

Tadeusz Majcherczyk, Piotr Małkowski*, Zbigniew Niedbalski**

BADANIA OBCIĄŻEŃ OBUDOWY W WYBRANYCH WYROBISKACH KORYTARZOWYCH**

1. Wstęp

Współpraca obudowy podziemnego wyrobiska korytarzowego z górotworem zależy od wielu czynników naturalnych i górniczych. Do najbardziej istotnych należy zaliczyć m.in. naprężenia pierwotne związane z głębokością posadowienia wyrobiska, własności fizyczne skał otaczających, tektonikę, zawodnienie, wymiary i kształt wyrobiska oraz sposób jego drążenia. Zapewnienie funkcjonalności wyrobisk przez odpowiedni okres, jest powodem, że coraz częściej prowadzona jest kontrola ich stateczności [4, 7, 11].

Metody monitoringu pracy obudowy oraz otaczającego wyrobisko górotworu są bardzo zróżnicowane. Najczęściej prowadzi się pomiary konwergencji wyrobiska, rozwarstwień skał stropowych (rozwarstwieniomierze niskie, wysokie, strunowe, sondy ekstensometryczne, sondy z drgającą struną), obciążeń stropu wyrobiska (dynamometry, kotwie oprzyrządowane, poduszki ciśnieniowe, krążki dynamometryczne) oraz zeszczelinowania warstw stropowych (endoskop otworowy, sonda aerometryczna). Różny charakter prowadzonych pomiarów sprawia, że często są one realizowane jednocześnie na stanowiskach pomiarowych, gdzie montuje się kilka z wyżej wymienionych urządzeń, niektóre z możliwością pomiaru ciągłego [1, 2, 4, 6, 7].

Badania obciążeń obudowy wyrobisk, mimo że są niezwykle istotne z punktu widzenia geomechaniki, prowadzone są sporadycznie. Powodem tego jest konieczność prowadzenia pomiaru na konturze wyrobiska, co w przypadku powszechnie stosowanej obudowy łukowej jest trudne do realizacji. Urządzenia pomiarowe należy bowiem zabudowywać pomiędzy odrzwiami obudowy a wykonanym wyłomem lub też umieszczać w warstwach stropu bezpośredniego. Należy w tym miejscu także dodać, że polskie przepisy dotyczące prowadzenia wyrobisk chodnikowych w obudowie podporowej nie wymagają wykonywania takich pomiarów.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

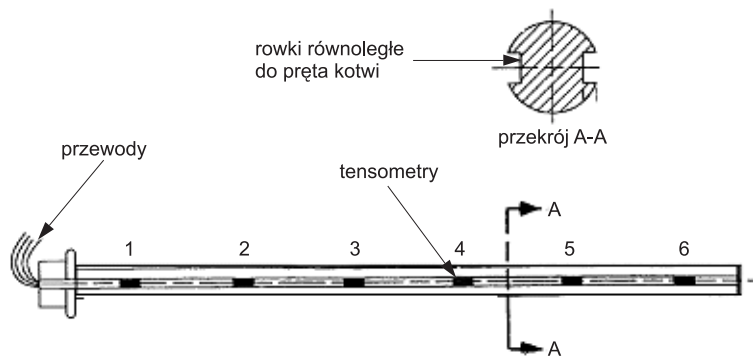
** Praca wykonana w ramach projektu badawczego KBN nr 5T 12A 01224

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów obciążeń obudowy za pomocą dynamometrów oraz kotwi oprzyrządowanych. Kontrola taka daje możliwość oceny zakresu wykorzystania nośności obudowy, a więc i poprawności jej doboru.

2. Zastosowane urządzenia badawcze

Dla określenia obciążeń występujących w warstwach skalnych zalegających nad wyrobiskiem korytarzowym oraz wielkości obciążeń wywieranych na obudowę prowadzono pomiary za pomocą kotwi oprzyrządowanych i dynamometrów hydraulicznych.

