

Metody badania obudowy kotwowej w Katedrze Górnictwa Podziemnego AGH

Krzysztof Skrzypkowski, Waldemar Korzeniowski, Łukasz Herezy

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii,
skrzypko@agh.edu.pl, walkor@agh.edu.pl, herezy@agh.edu.pl

Streszczenie

W artykule opisano stanowiska laboratoryjne oraz polowe Katedry Górnictwa Podziemnego AGH, umożliwiające badanie rzeczywistej obudowy kotwowej w warunkach zmiennych obciążeń. Szczegółowo omówiono nowe stanowisko laboratoryjne wraz z aparaturą badawczą. Ponadto zaprezentowano wyniki badań obudowy kotwowej rozprężnej, zainstalowanej w betonowym bloku symulującym górotwór. W przedstawionej charakterystyce naprężeniowo-odkształceniowej kotwy wyróżniono dwie znamienne części różniące się wielkością intensywności odkształceń/przemieszczeń przypadających na jednostkowy przyrost wartości siły osiowej obciążającej statycznie kotew, zainstalowaną w górotworze.

Słowa kluczowe: obudowa kotwowa, statyczne i dynamiczne stanowiska laboratoryjne

Research methods of rock bolt support in Department of Underground Mining at AGH

Abstract

The article describes field and new laboratory test facility in the Department of Underground Mining at AGH – University of Science and Technology, which enables testing of rock bolt supports under various load conditions. In detail new laboratory test bed with equipment was discussed. Additionally, results of laboratory researches of expansion rock bolt support installed in the concrete block simulating rock mass was presented. In the presented stress-strain characteristics of the rock bolt, two significant parts with varying intensity of deformation / displacement per unit increase in the value of the axial force under static loading of rock bolt installed in the rock mass was distinguished.

Key words: rock bolt support, static and dynamic laboratory test facilities

Wstęp

Od wielu lat zarówno w Polsce, jak i na świecie prowadzi się badania w celu usprawnienia konstrukcji obudowy, poprawy jej współpracy z górotworem, atestacji czy też opracowania optymalnych metod projektowania. Badania właściwości statycznych i dynamicznych dotyczą pojedynczych elementów obudowy kotwowej oraz obudowy badanej w skali naturalnej. Statyczne badania obudowy kotwowej są realizowane zgodnie z polskimi normami: Kotwie górnicze – badania [19] oraz Metale –

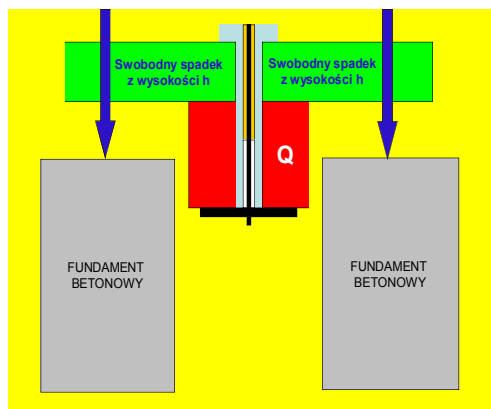
próba rozciągania [18]. W Polsce przedmiotem badań są zarówno kotwy wklejane [2, 16], jak i kotwy rozprężne [8, 13]. W przypadku badań dynamicznych buduje się stanowiska, na których wielkości obciążeń i przebiegi w czasie są zbliżone do rzeczywistych warunków *in situ*. Przykładem mogą być między innymi badania: z zastosowaniem wstrząsarki udarowej [22]; równia pochyła ze swobodnie przemieszczającym się wózkiem [5]; udar masy [4, 7, 10, 11, 17, 21]; symulacja wstrząsu za pomocą MW na powierzchni [14, 15]; symulacja wstrząsu za pomocą MW w warunkach *in situ* [3, 6, 12]. Obecnie na świecie, obudowa kotwowa jest testowana na różnych stanowiskach, w których symulowana prędkość wyrzutu skał dochodzi do kilkunastu m/s [1, 20].

1. Polowe stanowisko laboratoryjne

W Katedrze Górnictwa Podziemnego AGH w 2001 r. zbudowano udarowe stanowisko polowe [7], umożliwiające badania kompletnych obudów kotwowych poddanych obciążeniom dynamicznym (fot. 1 i rys. 1). Dynamiczne obciążanie obudowy kotwowej było realizowane za pomocą walców stalowych o masie 360 kg podwieszonych na trawersie, w których umieszczono tuleje z wklejonymi w nich kotwami o rzeczywistych wymiarach, wraz z odpowiednimi podkładkami i nakrętkami. Tak „uzbrojony” walec był opuszczany swobodnie z wysokości 7 m, aż do udarowego zetknięcia się z fundamentem posadowionym w gruncie, co pozwoliło na uzyskanie maksymalnej prędkości obciążenia w granicach około 12 m/s. Parametry deformacyjne żerdzi kotwowej mierzono za pomocą tensometrów elektrooporowych oraz precyzyjnego mikrometru pozwalającego na określenie zmian średnicy w miejscach przerwania ciągłości materiału, natomiast częstotliwości parametru wzbudzonych drgań za pomocą geofonów.



