

KRZYSZTOF ĆWIERTNIA

Nowa opatentowana metoda pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe

W artykule przedstawiono wnioski i spostrzeżenia wynikające z pomiarów sił oddziaływania naczyń wyciągowych na konstrukcję zbrojenia szybu wykonanych nową metodą pomiarową. Ideą tej metody jest bezpośrednie przejęcie sił wynikających z uderzenia zamocowanych do naczynia rolek pomiarowych (czołowej i dwóch bocznych) w przewodnik i przeniesienie tych sił na elementy pomiarowe, tj. poprzez siłownik hydrauliczny, przetwornik ciśnienia i rejestrator. Do rejestratora przekazywany jest także sygnał z optycznego czujnika, określającego położenie naczynia w szybie. Metoda ta pozwala na pomiar wartości rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu, bez jakichkolwiek uproszczeń, teoretycznych założeń i skomplikowanych funkcji matematycznych.

Słowa kluczowe: naczynie wyciągowe, zbrojenie szybowe, siły oddziaływania

1. ODNIESIENIE DO PRZEPISÓW GÓRNICZYCH

Konieczność wykonywania pomiarów sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe wynika z wymagań przepisów górniczych [1] zawartych w załączniku nr 4 *Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*:

- „3.13. Sztwyne prowadzenie naczyń wyciągowych i zbrojenie szybów.
 - 3.13.7.6. W terminach określonych przez kierownika ruchu zakładu górniczego, w zależności od warunków lokalnych, lecz nie rzadziej niż raz na pięć lat, są dokonywane kontrolne pomiary i badania:
- 1) geometrii elementów zbrojenia, o których mowa w pkt 3.13.6, prostoliniowości torów prowadzenia naczyń ciągów przewodniczych i prowadzeń kątowych oraz wymiarów określonych w § 545, § 546 i § 558 rozporządzenia, przez mierniczego górniczego;
 - 2) sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybu, dla ciągów przewodników w szybie, przy stosowanych parametrach jazdy naczyń wyciągowych, przez rzeczoznawc, który sporządza ekspertyz zawierającą wyniki pomiarów wraz z ich

analiz oraz określa warunki dalszej eksploatacji elementów zbrojenia szybu”.

2. AKTUALNY STAN TECHNIKI W ZAKRESIE POMIARÓW SIŁ ODDZIAŁYWANIA

W pierwszej dekadzie XXI wieku stosowane były na rynku urządzenia z bezpośrednim odczytem wartości sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu z wykorzystaniem tensometrów, które dobrze sprawdzały się do pomiarów sił statycznych, natomiast nie spełniały oczekiwan przy pomiarach sił dynamicznych (szybkozmiennych).

Aktualnie stosowane metody oraz urządzenia pomiarowe umożliwiają pośredni pomiar sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybu w zakładach górniczych. Niektóre polegają na pomiarze poziomych przyśpieszen przemieszczania się naczynia wyciągowego, zrealizowanym przy użyciu przetworników przyśpieszen [2]. Najistotniejsze w tych metodach, a zarazem obarczone największą niepewnośc jest określenie oddziałującej części masy naczynia wyciągowego na zbrojenie szybu za pomocą funkcji matematycznych, zawierających teoretyczne i trudne do zweryfikowania założeń i współczynniki.

Inne metody bazują na laserowym pomiarze odległości bądź innych parametrów, które w dalszej kolejności przeliczane są na wielkości „teoretycznych” sił oddziaływania.

OPA Bytom Sp. z o.o. opracowała nowy sposób pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybu [3], polegający na bezpośrednim pomiarze wartości wielkości fizycznej (ciśnienia), która przeliczana wg wzoru:

$$F = p \cdot S,$$

gdzie:

F – siła,

p – ciśnienie,

S – powierzchnia tłoka w cylindrze),

jest wprost proporcjonalna do wartości występującej siły oddziaływania i wyliczana jest bez konieczności uwzględniania jakichkolwiek teoretycznych założeń i współczynników.