Kotwę oprzyrządowaną jest instrumentem, który pozwala na pomiar sił osiowych w przecie kotwi stanowiącym element nośny w górotworze. Kotwie zwykle są instalowane w stropie wyrobiska, prostopadle do warstw skalnych. W przecie kotwi (rys. 1) na całej długości wycięte są symetrycznie dwa rowki [1, 3, 5, 12, 13]. W rowki te wklejane są pary tensometrów, na tej samej wysokości, po jednej i drugiej stronie pręta kotwi. Tensometry o długości od 8 mm do 12 mm i szerokości od 3 mm do 6 mm przyklejane są do kotwi za pomocą specjalnych klejów. Do zabezpieczenia ich przed wilgocią powleka się je masami akrylowymi, które, dla zwiększenia odporności chemicznej, są często wulkanizowane w temperaturze ok. 800°C.



Rys. 1. Rozmieszczenie tensometrów na kotwi oprzyrządowanej

W rowkach wyciętych w przecie kotwi prowadzone są przewody łączące poszczególne tensometry. Przymocowana do kompletu przewodów wtyczka pozwala, po zamontowaniu kotwi w otworze i podłączeniu miernika, na odczyt wartości sił.

Wartości cyfrowe pomierzone miernikiem są przetwarzane na komputerze na wartości obciążeń. Program oblicza siłę wytworzoną w osi kotwi oraz moment gnący względem przekroju środka kotwi. Wyniki badań można przedstawiać w postaci map i wykresów, a na ich podstawie oceniać skuteczność pracy obudowy zabezpieczającej wyrobisko [10, 12].

W przypadku stosowanych w niniejszych badaniach kotwi ich długość wynosiła 3,0 m i 2,5 m. Naklejono na nie odpowiednio dziewięć i sześć par tensometrów, w odległościach 30 cm i 40 cm od siebie, w zakresie 0,4+2,8 m na kotwi 3-metrowej i 0,4+2,4 m na kotwi o długości 2,5 m.

Do pomiaru obciążeń obudowy podporowej zastosowano tłokowe dynamometry hydrauliczne. Wykorzystano dwa rodzaje dynamometrów: tzw. dynamometr stropowy i dynamometr spągowy. Różniły się one wielkością gniazda i tłoka, który w przypadku dynamometrów spągowych był większy i wynosił 125 mm, a dynamometrów stropowych – 100 mm. Zakres pracy tłoków wynosi ok. 25 mm przy ciśnieniu do 25 MPa, co, w zależności od konstrukcji urządzenia, umożliwiało odczyt siły w zakresie do 280+320 kN. Doświadczenia z pomiarów obciążeń obudowy w chodnikach przyścianowych wskazują, że zakres taki jest wystarczający [7, 8, 9]. Manometry mocowane były na końcu przewodu hydraulicznego za pomocą szybkozłącza. Zdjęcie użytego w pomiarach dynamometru stropowego pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Dynamometr hydrauliczny stropowy

Z punktu widzenia oceny stateczności wyrobiska wynika, że najbardziej niebezpiecznym zjawiskiem są rozwarstwienia skał stropowych zalegających bezpośrednio nad wyrobiskiem. Pomiar kotwią oprzyrządowaną wskazuje na odcinek rozwarstwiającego się pakietu skał. Można szacować w ten sposób wielkość potencjalnego obciążenia stropu wyrobiska oraz możliwość przekroczenia wytrzymałości skał stropowych. Kotew oprzyrządowana kontroluje zatem proces niszczenia warstw zachodzący wewnątrz górotworu, niewidoczny w samym wyrobisku.

Na konturze wyrobiska pojawia się wypadkowa obciążeń zruszonymi warstwami skalnymi stropu bezpośredniego. Będzie ona obciążać zaprojektowaną obudowę podporową. Umieszczenie urządzenia pomiarowego pomiędzy konturem wyrobiska a obudową pozwala na kontrolę sił związanych zarówno z ciężarem własnym skał, jak i dodatkowymi siłami