Fot. 1. Widok ogólny stanowiska polowego Katedry Górnictwa Podziemnego w Regulicach (fot. dr inż. K. Skrzypkowski)



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska polowego w Regulicach

W badaniach określono współczynnik obciążenia dynamicznego według następujących założeń. Siła statyczna obciążająca kotew, wynika z ciężaru bloku skalnego wyodrębnionego z jednej strony powierzchnią stropu i z drugiej strony istniejącym rozwarstwieniem w odległości l_{r1} . Siłę statyczną F_{st} obciążającą kotew i działającą na 1 m^2 zakotwionej powierzchni stropu, można wyrazić, uwzględniając wysokość bloku l_{r1} oraz jego masę m i gęstość ρ :

$$F_{st} = m \cdot g \cdot s = \rho \cdot l_{r1} \cdot s \cdot g \quad (1)$$

$$F_d = W_d \cdot g \cdot s \cdot \rho \cdot l_{r1} = W_d \cdot F_{st} \quad (2)$$

gdzie:

F_{st} – statyczna siła rozciągająca kotew,

m – masa bloku skalnego,

g – przyspieszenie ziemskie,

ρ – gęstość objętościowa skał stanowiących blok skalny,

s – powierzchnia 1 m^2 bloku skalnego,

l_{r1} – wysokość bloku skalnego,

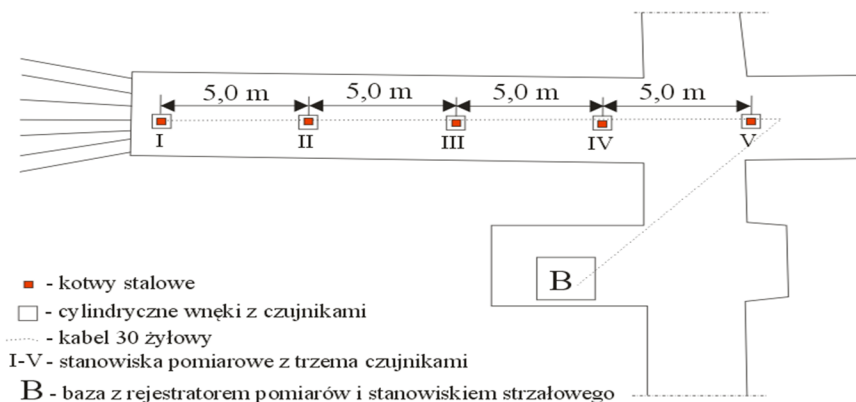
F_d – dynamiczna siła rozciągająca kotew,

W_d – współczynnik obciążenia dynamicznego.

Współczynnik obciążenia dynamicznego W_d dla kotwi stalowej utwierdzonej na całej długości za pomocą ładunków klejowych określono eksperymentalnie na stanowisku badawczym, umożliwiającym badanie kotwi w skali 1:1. Zadając znaną energię, obciążano kotwie podtrzymujące masę 360 kg. Krytyczną wartością, powodującą zerwanie żerdzi kotwowej w 90% zbadanych przypadków, była energia o wartości nieprzekraczającej 25 kJ. Porównując siłę statyczną niszczącą dla danego typu kotwi z siłą wynikającą z obciążenia blokiem o określonej masie, obliczono współczynnik $W_d = 47$, ze wzoru (2) [6].