3. OPIS URZĄDZENIA POMIAROWEGO

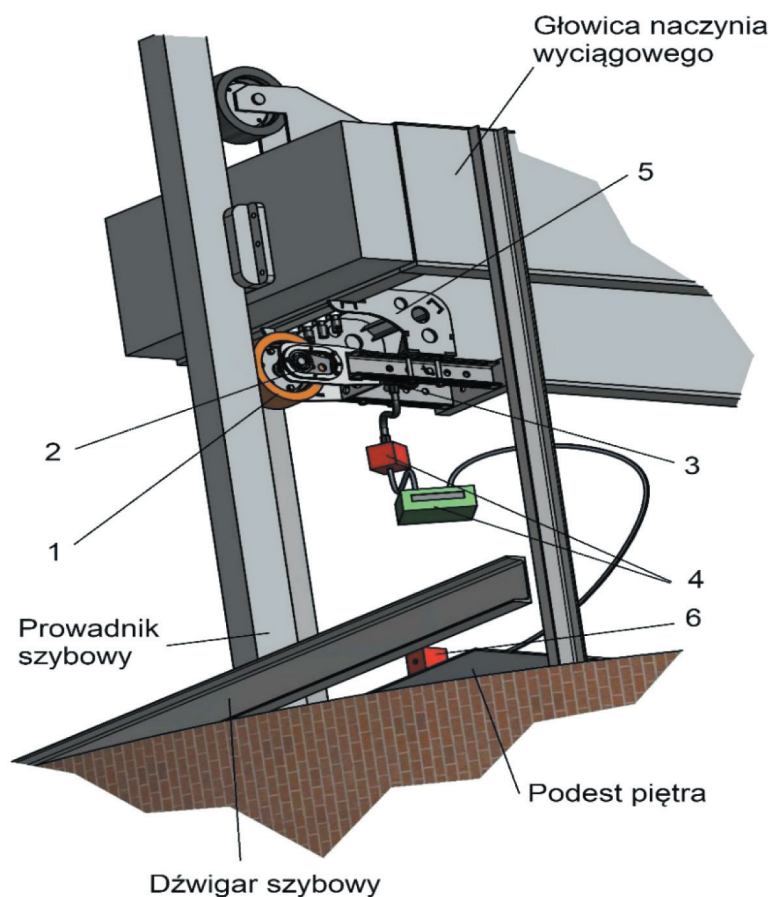
W pierwszym etapie skonstruowano urządzenie nazwane „dynamometrem szybowym OPA-B-2018”

służące do pomiaru wyłącznie czołowych sił oddziaływania, ponieważ na podstawie dostępnej literatury w tym zakresie rejestrowane wartości czołowych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe są z reguły większe od sił bocznych.

Głównymi elementami urządzenia (rys. 1) są:

- rolka (1) – koło obrotowe o średnicy 300 mm,
- prowadnica wzdłużna (2) służąca do przemieszczania się łożyskowanej rolki obrotowej w płaszczyźnie prostopadłej do czołowej powierzchni prowadnika,
- siłownik hydrauliczny (3),
- przetwornik ciśnienia wraz z rejestratorem (4),
- adapter (5) służący do mocowania dynamometru do konstrukcji naczynia wyciągowego,
- licznik dźwigarów (6) służący do określenia miejsca/ głębokości w szybie.

Dynamometr szybowy OPA-B-2018 jest nowym rozwiązaniem zarówno pod względem konstrukcji, jak i metody pomiaru służącym do określenia wartości sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe w górniczych wyciągach szybowych.



