemieszczają się o tę samą wartość, tj.:

$$\Delta S = \Delta S_1 = \dots \Delta S_n = \frac{F_i}{k} \quad (4)$$

W tym przypadku sztywność wskaźnika obciążenia  $K_r$  opisuje wzór:

$$K_r = \frac{n \cdot F_i}{\Delta S} = \frac{n \cdot F_i \cdot k}{F_i} = n \cdot k \quad (5)$$

W tej sytuacji zwiększając liczbę elementów sprężystych odpowiednio do przewidywanego obciążenia kotwy zwiększa się jednocześnie zakres mierzonej wartości siły.

### Podsumowanie

Zaproponowany wskaźnik obciążenia kotwy WK-2/8 jest oryginalnym i stosunkowo prostym przyrządem umożliwiającym masowe monitorowanie pracy obudowy kotwowej, w szczególności zamocowanej za pomocą głowicy rozprężnej. Brak elementów wymagających zasilania pozwala na długotrwałą pracę w warunkach kopalnianych. Ponadto prosty sposób wizualnej obserwacji odpadających (i zawisających) elementów pomiarowych pozwala natychmiast określić wartość siły obciążającej kotwę (z rozdzielczością 10–14 kN) z odległości kilku metrów. Sztywność oraz charakterystyka obciążeniowo-odkształceniowa wskaźnika jest liniowa. Dopuszczalne obciążenie kotwy w zakresie do około 90 kN jest mierzone w sposób ciągły. Nawet po przekroczeniu tej wartości wskaźnik ten nadal będzie działał jako dodatkowa podkładka kotwowa. W razie potrzeby istnieje dodatkowa możliwość zastąpienia pierścieni (płytek) pomiarowych czujnikami elektronicznymi z ewentualną transmisją danych.

### Literatura

- Bauer, E.R. 1985. *Ground Control Instrumentation. A manual for the Mining Industry*. Bureau of Mines information circular, USA.
- Geokon 2017. *Instrumented Rockbolt*. [Online] [www.geokon.com](http://www.geokon.com) [Dostęp: 1.07.2018].
- Gordon, R.F. 1993. *United States Patent, nr 5185595*. Rockbolt monitor.
- Hyett i in. 2012 – Hyett, A.J., Mitri, H. i Spearing, A.J.S. 2012. Validation of two new technologies for monitoring the in situ performance of rock bolts. *Seventh International Symposium. Rockbolting and Rock Mechanics in Mining*, Aachen.

- Kamiński i in. 2008 – Kamiński, M., Brożek, J., Kuś, A., Gruszka, J., Kowalski, E., Prusek, S., Rotkegel, M. i Daniłowicz, R. 2008. *Patent RP nr 201915. Element kontrolno-upodatniający pracę kotwi*. Katowice: Główny Instytut Górnictwa.
- Korzeniowski i in. 2016 – Korzeniowski, W., Skrzypkowski, K., Herezy, L., Kulik, M. i Zagórski, K. 2016. *Patent RP nr 226879. Sposób pomiaru obciążenia kotwy oraz dynamometryczna podkładka kotwowa*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków: Sposób pomiaru obciążenia kotwy oraz dynamometryczna podkładka kotwowa – Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; Opis zgłoszeniowy wynalazku; PL 408815 A1; Opubl. 2016-01-18. – Zgłosz. nr P.408815 z dn. 2014-07-11// Biuletyn Urzędu Patentowego.
- Mitri, H. 2011. Evaluation of rock support performance through instrumentation and monitoring of bolt axial load. *11th Underground Coal Operators' Conference*, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Mitri, H. 2012. *Instrumented coupler load cell for rock anchors*. *United States Patent Application nr 20120227507*.
- Peng i in. red. 2001 – Peng, S., Mark, C. i Khair, A. red. i Leonhardt, J.C. 2001. Visual Recognition of the Load of Roof – Bolts by an Indicator. [W:] Peng, Mark and Khair (eds). *20<sup>th</sup> International Conference on Ground Control in Mining*. Lakeview Resort and Conference Center, Morgantown, WV, USA.
- Podgórski, K. i Podgórski, W. 1969. *Obudowa kotwowa wyrobisk górniczych*. Katowice: Wyd. Śląsk.
- Sorum, G. red. 1991. Field Measurements in Geomechanics. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium*. A.A. Balkema, Rotterdam. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Turek i in. 2013 – Turek, M., Prusek, S., Rotkegel, M. i Witek, M. 2013. Wybrane sposoby określania obciążenia kotwi. *XXII Szkoła Eksploatacji Podziemnej*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Turek, M. red. 2012. *Bezpieczeństwo obudowy podporowo-kotwowej w warunkach występowania wstrząsów górotworu*. Katowice: Wyd. Główny Instytut Górnictwa, 185 s.