2. Symulacja wstrząsu za pomocą materiału wybuchowego w warunkach *in situ*

Eksploatacja złóż rud miedzi w kopalniach LGOM realizowana jest z zastosowaniem techniki strzelniczej. Odpalanie kilku lub kilkunastu przodków równocześnie podczas procesu technologicznego wzbudza cyklicznie powtarzające się drgania górotworu. W celu sprawdzenia zachowania się obudowy kotwowej pod wpływem obciążenia dynamicznego, wywołanego detonacją materiału wybuchowego, zostało zaprojektowane specjalne stanowisko badawcze w ZG „Rudna”. W przodku wyrobiska komorowego, odpalano pojedyncze ładunki materiału wybuchowego o coraz większej masie (rys. 2). W samym przodku odwiercono 20 otworów strzałowych o średnicy ϕ 51 mm i długości od 2,0 m do 3,2 m [3]. Za pomocą wiertarki udarowo-obrotowej odwiercone zostały w stropie wyrobiska pionowe otwory pomocnicze o średnicy ϕ 200 mm i głębokości 0,5 m. W dnach tych otworów zainstalowano kotwy, do których następnie przykręcono stalowe cylindry, wyposażone w czujniki pomiarowe. Pięć otworów rozmieszczono w osi stropu w odległości od 2 m do 25 m od przodka. Podczas eksperymentu mierzono prędkość drgań cząstek skał i kotew pobudzonych falą sprężystą, rozchodzącą się wzdłuż jednego promienia w ośrodku skalnym i atmosferze kopalnianej. Rejestrację prowadzono na każdym stanowisku pomiarowym, w którym znajdowały się po trzy czujniki do przetwarzania przemieszczeń cząstek górotworu na drgania elektryczne. Na podstawie badań stwierdzono zależność pomiędzy zastosowaną ilością materiału wybuchowego a indukowaną prędkością drgań cząstek górotworu. Ponadto podano zakres zmienności przyrostu dodatkowej siły obciążającej obudowę kotwową wskutek eksplozji MW w przodku eksploatacyjnym. Stwierdzono, że wartość dodatkowej siły nie przekroczyła 4% wymaganej nośności kotwy, wynoszącej 100 kN [6].



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego w kopalni rud miedzi; rozmieszczenie czujników w stropie wyrobiska [6]

3. Badania obudowy kotwowej w warunkach laboratoryjnych

Stanowiska laboratoryjne Katedry Górnictwa Podziemnego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie są urządzeniami wielofunkcyjnymi, przeznaczonymi do wykonywania badań nad optymalizacją procesu instalowania kotwi, współpracy obudowy kotwowej z górotworem i badań wytrzymałościowych elementów tej obudowy. Pierwsze stanowisko zostało zbudowane w 2000 r. i charakteryzuje się możliwością badania wytrzymałości na rozciąganie żerdzi kotwowych do wartości 500 kN. Stanowisko decyzją Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego zostało dopuszczone do kontroli i atestacji obudowy kotwowej i jej elementów. Stanowisko przeznaczone jest do badań kotew: wklejanych, rozprężnych oraz ciernych. Na stanowisku istnieje możliwość pomiaru takich parametrów, jak: siły utwierdzenia zainstalowanej żerdzi kotwowej, prędkości wrywania kotwy, wielkości wysuwu kotwy, odkształcenia kotwy, czas trwania procesu wrywania. Na stanowisku zostały przebadane, między innymi, kotwy sztywne o prętach żebrowanych w jodełkowym układzie żeber, wykonanych ze stali 34GS. Kotwy wklejono na spoiwie żywicznym, używając do tego celu trzyminutowych ładunków klejowych typu „Lokset” [16].

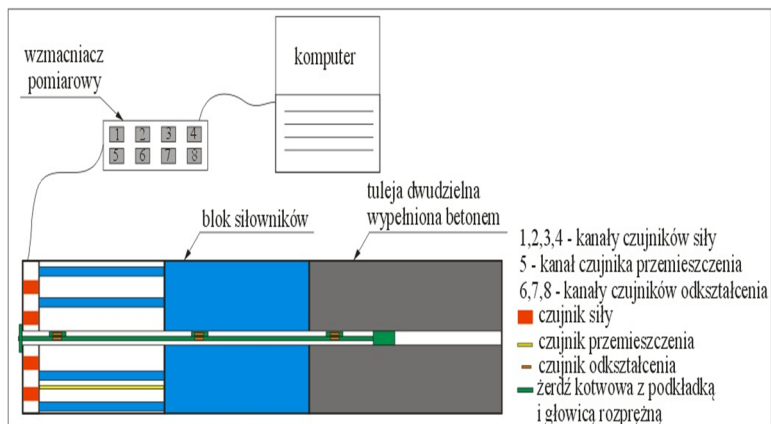
Drugie nowoczesne stanowisko, zbudowane w 2012 r., przystosowane jest do badania długich żerdzi kotwowych do 6 m długości oraz do obciążeń szybkozmiennych. Istnieje możliwość pracy w trzech zakresach maksymalnej siły osiowej rozciągającej: 400 kN, 800 kN oraz 1600 kN. Maksymalne przemieszczenie tłoków wynosi 800 mm. Maksymalna prędkość wysuwu tarczy pomiarowej to 0,03 m/s.

