



Wdrożenie nowoczesnej metody pomiaru parametrów geometrii obudowy szyby i jego wyposażenia

LASER W SZYBIE

Opracowany w Polsce system pomiaru szybów został wyróżniony złotym medalem na Światowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technologii „Brussels Innova 2008”, a także przez ministra nauki i szkolnictwa wyższego. Laserowy system kontroli parametrów geometrii rury szybowej i zbrojenia szybowego umożliwia dokładne wytyczanie bezwzględnie pionu optycznego do wykonywania pomiarów oraz ciągłą kontrolę stabilności tego pionu. Układ detekcyjny pozwala na precyzyjny pomiar położenia przewodnika naczyńa szybowego względem płamki laserowej i rejestrację danych.



miernictwa górniczego do rosnących wymagań klienta.

• PRZYCZYNY DEFORMACJI SZYBÓW I POWSTAWANIE NIERÓWNOŚCI TORÓW PROWADZENIA NACZYŃ

Nowo powstałe oraz modernizowane w ostatnim dwudziestoleciu szyby charakteryzują się dużą głębokością i dużą średnicą. Służą to zwiększeniu wydobywania z udostępnionych głęboko pokładów. Podczas budowy szybów najistotniejsze jest poprawne wykonanie obudowy, zwłaszcza jej pionowość, a także zgodność z projektem tarczy szybowej (dotyczy wymiarów geometrycznych). Zbyt duże odchylenia od projektu utrudniają poprawne zabudowanie zbrojenia szybowego. Występują przypadki „szablonowania” obmurza dla zapewnienia poprawności eksploatacji wyciągu szybowego oraz uzyskania właściwych odstępów ruchowych. Nie zawsze jest to jednak wykonalne i zgodne z obowiązującymi przepisami (należy zachować właściwą grubość obudowy szybowej).

Prowadnik szybowy mocowany jest do dźwigara szybowego lub do wspornika kotwionego bezpośrednio do obmurza szybowego za pomocą złącza śrubowego. W celu zapewnienia odpowiedniego prześwietu pomiędzy przeciwnymi przewodnikami stosuje się podkładki. Podkładki te pod wpływem wody zawierającej sole korodują (rys. 1a), co powoduje ich spęczanie i powstawanie nierówności toru prowadzenia naczyń. Podobnie jest w przypadku ograniczników zabezpieczających przewodniki przed przesunięciami bocznymi (rys. 1b).

Dodatkowo na styku następujących po sobie przewodników mogą wystąpić przesunięcia ich czołowych płaszczyzn. Wskutek źle wykonanego procesu spawania

JACEK CZULAK,
RAFAŁ MORAWIEC

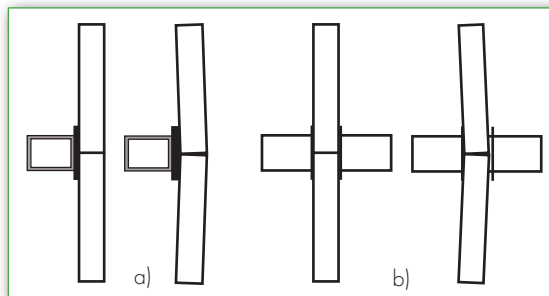
Zastąpienie pionów mechanicznych pionami optycznymi przy prowadzeniu prac geodezyjnych w szbach górnich sprzyja uzyskaniu zdecydowanej poprawy warunków ruchowych i ekonomicznych prowadzenia kontroli wyposażenia i obudowy szybowej. Istotne jest, aby wyeliminować z technologii pomiaru błędy grube i systematyczne. Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego Sp. z o.o. (PMG) z Głównym Instytutem Górniczym (GIG) opracowały w tym celu innowacyjne urządzenie do prowadzenia pomiarów. Środki finansowe na badania przemysłowe, badania przedkonkurencyjne oraz prace wdrożeniowo-inwestycyjne zostały częściowo wyłożone przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Nowa metoda pomiarowa pozwoliła wyjść naprzeciw oczekiwaniom klientów sektora górniczego. Zgodnie bowiem z punktem 5.13.9.6 załącznika nr 4 do rozporządzenia ministra gospodarki z 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych [1, 2], w terminach ustalonych przez kierownika