Rys. 1. Schemat zabudowy dynamometru OPA-B-2018 pod głowicą naczynia wyciągowego

Według aktualnej wiedzy jest to jedyne na polskim rynku urządzenie, które pozwala na wiarygodny pomiar rzeczywistych sił oddziaływania. Dynamometr OPA-B-2018 składa się z rolki pomiarowej (1) o średnicy 300 mm, która zamocowana pod ramą głowicy naczynia wyciągowego przejmując zadanie prowadnicy tocznej czołowej głowicy naczynia, która na czas prowadzenia pomiarów odsunięta jest o około 10–15 mm od położenia roboczego, pełniąc wraz ze ślizgiem stalowym rolę asekuracyjną. Rolka pomiarowa wraz ze swym ułożyskowaniem ma możliwość przemieszczania się wzdłuż prowadnicy (2) – na przedłużeniu osi działania sił czołowych oddziaływania naczynia na prowadnik szybowy. Przemieszczanie się rolki pomiarowej (1) wskutek zadziaływania ww. sił jest przekazywane na tłok siłownika hydraulicznego (3), powodując wytworzenie zmiany ciśnienia, które mierzone jest przez wysokiej klasy przetwornik ciśnienia (4), a następnie wynik po przeliczeniu na wartość siły ($F = p \cdot S$) jest rejestrowany za pomocą programu komputerowego.

W efekcie otrzymuje się wykres wartości siły w funkcji drogi (głębokości w szybie). Położenie naczynia wyciągowego w szybie określane jest za pomocą licznika dźwigarów (6), który zamontowany obok dynamometru zlicza mijane w szybie dźwigary, będące odniesieniem odległości względem poziomu zrębu szybu. Sygnał z ww. czujnika wraz z sygnałem zmierzonej wielkości siły oddziaływania naczynia wyciągowego rejestrowany jest bezpośrednio przez program komputerowy, który przedstawia te wielkości w formie wykresu. Sposób mocowania dynamometru do naczynia wyciągowego realizowany jest za pomocą adaptera (5), który może być modernizowany w zależności od konstrukcji naczynia wyciągowego.

4. METODA WYKONYWANIA POMIARÓW

Istotą pomiaru oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybowe za pomocą dynamometru szybowego OPA-B-2018 jest bezpośrednie przejęcie siły uderzenia rolki pomiarowej (1) w prowadnik, będący elementem zbrojenia szybowego podczas jazdy naczynia wyciągowego i przeniesienie tej siły na element pomiarowy, którym jest siłownik hydrauliczny (3) połączony z przetwornikiem ciśnienia (4) współpracującym z programem komputerowym, do którego równoległe przekazywany jest również sygnał z licznika dźwigarów (6) – w celu określenia położenia naczynia w szybie.

Szczegółowy sposób wykonania pomiaru sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szy-

bowe z wykorzystaniem dynamometru OPA-B-2018 realizowany jest w następujący sposób:

- Po ustawieniu naczynia wyciągowego górnym piętrzem do poziomu zrębu szybu, przy wykorzystaniu adaptera (5) montowany jest do konstrukcji pod głowicą naczynia przedmiotowy dynamometr wraz z aparaturą pomiarową (4) i (6).
- W dalszej kolejności rolka pomiarowa (1) ustawiana jest w „pozycji pracy” oryginalnej prowadnicy czołowej tocznej naczynia wyciągowego, po czym wykonywane jest zabezpieczenie całej konstrukcji dynamometru przed ewentualnym przemieszczeniem się, za pomocą pionowej rozpory hydraulicznej, połączonej sztywno do tylnej części dynamometru. Dodatkową asekurację chroniącą przed przemieszczeniem się dynamometru poza zewnętrzny obrys naczynia stanowią łańcuchy mocowane do elementów konstrukcji naczynia wyciągowego.
- W celu uzyskania poprawności wskazań i działania układu pomiarowego (z wykorzystaniem proporcjonalnej zależności wielkości mierzonej siły oddziaływania naczynia na zmianę ciśnienia w siłowniku hydraulicznym, będącym istotnym elementem tej metody pomiarowej) za pomocą ręcznej pompy ciśnieniowej zadaje się do siłownika wstępne ciśnienie robocze o wartości 0,5–1,0 MPa.
- Następnie naczynie wyciągowe przemieszczane jest głowicą do poziomu zrębu szybu i dokonywana jest zmiana położenia czołowej prowadnicy tocznej po stronie, gdzie jest zamontowany dynamometr. Prowadnica ta odsunięta zostaje o około 10–15 mm od pozycji roboczej tak, aby zewnętrzna powierzchnia jej bieżnika zrównała się z płaszczyzną czołową będącej w bezpośrednim sąsiedztwie stalowej prowadnicy ślizgowej. Zrównanie położenia płaszczyzny zewnętrznej bieżnika rolki czołowej tocznej i stalowej prowadnicy ślizgowej stanowi asekurację dla rolki pomiarowej dynamometru OPA-B-2018 w przypadku wystąpienia ewentualnego przeciążenia układu pomiarowego. Opisana zmiana położenia prowadnicy tocznej czołowej ma na celu umożliwienie przejęcia w tym miejscu całej siły czołowej oddziaływania naczynia wyciągowego na prowadnik przez rolkę pomiarową dynamometru (1) zamontowanego wcześniej pod głowicą naczynia.
- Po sprawdzeniu pełnej sprawności działania dynamometru oraz aparatury pomiarowej odbywa się przejazd rzeczoznawcy wraz z rewidentem na piętrze naczynia wyciągowego przez szyb z prędkością rewizyjną (1 m/s) w celu sprawdzenia zarówno skuteczności zamocowania konstrukcji dynamometru, jak i poprawności wskazań aparatury pomiarowej.