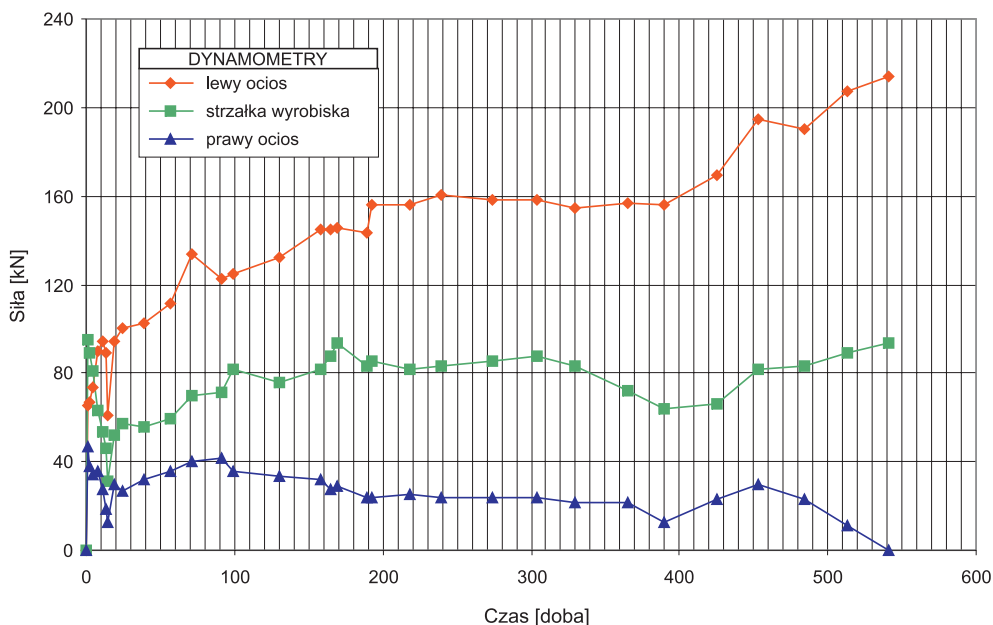
pochodzącymi od prowadzonej lub zakończonej w tym rejonie eksploatacji lub też z występującymi zaburzeniami geologicznymi (fałdy, uskoki).

Z punktu widzenia geomechaniki, a zwłaszcza z punktu widzenia zachowania stateczności wyrobiska, interesujące jest zatem porównanie obu typów pomiarów. Pozwoli to na ocenę, który rodzaj pomiaru może stać się podstawą do weryfikacji parametrów zastosowanej w wyrobisku obudowy.

3. Pomiary obciążeń obudowy w pochylni B-1

Pomiar obciążeń obudowy w pochylni B-1 w pokładzie 404/1 prowadzony był na dwóch stanowiskach badawczych. Odległość pomiędzy stanowiskami wynosiła ok. 65 m. W jednym i drugim miejscu zamontowano trzy dynamometry: dwa na spągu pod łukami ociosowymi oraz jeden na specjalnie wykonanej podkładce na łuku stropowym w strzałce wyrobiska. W odległości 3÷4 m od dynamometrów na obu stanowiskach badawczych zabudowano kotwie oprzyrządowane o długości 3 m. Obudowę wyrobiska stanowiły odrzwia typu ŁP o wielkości 9 z kształtownika V29. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów ze stanowiska I.

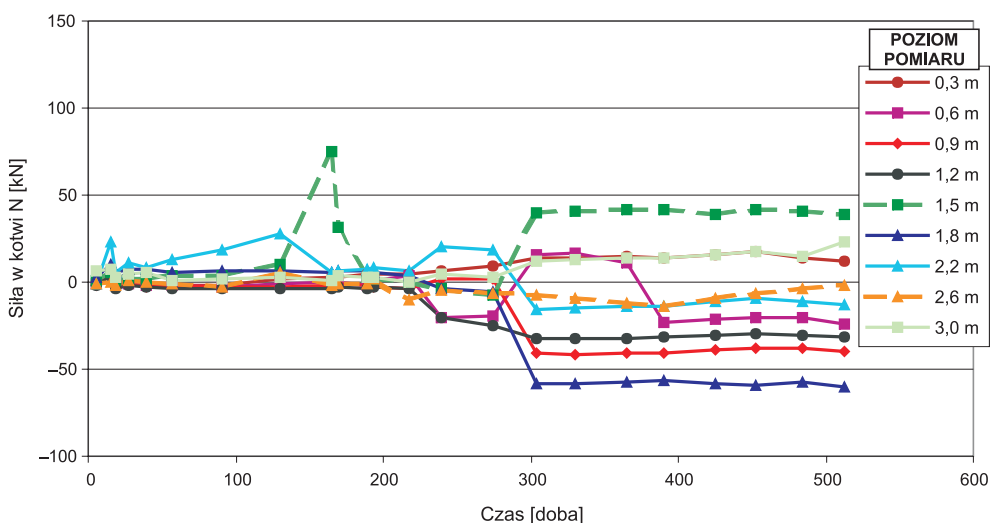
Na rysunku 3 przedstawiono zmiany wartości sił działających na dynamometry na I stanowisku pomiarowym.