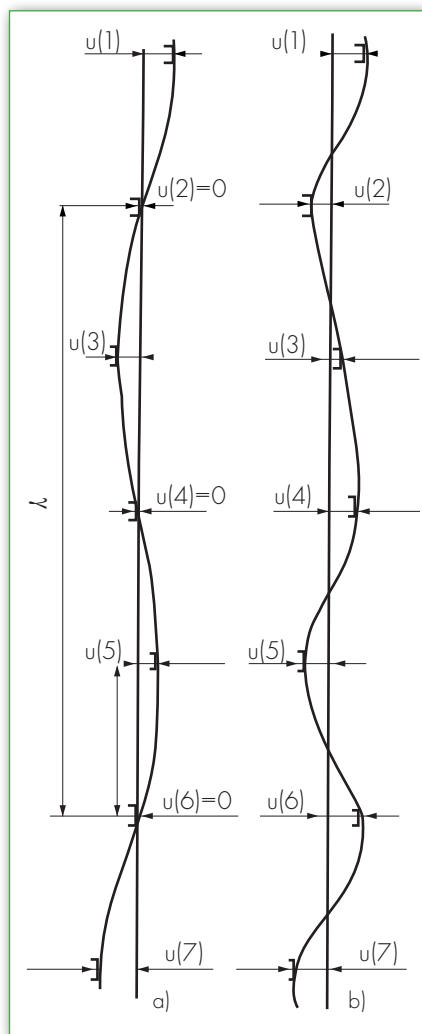
ruchu zakładu górniczego, w zależności od warunków lokalnych i spokoju jazdy naczyń wyciągowych, lecz nie rzadziej niż co 5 lat, powinny być przeprowadzane badania stanu technicznego obudowy szybu oraz kontrolne pomiary:

1. geometrii obudowy szybu oraz elementów jego zbrojenia, o których mowa w punkcie 5.13.8 załącznika,
2. prostoliniowości torów prowadzenia naczyń oraz wymiarów określonych w §462 ust. 1 pkt 1 oraz §475 rozporządzenia,
3. rzeczywistych sił oddziaływania naczyńa wyciągowego na zbrojenie szybu.

Pomiary kontrolne, o których mowa w ppkt 1 i 2, przeprowadza mierniczy górnicy, a te, o których mowa w ppkt 3 – rzeczoznawca. Implementacja szybkiej i taniej technologii pomiarowej pozwoliła PMG dostosować usługi w zakresie



Rys. 1. Deformacje mocowań przewodników na poziomie mocowania do dźwigara



Rys. 2. Zdeformowany tor przebiegu przewodników szybowych

lub niewłaściwie wykonanego pokrycia galwanicznego przewodniki mogą także ulec skręceniu, które w pewnym stopniu udaje się zlikwidować podczas montażu w szybie.

Najbardziej narażone na uszkodzenia i powstawanie nierówności są przewodniki drewniane, ciągle jeszcze znajdujące zastosowanie w szybach. Przewodniki te są w dużym stopniu podatne m.in. na wpływ warunków atmosferycznych i źle wyregulowane elementy prowadzenia naczynia. Zdarzają się także przypadki uszkodzenia przewodników szybowych, gdy pomiędzy przewodnicę ślizgową a płaszczyznę roboczą przewodnika dostają się kawałki skały lub metalu.

Zdeformowany tor przebiegu przewodnika szybowego przedstawiono na rys. 2. Drogę, wzdłuż której prowadzone jest naczynie wyciągowe, można przyjąć jako linię łamaną z uskokami na załamaniach, gdzie wielkości $u(n)$ są nieskorelowanymi zmiennymi losowymi,

o dowolnych rozkładach prawdopodobieństwa.

Konsekwencją nieprawidłowego prowadzenia naczyń wyciągowych jest przede wszystkim niebezpieczeństwo utraty życia, ale występują także inne zagrożenia:

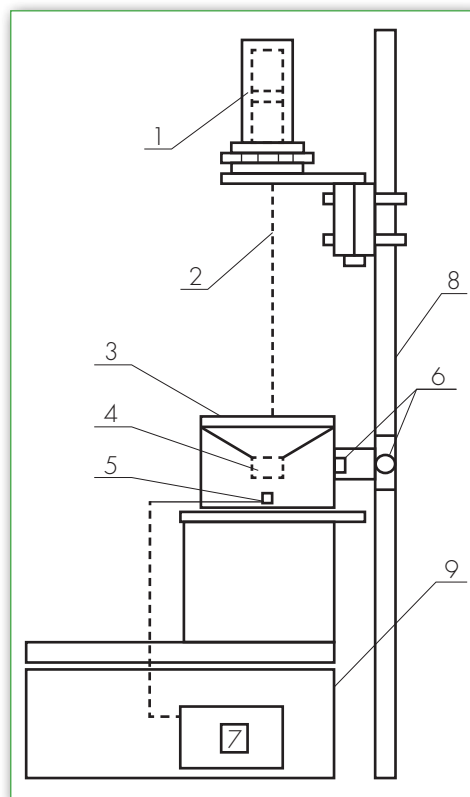
- uszkodzenie przewodnic tocznych,
- uszkodzenie naczynia wyciągowego,
- uszkodzenie zbrojenia szybowego,
- skrócenie czasu pracy lin wyciągowych,
- wystąpienie dużych strat materialnych.

Dlatego dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji naczynia wyciągowego tak ważna jest kontrola parametrów geometrycznych.