- Po przejeździe kontrolnym obciąża się naczynie wyciągowe ładunkiem użytecznym, załącza rejestrator i rozpoczyna przejazd przez szyb z dopuszczalną prędkością.
- Po zakończeniu pomiarów dokonuje się demontażu dynamometru wraz z aparaturą pomiarową i po przestawieniu naczynia poziomem głowicy do poziomu zrębu szybu przesuwa się czołową prowadnicę toczną naczynia do położenia roboczego (powrót do stanu sprzed rozpoczęcia pomiarów sił).
- W następnej kolejności wykonuje się takie same czynności związane z pomiarem sił oddziaływania naczynia na prowadniki (zbrojenie szybowe) – po przeciwnej stronie głowicy naczynia.
- Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów przeprowadza się analizę i ewentualnie dokonuje się przeliczenia współczynników bezpieczeństwa wytrzymałości poszczególnych elementów zbrojenia szybowego.
- W celach badawczych podczas niektórych pomiarów w naczyniach wyciągowych montowano dodatkowo akcelerometr umożliwiający rejestrację występujących przyspieszeń w funkcji położenia w szybie.

Dynamometr OPA-B-2018 poddany został badaniu poprawności wskazań wartości siły oddziaływania w akredytowanym laboratorium badań stosowanych ITG KOMAG, które we wnioskach końcowych stwierdza, że ww. urządzenie pomiarowe można wykorzystać do pomiaru sił oddziaływania naczyń wyciągowych na konstrukcje zbrojenia szybowego. Częstotliwość próbkowania rejestratora cyfrowego wynosi 20 kHz, a maksymalny czas zwłoki układu pomiaru siły, określony podczas badań w ww. akredytowanym laboratorium wynosi 2,5 ms, natomiast maksymalna

różnica siły wyznaczonej na podstawie zmierzonego ciśnienia do siły zarejestrowanej bezpośrednio nie przekroczyła 5% uzyskanej wartości.

Ponadto dynamometr OPA-B-2018 został zgłoszony do Urzędu Patentowego pod numerem P.428789 pt. „Metoda i urządzenie do pomiaru sił oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybowe” – Znak: OPA.B.SZYB.19 i uzyskał patent nr 237918.