Rys. 3. Wartości sił rejestrowane przez dynamometry na stanowisku I w pochylni B-1

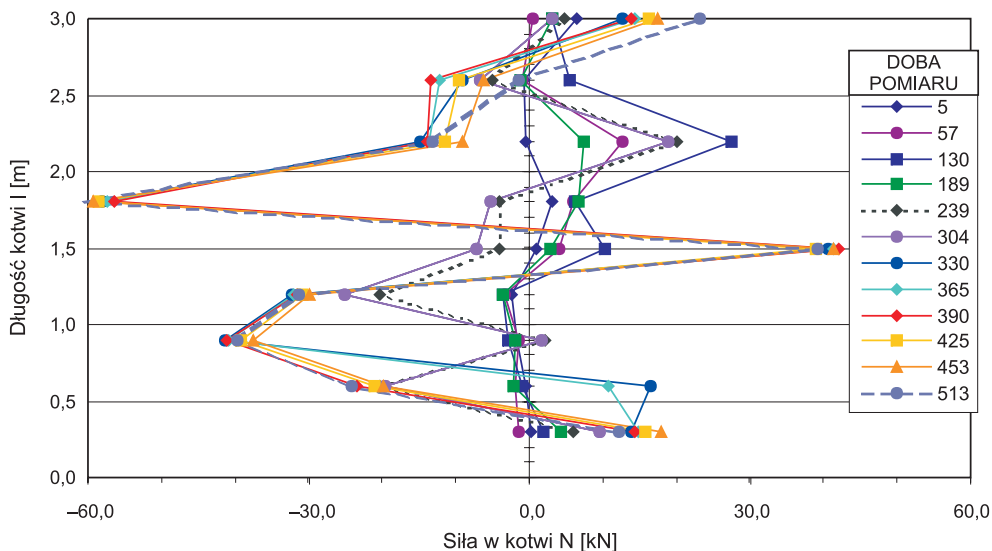
Na jego podstawie można zauważyć, że od samego początku prowadzenia pomiarów odnotowywano znacznie wyższe wartości sił po lewej stronie wyrobiska niż po prawej. Można powiedzieć, że w porównaniu z prawym ociosem wyrobiska wartości sił w strzałce pochylni są 2–3-krotnie wyższe, natomiast po stronie lewego ociosu 3–5-krotnie wyższe. Wartości sił obciążających obudowę istotnie wzrastały do ok. 100. doby od chwili rozpoczęcia pomiaru, po czym w okresie kolejnych 15 miesięcy nie odnotowano istotnych zmian na poszczególnych dynamometrach. W prawym ociosie pochylni były to siły o wartości ok. 25÷30 kN, w stropie wyrobiska — 64÷93 kN, a w lewym ociosie wartości wynosiły 144÷161 kN. Po tym czasie wystąpił spadek obciążenia działającego na prawy ocios i jednocześnie wzrost obciążenia w stropie wyrobiska i w lewym ociosie. Ostatni wykonany pomiar wskazuje, że prawy ocios wyrobiska został całkowicie odciążony, a nacisk na lewy ocios pochylni stale wzrasta, osiągając po 511 dobach pomiaru wartość 214 kN. Zwiększony nacisk na lewy ocios wyrobiska jest związany z prowadzoną 35 m powyżej eksploatacją pokładu 403/1, która znajduje się w odległości poziomej ok. 250 m.

Obserwacja rozkładu sił w bezpośrednim stropie wyrobiska (rys. 4) wskazuje, że do ok. 220. doby od chwili rozpoczęcia pomiarów badany 3-metrowy pakiet skał pracował jednolicie i nie występowały w nim siły rozciągające. Wyjątkiem jest czujnik umieszczony na głębokości 1,5 m, który wskazywał wcześniejsze rozwarstwianie się skał stropowych na odcinku 1,2÷1,8 m. Od ok. 220. doby wszystkie zabudowane tensometry zaczęły wskazywać wzrost wartości sił, z tym że na odcinkach do 0,6 m, 1,2÷1,8m oraz w końcowej części kotwi były to siły rozciągające, a na pozostałych — ściskające. Wskazania tensometrów po ok. 400 dobach pomiaru ustabilizowały się, wskazując wartości od – 61 kN do 41 kN.