Stanowisko laboratoryjne (fot. 2) składa się z kilku współpracujących ze sobą podzespołów: Hydraulicznego Układu Obciążającego Kotew (HUK) (rys. 3), pulpitu sterującego I, pulpitu sterującego II, pulpitu rejestrującego oraz zespołu agregatu hydraulicznego. Zasilanie układu zapewnia zespół zasilacza hydraulicznego, zbudowanego w oparciu o wielotłoczkową pompę o zmiennej wydajności z regulatorami stałej mocy i stałego ciśnienia. Zasilacz znajduje się w odrębnym pomieszczeniu, w celu eliminacji nadmiernego hałasu towarzyszącego jego pracy. Zbiornik zasilacza hydraulicznego napełniony jest olejem hydraulicznym HL46. Pojemność zbiornika oleju hydraulicznego wynosi 450 dm³. Moc silnika agregatu hydraulicznego wynosi 18 kW. Maksymalne ciśnienie zasilania to 31 MPa. Dodatkowo układ jest wyposażony w presostat (czujnik różnicy ciśnień). Pulpit sterujący I znajduje się w sterowni i służy do ustawienia programów pracy zrywarki. Pulpit sterujący II znajduje się w pomieszczeniu głównym, w bezpośredniej bliskości zrywarki. Jest on używany podczas zabudowy kotwy, a także w czasie przeprowadzania prób statycznych. Na pulpicie rejestrującym znajduje się wzmacniacz pomiarowy (QUANTUM MX840), do którego podłączone są czujniki siły, przemieszczenia oraz odkształcenia. Wyniki badań są rejestrowane na komputerze za pomocą specjalistycznego oprogramowania (CATMAN-EASY) [9]. Hydrauliczny układ obciążania kotew (HUK) składa się z ramy nośnej, na której umieszczony jest blok 8 siłowników hydraulicznych. W zależności od wytrzymałości badanego materiału, mogą być one łączone parami w układzie 2, 4 i 8 wspólnie działających siłowników. W przypadku badania długich elementów na ramę nośną za blokiem siłowników umieszcza się dodatkowo tuleje dwudzielne. W prowadnicach ramy nośnej przemieszcza się trawersa silnika hydraulicznego przesuwane dzięki siłownikom. Zainstalowany silnik obrotowo krzywkowy umożliwia obrót kotwy wokół jej własnej osi. Konstrukcja tulei dwudzielnej umożliwia rozłączenie części górnej i dolnej.

Pomiar siły na stanowisku laboratoryjnym był wykonywany za pomocą czterech tensometrycznych czujników siły. Czujniki były rozmieszczone co 90 stopni na tarczy pomiarowej. Całkowita siła rejestrowana podczas badań rozciągania żerdzi kotwowej była sumą wartości sił uzyskiwanych na poszczególnych czujnikach siły. W badaniach zastosowano czujniki typu KKM 50. Każdy z zamontowanych czujników charakteryzuje się obciążeniem znamionowym równym 500 kN. Pomiar przemieszczeń elementów obudowy (w przypadku braku dostatecznego rozparcia głowicy rozprężnej w bloku) oraz wydłużenia żerdzi kotwowej był wykonywany za pomocą enkodera linkowego inkrementalnego typu HLS-S-10-01. Enkoder ma linkę o długości 1000 mm, dla której maksymalna prędkość przemieszczania wynosi 1000 mm/s, natomiast rozdzielczość enkodera wynosi 0,1 mm/impuls. Enkoder przymocowany jest na stałe do bloku siłowników, natomiast linka enkodera przemieszcza się wraz z wysuwem tarczy pomiarowej. W celu określenia odkształcenia materiału badanego elementu (żerdzi kotwowej) w badaniach zastosowano tensometry elektrooporowe typu kratowego, wykonane z drutu konstantanowego (60% Cu + 40% Ni) o średnicy 0,025 mm. Drucik oporowy został ułożony na podkładce nośnej papierowej (100% bibuła papierowa). Końcówki doprowadzające prąd wykonano z drutu nawojowego (tasiemka miedziana ocynowana o szerokości 0,55 mm i grubości 0,15 mm). Tensometry charakteryzowały się opornością 120 Ω , długością bazy pomiarowej 10 mm oraz współczynnikiem czułości odkształceniowej, $k = 2,15$. Przy osiowym rozciąganiu żerdzi kotwowej tensometry zostały podłączone do wzmacniacza pomiarowego QuantumX 840 w taki sposób, że tensometr czynny t_1 naklejony był wzdłuż osi rozciągania żerdzi, a tensometr kompensacyjny t_2 naklejono na nieobciążony kawałek materiału identycznego z materiałem badanym i umieszczony blisko tensometru czynnego t_1 [23]. Czujniki siły, przemieszczenia oraz odkształcenia zostały podłączone do uniwersalnego wzmacniacza pomiarowego QuantumX MX840 za pomocą wtyczek 15-pinowych. Poszczególne przetworniki zostały podłączone do rejestratora według schematu: pełnego mostka – tensometryczne czujniki siły; półmostka – tensometryczne czujniki odkształcenia, pomiaru częstotliwości z sygnałem o kierunku obrotu (układ unipolarny) – czujnik przemieszczenia (enkoder linkowy inkrementalny). Podczas procesu rozciągania kotwy wyniki pomiarów siły, przemieszczenia oraz odkształcenia były rejestrowane na bieżąco za pomocą specjalistycznego programu z dziedziny technik pomiarowych CATMAN- EASY. Program umożliwiał bieżącą (online) wizualizację i ocenę pomiaru.