5. MODERNIZACJA DYNAMOMETRU OPA-B-2018

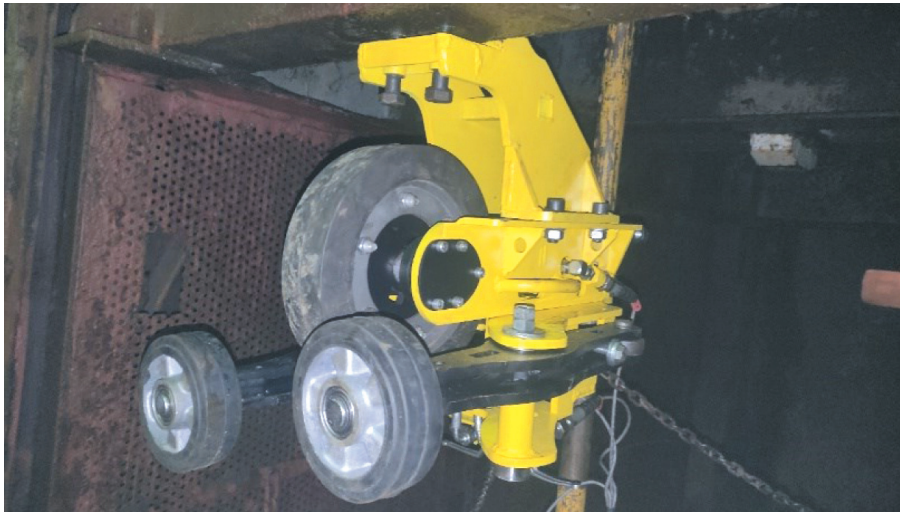
W drugim etapie zmodernizowano konstrukcję dynamometru, wzmacniając jego adapter, oraz rozbudowano o dwie dodatkowe rolki służące do pomiaru sił bocznych oddziaływania naczynia wyciągowego na zbrojenie szybowe. Pomiar sił bocznych został oparty na takich samych zasadach jak przy pomiarze sił czołowych, tj. pomiarze zmiany ciśnienia w siłownikach wywołanej oddziaływaniem bocznych rolek na prowadnik szybowy.

W dalszej części artykułu przedstawiono zdjęcia konstrukcji urządzenia pomiarowego oraz sposobu jego zamocowania do naczynia wyciągowego (rys. 2 i 3).

Podobnie jak w przypadku pierwszej wersji dynamometru OPA-B-2018, tak i teraz po modernizacji – kompletne urządzenie pomiarowe z trzema rolkami poddane zostało badaniu poprawności wskazań wartości sił oddziaływania (zarówno czołowych, jak i bocznych) z obciążeniem statycznym i dynamicznym – w akredytowanym Laboratorium Badań Stosowanych ITG KOMAG. Kolejne zdjęcia przedstawiają dynamometr na stanowisku badań (rys. 4).