Rys. 4. Wartości sił osiowych na poszczególnych poziomach kotwi na stanowisku I w pochylni B-1

Analizując siły osiowe w kotwi w kolejnych okresach pomiaru (rys. 5), można zauważyć, że wyraźne zmiany rozkładu sił wzdłuż jej długości zaczęły występować pomiędzy 200. a 300. dobą pomiarową. Rozkład sił w kotwi wskazuje, że na badanym odcinku stropu bezpośredniego rozciąganie kotwi, a więc rozwarstwianie się skał, zachodzi praktycznie tylko na początku kotwi i końcu kotwi (siły o wartości ok. 20 ± 22 kN) oraz w środkowej części kotwi pomiędzy 1,2 a 1,8 m. Siły w środkowej części kotwi są wyższe i dochodzą do wartości 43 kN (390. doba pomiaru), lecz należy zauważyć, że w krótkim czasie (239–304 doba pomiarowa) notowano na tym odcinku niewielkie siły ściskające do wartości ok. -9 kN. Na pozostałych odcinkach kotwi występują siły ściskające, które osiągają wartość -60 kN.



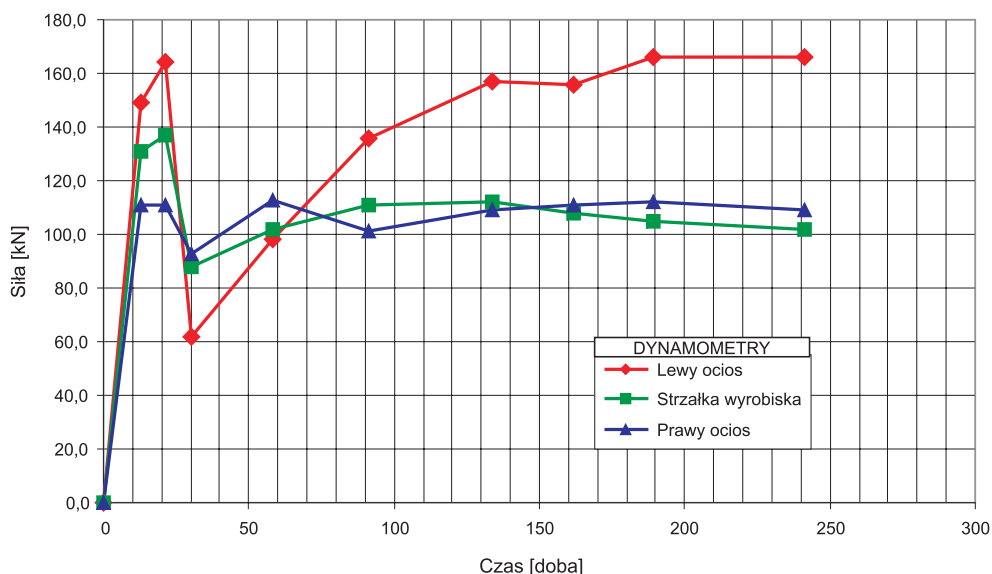
Rys. 5. Wartości sił osiowych w kotwi na stanowisku I w pochylni B-1 w kolejnych dobach pomiarowych

Z wykresu przedstawionego na rysunku 5 można także wnioskować, że w okresie pierwszych 10 miesięcy pomiaru końcowy odcinek kotwi był również rozciągany siłami, które wynosiły maksymalnie ok. 26 kN (poziom 2,2 m). W następnych okresach na tym poziomie następował powolny spadek sił rozciągających i w 330. dobie pomiaru odnotowano po raz pierwszy ściskanie kotwi siłą ok. -13 kN. Po 513 dobach pomiaru największe siły ściskające występują na odcinku $1,5 \pm 2,2$ m i wynoszą -59 kN.

4. Pomiary obciążeń obudowy w chodniku B-5

Pomiar obciążeń obudowy w chodniku B-5 w pokładzie 358/1 prowadzony był na dwóch stanowiskach pomiarowych. Odległość pomiędzy stanowiskami wynosiła ok. 75 m.