Fot. 2. Widok ogólny stanowiska laboratoryjnego (fot.: dr inż. K. Skrzypkowski)



Rys. 3. Schemat blokowy pulpitu rejestrującego i hydraulicznego układu obciążającego kotew

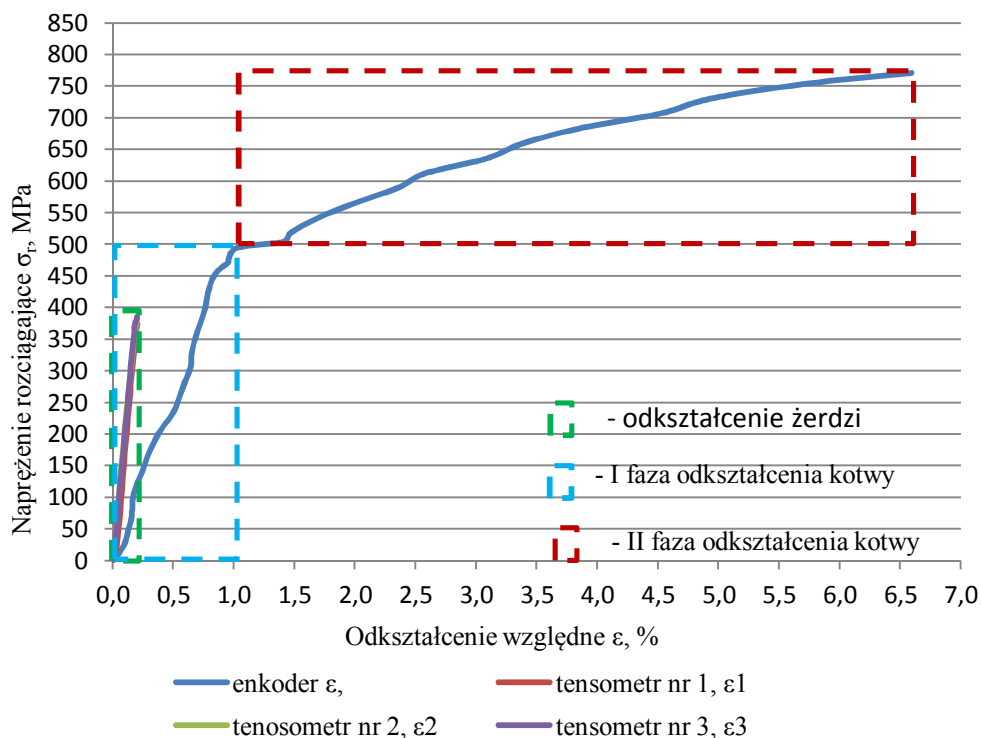
4. Charakterystyka obciążeniowo-odkształceniowa obudowy kotwowej rozprężnej rozciąganej statycznie

Statyczne badania obudowy kotwowej rozprężnej, przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym, symulującym warunki kopalniane, w szczególności dla Zakładów Górniczych KGHM Polska Miedź S.A. Celem badań było uzyskanie charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej. Badania zostały przeprowadzone według jednolitej metodyki. W badaniach zastosowano obudowę kotwową rozprężną, która stanowi podstawową obudowę wyrobisk eksploatacyjnych w ZG „Polkowice-Sieroszowice”. Obudowa składała się z żerdzi kotwowej typu RS-2N o długości (l) od 1823 mm do 1834 mm i średnicy (d) od 18,24 mm do 18,29 mm. Żerdź kotwowa z jednej strony ma gwint M20 walcowany na zimno, natomiast z drugiej strony żerdź jest spęcznieona (ma profil kwadratowy), przystosowany do nadawania momentu obrotowego. Żerdź kotwowa współpracuje z głowicą rozprężną typu KE3-2K o długości 136 mm i średnicy 36 mm, która zbudowana jest z 3 szczęk, 2 rozpieraków typu K-2143-2-2a, sprężyny ϕ 31 mm oraz nasadki stożkowej. W badaniach zastosowano profilowane podkładki kotwowe okrągłe o grubości 6 mm. Wybór tego kształtu podkładek wynikał z powszechności ich stosowania w górnictwie rudnym z obudową kotwową rozprężną. Aby badania laboratoryjne jak najlepiej odpowiadały warunkom kopalnianym, na stanowisku laboratoryjnym zastosowano tuleje dwudzielne, które zostały wypełnione betonem o wytrzymałości na ściskanie, wynoszącym co najmniej 80 MPa. W cylindrycznych blokach betonowych o średnicy 220 mm wykonano otwory o średnicy od 37 mm do 38 mm. Oczujnikowaną kotew wprowadzano ręcznie do bloku betonowego przez tarczę pomiarową oraz otwór w hydraulicznym układzie obciążenia kotew (HUK). Następnie kotew w otworze zainstalowano z użyciem momentu siły 250 Nm, zgodnie z wymogami zabudowy kotew rozprężnych, stosowanych w KGHM Polska Miedź S.A. Jeden punkt rozparcia stanowiła zainstalowana głowica w bloku betonowym, natomiast drugim punktem rozparcia był profilowany łeb żerdzi kotwowej, poprzedzony podkładką profilowaną, spoczywającą na tarczy wysuwnej hydraulicznego urządzenia do obciążenia kotew (HUK). Po rozparciu głowicy rozprężnej w otworze przystąpiono do nadania naciągu wstępnego, który wynosił 30 kN. Następnie na pulpicie sterującym nr I został ustawiony zakres rozciągania statycznego