Rys. 2. Konstrukcja urządzenia pomiarowego zabudowanego w naczyniu wyciągowym



Rys. 3. Sposób mocowania dynamometru OPA-B-2018 pod głowicą naczynia wyciągowego



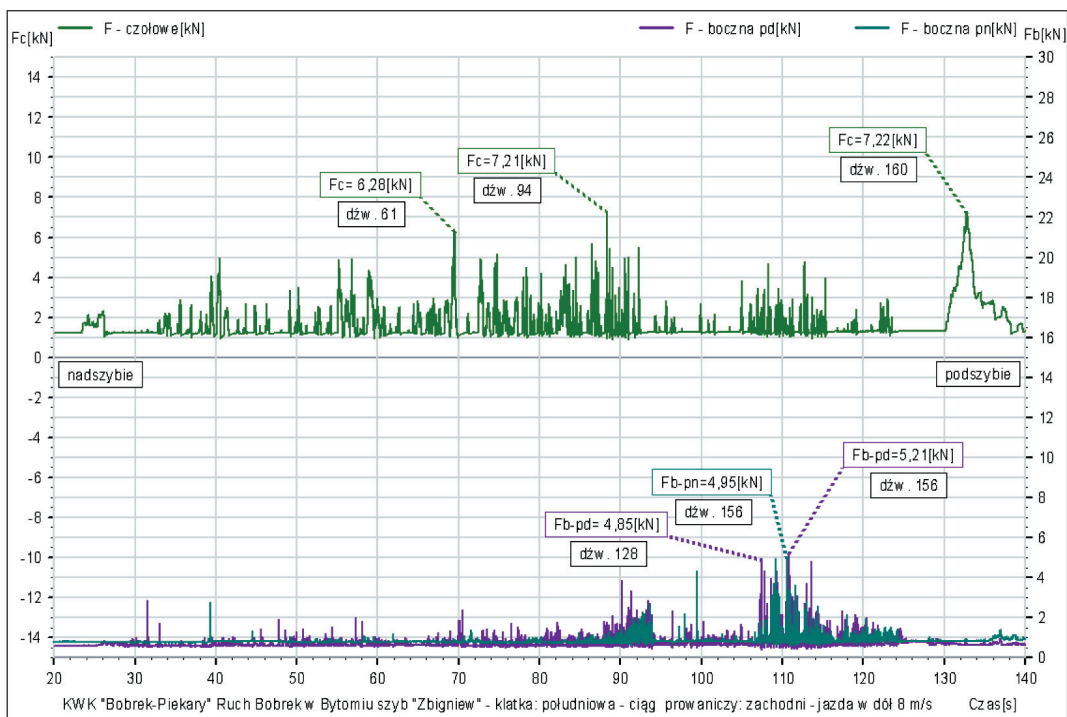
Rys. 4. Elementy dynamometru OPA-B-2018 na stanowisku badań ITG KOMAG

6. UZYSKANE WYNIKI

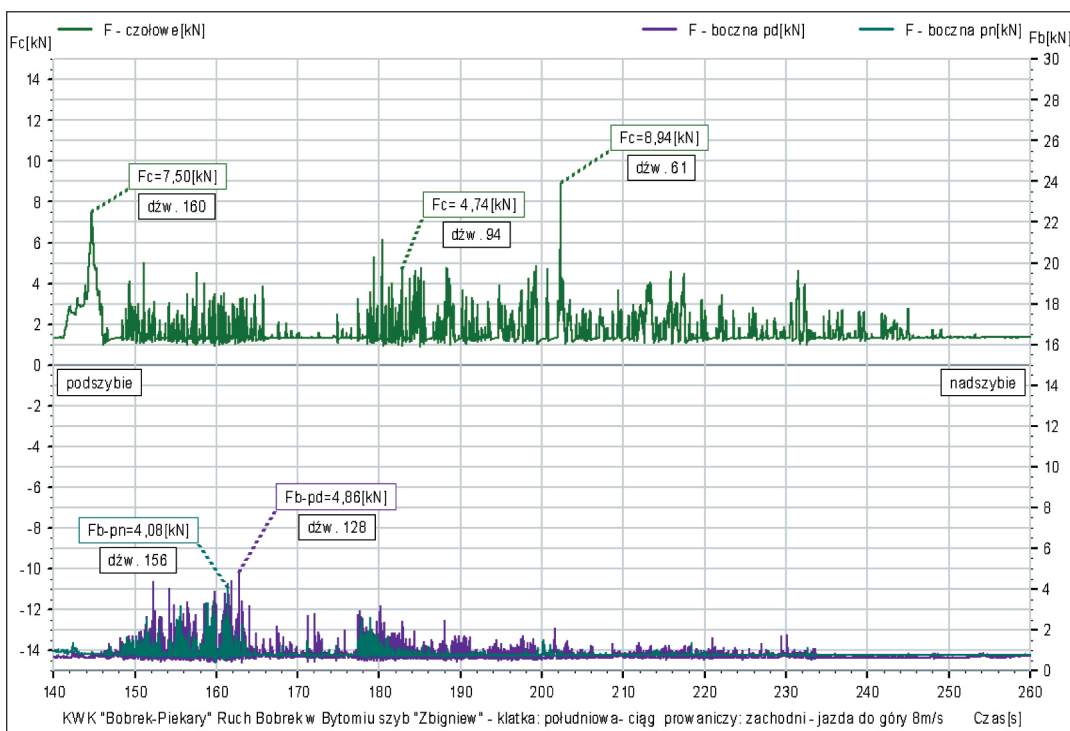
Dotychczas przeprowadzono pomiary sił w dwudziestu siedmiu górniczych wyciągach szybowych, zarówno w kopalniach węgla, jak i miedzi. Na poniższych wykresach (rys. 5 i 6) przedstawiono siły czołowe wraz z bocznymi podczas przejazdu naczynia wyciągowego przez szyb – w dół i do góry.