Dynamometry zamontowano w sposób następujący: dwa na spągu pod łukami ociosowymi oraz jeden na specjalnie wykonanej podkładce na łuku stropowym w strzałce wyrobiska, podobnie jak w przypadku pochylni B-1. W odległości 3 m od dynamometrów zabudowano kotew oprzyrządowaną o długości 2,6 m. Obudowę wyrobiska stanowiły odrzwia typu ŁP o wielkości 9 z kształtownika V32.

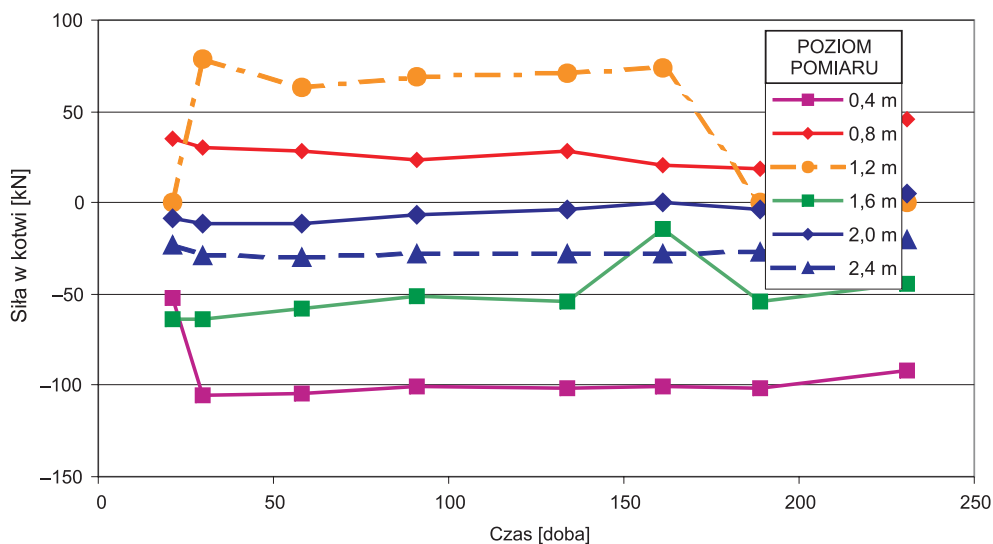


Rys. 6. Wartości sił rejestrowane przez dynamometry na stanowisku I w chodniku B-5

Na rysunku 6 przedstawiono zmiany wartości sił działających na dynamometry na I stanowisku pomiarowym. Z wykresu wynika, że wyższe wartości sił występują w lewym ociosie wyrobiska i po 120. dobach pomiarowych od chwili rozpoczęcia pomiarów ustabilizowały się na poziomie ok. 160 kN. W strzałce chodnika i prawym ociosie wartości są niższe o ok. 50% i wynoszą ok. 102÷111 kN. Wartości te utrzymują się od ok. 60. doby pomiarowej. Gwałtowny spadek sił w dynamometrach, odnotowany w 30. dobie pomiaru związany jest z przekroczeniem sił w zamkach obudowy, co spowodowało zsuw odrzwia i w konsekwencji odciążenie siłowników. W następnych dniach następował ponowny wzrost sił, które do 241. doby pomiaru nie doprowadziły do ponownego zsuwu.

Wzrost wartości sił w lewym ociosie monitorowanego wyrobiska jest związany z przesuwającym się równolegle do niego frontem ściany, w odległości ok. 450 m. Badany rejon chodnika B-5 znajduje się w odległości ok. 325 m od najbliższego wyżej wybranego pokładu. Nie występują w tym przypadku wpływy krawędzi eksploatacyjnych.