do wartości siły zrywającej, wynoszącej 400 kN. Testy statycznego rozciągania obudowy kotwowej polegały na okresowym wzroście ciśnienia o 10 bar, które były wykonywane za pomocą pokrętła zaworu redukcyjnego, znajdującego się na pulpicy sterującym nr II. Każdy wzrost ciśnienia był poprzedzony czasem wstrzymania, który wynosił 10 s. Czas trwania testu do momentu zerwania wynosił średnio 120 s. Podczas całego cyklu obciążenia mierzono ciągle wartość siły rozciągającej za pomocą czterech czujników siły typu KKM 50 zamontowanych na wysuwnej tarczy hydraulicznego urządzenia (HUK). Ponadto rejestrowano wartość odkształcenia żerdzi kotwowej za pomocą trzech tensometrów elektrooporowych, przyklejonych na jej część walcową w równych odległościach między sobą wynoszących, 400 mm. Dodatkowo stanowisko było wyposażone w jeden enkoder linkowy, rejestrujący całkowite wydłużenie do zerwania. Przykładowe charakterystyczne parametry uzyskane podczas badań podano w tabeli 1 i na rys. 4. Zakres zmienności siły zrywającej F wynosił od 160,3 kN do 164,5 kN. Odkształcenia względne ε zawierały się w zakresie od 5,7% do 6,7%. Statyczna prędkość obciążenia mieściła się w zakresie od 0,00089 m/s do 0,00094 m/s.

Tabela 1. Charakterystyka techniczna obudowy kotwowej rozciąganej statycznie [23]

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1.	Długość żerdzi kotwowej, l	mm	1824
2.	Czynna długość żerdzi kotwowej, l_0	mm	1670
3.	Średnica żerdzi kotwowej, d	mm	18,26
4.	Średnica rdzenia śruby żerdzi kotwowej, d_3	mm	16,44
5.	Siła zrywająca, F	kN	163,775
6.	Przemieszczenie, Δl	mm	110,100
7.	Czas rozciągania do momentu zerwania żerdzi, t	s	119,48
8.	Prędkość obciążenia, v	m/s	0,00092
9.	Maksymalne naprężenie rozciągające, σ_r	MPa	771,532
10.	Odkształcenie względne, ε	%	6,593
11.	Siła odpowiadająca odkształceniu tensometru elektrooporowego $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, na poziomie 2 ‰, F_s	F_{s1} kN	98,045
		$F_{s2}=F_{s3}$	101,018
12.	Przemieszczenie odpowiadające odkształceniu tensometru elektrooporowego $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$, na poziomie 2 ‰, Δl	Δl_1 mm	14,820
		$\Delta l_2=\Delta l_3$	15,921
13.	Czas rozciągania w zakresie sprężystym, t_s	t_{s1} s	54,28
		$t_{s2}=t_{s3}$	56,24



Rys. 4. Charakterystyka naprężeniowo-odkształceniowa kotwy rozprężnej rozciąganej statycznie [23]