Z wykresów tych można odczytać, że podczas przejazdu naczyniem wyciągowym zarówno w dół, jak i do góry urządzenie pomiarowe wykazuje w tych samych rejonach szybu występowanie podobnej charakterystyki zmiennego rozkładu sił oddziaływania. Ta po-

wtarzalność świadczy o poprawności niniejszej metody i jej wrażliwości na zmiany prostoliniowości torów i związanej z tym dynamiki jazdy naczynia wyciągowego. Dokonane różnymi metodami w 2009 roku przez cztery wiodące na rynku firmy rzeczoznawcze pomiaru porównawcze sił oddziaływania (w tym samym wyciągu szybowym i przy takich samych parametrach ruchu) wykazały rozbieżność uzyskanych wyników na poziomie do 500%. Nasza metoda jako jedyna na rynku oparta jest na pomiarze wielkości fizycznej (ciśnieniu), która jest wprost proporcjonalna do występującej siły oddziaływania, co daje tej metodzie przewagę nad innymi stosowanymi na rynku.



Rys. 5. Wykres sił czołowych i bocznych podczas przejazdu naczynia wyciągowego w dół



Rys. 6. Wykres sił czołowych i bocznych podczas przejazdu naczynia wyciągowego do góry

7. WNIOSKI

Pomiary przeprowadzone zmodernizowanym dynamometrem OPA-B-2018 pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Generalnie potwierdza się zasada, że siły boczne nie przekraczają 80% wartości sił czołowych.

2. Nie można przyjmować, że wartości pomierzonych przyspieszeń naczyń wyciągowych są wprost proporcjonalne do wartości sił, które je wywołują, co stwierdzono przez porównanie wykresów sił oraz przyspieszeń naczynia wyciągowego w funkcji położenia w szybie.

3. Przedstawiona powyżej metoda:
- bazuje na bezpośrednim pomiarze wielkości fizycznej (ciśnienia) przekładalnego (za pomocą ogólnie znanego wzoru $F = p \cdot S$) na wartość siły;
 - ma określoną dokładność pomiarową (zweryfikowaną w akredytowanym laboratorium ITG KOMAG);
 - jest bardziej wiarygodna i pewniejsza od metod opartych na pomiarach akcelerometrii czy też zmienności odległości przewodnic ślizgowych od przewodnika szybowego, w których to metodach przeliczenie mierzonej wartości wielkości fizycznej na wartość siły wymaga stosowania teoretycznych założeń lub współczynników i jest trudne do zweryfikowania;
 - jest obecnie na rynku jedyną zweryfikowaną przez akredytowane laboratorium metodą pod względem dokładności pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe w górniczych wyciągach szybowych.

Literatura

- [1] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*. Dz.U. 2017, poz. 1118.
- [2] Płachno M.: *Doświadczenia poznawcze wynikające z badań sił rzeczywistych oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybów górniczych*. W: *Transport szybowy. Monografia*. ITG KOMAG, Gliwice 2013: 19–31.
- [3] Ćwiertnia K.: *Nowa metoda bezpośredniego pomiaru rzeczywistych sił oddziaływania naczyń wyciągowych na zbrojenie szybowe*. XV Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo pracy urzędów transportowych w górnictwie”, Wisła 2019 [niepublikowane].

dr inż. KRZYSZTOF ĆWIERTNIA
OPA Bytom Sp. z o.o.
ul. Strzelców Bytomskich 87b
41-914 Bytom
krzysztof.cwiertnia@opabytom.pl