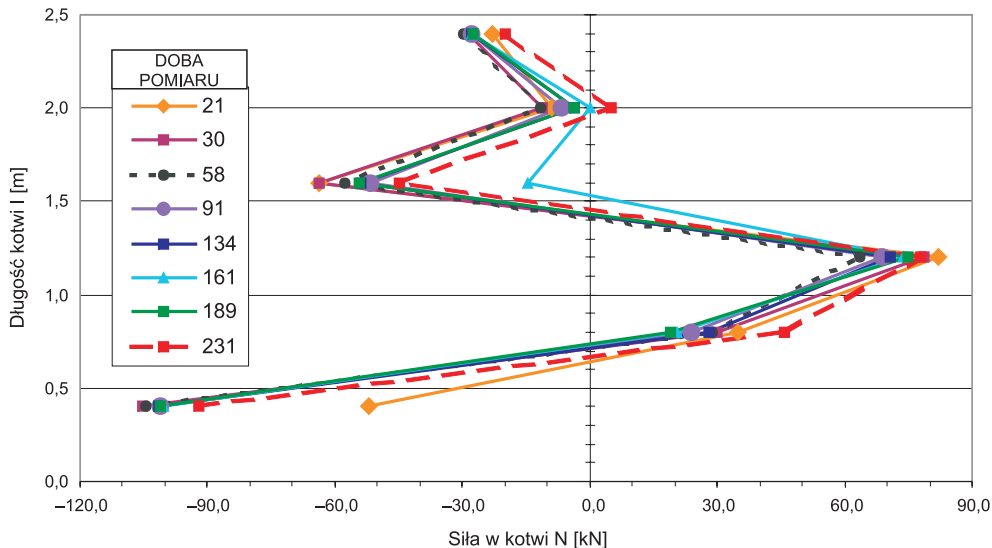
Wykres rozkładu sił w bezpośrednim stropie wyrobiska (rys. 7) wskazuje, że od 30. doby od chwili rozpoczęcia pomiarów wahania sił w kotwi są minimalne. Świadczy to o niewielkich deformacjach warstw stropowych w rejonie chodnika. Największe wartości sił rozciągających występują w środkowej części kotwi na odcinku 1,2 m i wynoszą 68÷78 kN. Największe siły ściskające występują z kolei na początkowym odcinku kotwi, dochodząc do 105 kN. Zmiany obciążenia pręta kotwi zanotowano w 191. dobie pomiaru, gdy została ona w jej środkowej części prawie całkowicie odciążona. Ostatni wykonany pomiar wskazuje, że w kotwi zaczynają wzrastać siły rozciągające.



Rys. 7. Wartości sił osiowych na poszczególnych poziomach kotwi na stanowisku I w chodniku B-5

Analizując siły osiowe w kotwi w okresie 8 miesięcy pomiaru (rys. 8), można zauważyć, że zmiany wartości sił rejestrowane na poszczególnych poziomach pomiarowych są bardzo niewielkie. Rozkład sił w kotwi wskazuje, że rozciąganie kotwi zachodzi praktycznie tylko w środkowej części kotwi pomiędzy 0,4 m a 1,6 m, osiągając wartość ok. 82 kN.

Na pozostałych odcinkach kotwi występują siły ściskające, których maksymalne wartości zlokalizowane są na początkowym odcinku kotwi (– 107 kN) oraz na odcinku ok. 1,6 m (– 63kN). Jednocześnie dolny odcinek kotwi jest jedynym, gdzie zachodzą nieco większe zmiany wartości sił, które od 21. do 231. doby pomiaru zwiększyły się z – 52 kN do – 108 kN. Na górnym odcinku kotew jest nieznacznie ściskana, a na długości 2,0 m ostatni wykonany pomiar wskazuje, że po raz pierwszy wystąpiły tam nieznaczne siły rozciągające równe 5 kN.



Rys. 8. Wykresy sił osiowych na odcinkach kotwi na stanowisku I w chodniku B-5 w kolejnych dniach pomiarowych

5. Podsumowanie

Z analizy wyników pomiarów sił osiowych w kotwiach oprzyrządowanych oraz sił w dynamometrach hydraulicznych wynika, że są one różne. Zmiany sił osiowych w kotwiach oprzyrządowanych związane są z rozwarstwianiem się skał stropowych na długości wklejenia. Wartości sił osiowych dobrze pokazują zatem deformację warstw stropu bezpośredniego lub mogą też być sposobem dla oceny pracy kotwi. Nie pokazują jednak wypadkowej sił działających na obudowę wyrobiska, bowiem rozwarstwienia w warstwach stropowych występują również powyżej skotwionego pakietu skał. Wartości sił w kotwiach są 3–4-krotnie mniejsze niż maksymalne siły obciążające siłowniki dynamometrów. Z drugiej jednak strony, porównując siły w kotwi z dynamometrem stropowym, można zauważyć, że różnica ta jest znacznie mniejsza. Zatem pręt kotwi spinając warstwy skalne, przejmuje część obciążenia.