Analizując przebiegi charakterystyk przedstawione na rys. 4, można stwierdzić, że różnią się one od siebie zarówno wartościami bieżącym, jak i kształtem krzywych. Odkształcenia: ϵ_1 , ϵ_2 i ϵ_3 wynikają z pomiarów wykonanych za pomocą tensometrów elektrooporowych, naklejonych bezpośrednio na powierzchni (uprzednio odpowiednio przygotowanej) stalowej żerdzi, na relatywnie krótkich bazach pomiarowych, które w tym przypadku wynosiły 10 mm i były rozmieszczone centralnie wzdłuż całej długości żerdzi w odległościach co 400 mm. Odkształcenia poszczególnych tensometrów przyjmowane są zatem jako równoważne odkształceniom samego pręta stalowego (żerdzi kotwowej). Z wykresu wynika, że wszystkie trzy przebiegi praktycznie pokrywają się, przy jednostajnie narastającym odkształceniu do wartości poniżej 0,2% długości bazy, w zakresie obciążenia do wartości naprężenia, wynoszącego około 380 MPa, co odpowiada sile osiowej o wartości 101 kN, oddziałującej na kotew. W określonych dla przeprowadzonych eksperymentów granicach charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowe samego pręta kotwy mają przebiegi liniowe. Charakterystyka naprężeniowo-odkształceniowa, oparta na pomiarach przeprowadzonych na dłuższej bazie pomiarowej, za pomocą precyzyjnego enkodera linkowego, ma odmienny przebieg, ponieważ ten pomiar, oprócz odkształcenia samego pręta, uwzględnia dodatkowo odkształcenia pozostałych elementów kotwy. W tym przypadku jest to charakterystyka kotwy, a nie żerdzi kotwowej. W przebiegu funkcji odkształceń względem działającej siły można wyróżnić dwie charakterystyczne części fazy (rys. 4): I faza – w zakresie naprężenia do 494 MPa i odkształceń właściwych

do około 1% oraz II faza, przy naprężeniach od 494 do 771 MPa i znacznie większym odkształceniu, sięgającym około 6,59%. Ponadto druga faza charakteryzuje się znacznie szybszym przyrostem odkształceń, przypadającym na określonymu przyrostowi siły (i naprężeń) w stosunku do początkowej części charakterystyki. Obciążenie kotwy siłą większą niż 100 kN powoduje coraz szybsze odkształcanie się elementów konstrukcyjnych kotwy, w szczególności podkładki kotwowej, ale również części nagwintowanej wraz z nakrętką. Pewna część przemieszczeń zarejestrowanych za pomocą enkodera wynika również z niewielkich przemieszczeń głowicy kotwowej. Odnosząc otrzymane wyniki do rzeczywistych warunków pracy kotwy, można stwierdzić, że zaledwie około 3% całkowitego odkształcenia wszystkich elementów składowych kotwy i ich przemieszczeń przypada na odkształcenie samego pręta kotwowego.

Podsumowanie

W ostatnich latach obserwuje się duży postęp w zakresie nowych konstrukcji obudów kotwowych, które różnią się zarówno geometrią, jak i gatunkami stali. Nowe rozwiązania konstrukcyjne zabezpieczania wyrobisk oznaczają, że parametry techniczne i technologia instalowania obudowy kotwowej powinny być systematycznie kontrolowane i badane. Budując nowe stanowiska badawcze, przestrzega się zasady, aby umożliwiały one przeprowadzenie badań z zachowaniem praktycznie wszystkich warunków spotykanych na dole w kopalni. Szczególnie ważne dla praktyki górniczej są badania, dotyczące określania optymalnych parametrów technicznych w technologii instalowania kotew, a zwłaszcza tych parametrów, które decydująco wpływają na efektywność utwierdzenia kotwy w górotworze, czyli na jej nośność oraz jej upodatnienie. Badania prowadzone w kopalniach są często czasochłonne, trudne i kosztowne, niejednokrotnie niemożliwe do wykonania, aczkolwiek są to badania wykonywane w konkretnym wyrobisku dla określonych warunków geologiczno-górnich. Realizowana na stanowiskach pomiarowych skala podobieństwa jest bardzo zbliżona do rzeczywistości, co oznacza, że stanowiska badawcze stwarzają możliwości przeniesienia badań kopalnianych do warunków laboratoryjnych. Konstrukcje i wyposażenie stanowisk laboratoryjnych pozwalają dodatkowo na zautomatyzowanie procesu pomiarowego.

Nowoczesne stanowisko laboratoryjne, na którym zrealizowano badania obudów kotwowych rozprężnych, ma wiele zalet, do których można zaliczyć:

- możliwość badania kotew w skali 1:1 o długościach żerdzi do 6 m, co oznacza badania nie tylko żerdzi prętowych, ale również strunowych, linowych i rurowych, wykonanych z dowolnych materiałów i przy różnych sposobach utwierdzenia w górotworze,
- możliwość badania obudów kotwowych górniczych, jak również geotechnicznych i budowlanych, przy zmiennych wartościach i programach obciążenia statycznych i dynamicznych;
- możliwość zadawania obciążeń w trzech zakresach: 400 kN, 800 kN oraz 1600 kN.

Praca wykonana w ramach pracy statutowej nr 11.11.100.775.

Bibliografia

- [1] Ansell A., 2005, Laboratory testing of a new type of energy absorbing rock bolt. *Tunneling and Underground Space Technology*, vol. 20, issue 4, s. 291-300.
- [2] Drzęźła B., Głuch P., 1997, Siła wiązania kotwi wklejanej, *Miesięcznik WUG – Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, nr 7, s. 12-20.
- [3] Dudzic T., Korzeniowski W., Piechota S., 2004, Badanie wpływu robót strzałowych na zakotwiony strop wyrobiska komorowego, *Górnictwo i Geoinżynieria*, rok 28, zeszyt 1, s. 9-23.
- [4] Gaudreau, D., Aubertin, M., Simon, R., 2004, Performance of tendon support systems submitted to dynamic loading, *Ground Support in Mining and Underground Construction*, (Villaescu Eand and Potvin Y., eds.), Rotterdam: A.A. Balkema, s. 299-312.
- [5] Hagedorn H., 1991, Fully grouted anchors under shock loading. *Proceedings of international conference, Rock Mechanics as Multidisciplinary Science*, (Roegiers M., ed.), Rotterdam: A.A. Balkema, s. 501-509.
- [6] Korzeniowski W., 2006, Ocena stanu podziemnych wyrobisk chodnikowych i komorowych na podstawie empirycznych metod badawczych, *Rozprawy – Monografie*, nr 156. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- [7] Korzeniowski W. i inni, 2001, Badanie zachowania się obudowy kotwowej wyrobisk podziemnych poddanej obciążeniom dynamicznym, Projekt badawczy KBN 8T12A06620, Kraków (praca niepublikowana).
- [8] Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Herezy Ł., 2015a, Laboratory Method for Evaluating the Characteristics of Expansion Rock Bolts Subjected to Axial Tension. *Archives of Mining Sciences*, vol. 60. issue 1, s. 209-224.
- [9] Korzeniowski W., Skrzypkowski K., Herezy Ł., 2015b, Obciążenie kotew rozprężnych na stanowisku laboratoryjnym, *Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, 2015, s. 1-12.
- [10] Madziarz M., 2002, Badania kotwi górniczych w laboratorium Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, nr 102, s. 127-136.
- [11] Nierobisz A., 2005, Oddziaływanie wstrząsów na obudowę kotwową w kopalniach LGOM, *Materiały Zimowej Szkoły Mechaniki Górnotworu i Geoinżynierii*, Wrocław, s. 401-414.
- [12] Nierobisz A., 2006, Wyniki badań wpływu symulowanych wstrząsów górotworu na stateczność wyrobiska korytarzowego, *Miesięcznik WUG – Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, nr 9, s. 3-12.
- [13] Nierobisz A., Pytlík A., Nowak H., 2001, Charakterystyka pracy kotwi przy obciążeniach dynamicznych w świetle badań stanowiskowych, *Materiały konferencyjne „Nowoczesne Technologie Górnicze 2001 – Kotwienie”*, Gliwice, Ustroń, s. 307-322.
- [14] Ortlepp W.D., 1994, Grouted rock-studs as rockburst support: A simple design approach and an effective test procedure, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, no. 2, s. 47-63.
- [15] Piechota S., 1998, Stanowisko do badań wytrzymałości kotew górniczych na wstrząsy górotworu, Patent nr PL186705B1.
- [16] Piechota S., Stopyra M., Stasica J., 2002, Wpływ grubości warstwy spoiwa i długości odcinka wklejenia kotwi na jej efektywność utwierdzenia w górotworze karbońskim, *Przegląd Górniczy*, nr 3, s. 22-30.
- [17] Player J.R., Villaescusa E., Thompson A.G., 2004, Dynamic testing of rock reinforcement using the momentum transfer concept, *Proceeding in 5th International Symposium on Ground Support*, (Villaescusa E. and Potvin Y. eds.), Leiden the Netherlands: A.A. Balkema, s. 281-288.
- [18] PN-EN 10002-1:2004, *Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia*.
- [19] PN-G-15092:1999, *Polska Norma. Kotwie górnicze – Badania*.

- [20] Potvin Y., Wesseloo J., Heal D., 2010, An interpretation of ground support capacity submitted to dynamic loading, Proceedings of the Fifth International Seminar on Deep and High Stress Mining, (Van Sint Jan M. and Potvin Y. eds.), Santiago, Chile, s. 251-272.
- [21] Pytlik A., 2013, Badania strunowych kotwi wstrząsoodpornych przy obciążeniach dynamicznych o charakterze udarowym, Budownictwo Górnicze i Tunelowe, nr 2, s. 24-30.
- [22] Siewierski S., 1980, Wpływ obciążenia udarowego na pracę kotwi, Przegląd Górniczy, nr 2, s. 79-86.
- [23] Skrzypkowski K., 2014, Określenie charakterystyk naprężeniowo-odkształceniowych kotwy rozprężnej przy obciążeniach statycznych i dynamicznych, Rozprawa Doktorska. AGH, Kraków, s. 1-293, (praca niepublikowana).