Pomiary sił w kotwiach wskazują na znaczne ich wahania w czasie prowadzenia badań, przy czym maksymalne wartości siły osiowej występują zawsze w środkowej części kotwi. Okresowe zmiany obciążeń poszczególnych odcinków kotwi oprzyrządowanych wskazują na oscylację naprężeń w stropie bezpośrednim.

Rozwarstwianie się wyższych warstw stropowych powoduje dodatkowe obciążenia, które mogą zostać zaobserwowane jedynie w wyniku zabudowania dynamometrów na konturze wyrobiska. Umieszczenie ich w wielu punktach pomiędzy obudową a górotworem daje możliwość precyzyjnej oceny kierunku obciążeń działających na obudowę oraz ewentualnych prac mających na celu poprawienie stateczności wyrobiska. Pomiar sił za pomocą dy-

namometrów wskazuje na wypadkową działania sił obciążających obudowę, związaną z ciężarem własnym skał, oddziaływaniem krawędzi eksploatacyjnych lub też frontu ściany. Trzy dynamometry zabudowane na obwodzie wyrobiska mogą być podstawą do określania kierunku wypadkowej siły obciążającej obudowę. W ten sposób można ocenić, z której strony obudowa może zostać narażona na nadmierne ciśnienia górotworu oraz zniszczenie.

Prowadzenie kontroli obudowy i górotworu poprzez stałe pomiary z wykorzystaniem kotwi oprzyrządowanych i dynamometrów przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa w drażnionych i utrzymywanych wyrobiskach korytarzowych. Pomiar taki pozwala w trakcie użytkowania wyrobiska na optymalizację wykonywanych w nim zabezpieczeń.

LITERATURA

- [1] *Bawden W.F., Tod J.D.*: Optimization of Cable Bolt Ground Support using SMART Instrumentation. International Society For Rock Mechanics. News Journal, vol. 7, No. 3. January 2003, 10–16
- [2] *Korus H., Szymiczek W., Ficek J., Sobik M.*: Monitoring pracy obudowy kotwiowej w kopalni „Jankowice”. Przegląd Górniczy, nr 2, 2002, 20–27
- [3] *Korzeniowski W., Piechota S.*: Rozkład siły osiowej wzdłuż kotwi na podstawie badań *in situ*. Przegląd Górniczy, nr 12, 2000, 22–28
- [4] *Majcherczyk T., Malkowski P., Niedbalski Z.*: Innovations in support of headings in coal-mines. Proceedings of the conference „Geomechanics 2003 — Modern Geomechanical Methods in the Mining Industry and the Underground Civil Engineering and Tunnel Construction”, (Eds) Nikolaev N., Georgiev K., Parushev V., Nessebar 9–13.06.2003, 187–194
- [5] *Majcherczyk T., Malkowski P., Niedbalski Z.*: Pomiary sił osiowych w kotwiach oprzyrządowanych w wyrobiskach w obudowie podporowo-kotwiowej. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 2, 2004, 8–12
- [6] *Majcherczyk T., Malkowski P., Niedbalski Z.*: Badania *in situ* dla oceny doboru obudowy wyrobisk korytarzowych. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2004, IGSMiE PAN Kraków, Szczyrk 23–27 lutego 2004, 197–205
- [7] *Majcherczyk T., Malkowski P., Niedbalski Z.*: Monitoring stateczności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego. Ukraino-Polskie Forum Górnicze „Przemysł wydobywczy Ukrainy i Polski: aktualne problemy i perspektywy”, Nacional’nij gimnacij universitet Dnipropetrovs’k, Jałta 13–19 września 2004, 256–269
- [8] *Prusek S.*: Wpływ pasów ochronnych na utrzymanie chodników przyścianowych w polach eksploatacji zawałowej. Prace Naukowe IGiH Politechniki Wrocławskiej, seria Konferencje, nr 40, 2001
- [9] *Prusek S.*: Wielkość deformacji chodnika przyścianowego utrzymywanego za pomocą pasa ochronnego. Przegląd Górniczy, nr 7–8, 2003
- [10] *Signer S., Cox D., Johnston J.*: A Method for the Selection of Rock Support Based on Bolt Loading Measurements. Common Information Service System NIOSH. Journal Articles 1997
- [11] <http://www.geomechanics.com>: Applied geomechanics
- [12] <http://www.rmfltd.com>: Strata movement indicators
- [13] <http://www.rocktest.com>: Instrumented Rock Bolt