● EMISJA I KONTROLA POŁOŻENIA PIONU LASEROWEGO

Głównym celem projektu realizowanego przez PMG i GiG było opracowanie metod pomiarowych z wykorzystaniem optoelektronicznego wyposażenia oraz ich zastosowanie w praktyce. Zasadniczym wymogiem było znalezienie sposobu emisji i detekcji położenia pionu laserowego w warunkach szybowych. Realizacja tego zadania opiera się na danych wejściowych, do których należą uwarunkowania technologiczne i geodezyjna metoda prowadzenia pomiaru w szybie. Na tej podstawie przyjęto następujące założenia i kroki realizacji:

- pion laserowy – linia zielona lub czerwona; analiza propagacji wiązki i czułości detekcji,
- dobór optyki kolimacyjnej dla wybranej wiązki laserowej,
- ustawienie i kontrola pionu z zastosowaniem laserowego czujnika wychyleń,
- autonomiczne zasilanie nadajnika,
- sygnalizacja zmiany położenia nadajnika,
- tłumienie drgań nadajnika,
- wyprowadzanie laserowej linii pomiarowej (zamiast pionu) o zadanych parametrach geometrycznych w szybie,
- wybór detektora; parametry dwukierunkowej matrycy PSD,
- opracowanie elementów pośrednich lokalizacji położenia plamki laserowej; matówka i obiektyw fotograficzny,
- opracowanie konstrukcji układu detekcyjnego poruszającego się wraz z klatką szybową,
- wybór czujników do korekty lokalnej zmiany położenia klatki (spowodowanej luzami przewodnic ślizgowych),



Rys. 3. Schemat ideowy systemu pomiarowego

- wybór czujników dla oznaczania drogi i kolejnych dźwigarów,
- opracowanie rejestratora cyfrowego danych pomiarowych.

Zasadnicze elementy systemu do realizacji metody emisji i kontroli położenia pionu laserowego w szybie przedstawione są na rys. 3. Nadajnik (1) jest urządzeniem dwufunkcyjnym, umożliwiającym dokładne wytyczanie bezwzględnie pionu optycznego (2) do wykonywania pomiarów geodezyjnych wraz z ciągłą kontrolą stabilności tego pionu. Układ detekcyjny (3) z obiektywem (4) i matrycą (5) oraz dalmierzami (6) umożliwia precyzyjny pomiar położenia przewodnika (8) naczynia szybowego (9) względem plamki laserowej i zapis danych pomiarowych w rejestratorze cyfrowym (7).

● PION LASEROWY

W nowym wyposażeniu nadajnika źródłem widzialnego, skupionego promieniowania laserowego będzie laser krystaliczny Nd:YAG (SHG 532 nm) lub laser półprzewodnikowy (670 nm). Laser krystaliczny na granacie itrowo-aluminiowym (YAG) domieszkowanym neodymem pracuje na drugiej harmonicznej, czyli na długości fali odpowiadającej barwie zielonej, i jest pompowany za pomocą lasera półprzewodnikowego. Oprócz obniżenia gabarytów i wagi urządzenia



Rys. 4. Pion laserowy zamontowany na prowadniku bez obudowy

uzyskuje się dzięki temu lepszą propagację wiązki laserowej, szczególnie w wyrobiskach z obecnością pary wodnej. Laser półprzewodnikowy emituje z kolei wiązkę promieniowania o barwie czerwonej, dla której matryca detekcyjna PSD jest bardziej czuła.

Zarówno laser krystaliczny, jak i półprzewodnikowy wymagają zastosowania niezawodnych zasilaczy z odpowiednimi zabezpieczeniami podłączonymi do akumulatora. Laser, zasilacz i akumulator mocowane będą w obudowie spełniającej wymogi ognioszczelności, o konstrukcji zbliżonej do rozwiązań stosowanych w górniczych laserowych wskaźnikach kierunku.

• DOBÓR OPTYKI KOLIMACYJNEJ DLA WYBRANEJ WIĄZKI LASEROWEJ

Istotnym problemem z zakresu optyki geometrycznej i falowej jest dobór parametrów lunety kolimacyjnej typu Newtona lub lunety refrakcyjnej z mieszczeniem promieni – tzw. *pinholem*. Obecnie dysponujemy lunetami kolimacyjnymi opracowanymi dla laserów górniczych, które przystosowane są do rozbieżności wiązki laserowej z laserów gazowych He-Ne. Wstępne badania wykazały, że pion optyczny z takiej lunety zainstalowanej do lasera krystalicznego zapewnia optymalne przewężenie wiązki na odległości 70 m, co oznacza, że na 300 m średnica okrągłej i jednorodnej plamki wynosi 35 mm. Parametr ten okazał się dalece niewystarczający, szczególnie przy pracy w szybach głębokich (do 1000 m) z niezbyt dobrymi warunkami propagacji wiązki. Refrakcja wiązki związana z ruchem powietrza w szybie, różnicami

gęstości, rozpraszaniem głównie na cząsteczkach pary wodnej czy wręcz kroplach wody wpływa na niestabilność i rozmycie plamki laserowej na większych głębokościach. W badaniach modelowych sprawdzono dwie wersje optyki kolimacyjnej z nowymi obiektywami w lunecie kolimacyjnej, zaprojektowanymi do współpracy z wybranymi diodami laserowymi. W efekcie powstał moduł laserowy o bardzo małej rozbieżności, który zapewnia plamkę o średnicy do 50 mm na odległości 1000 m.

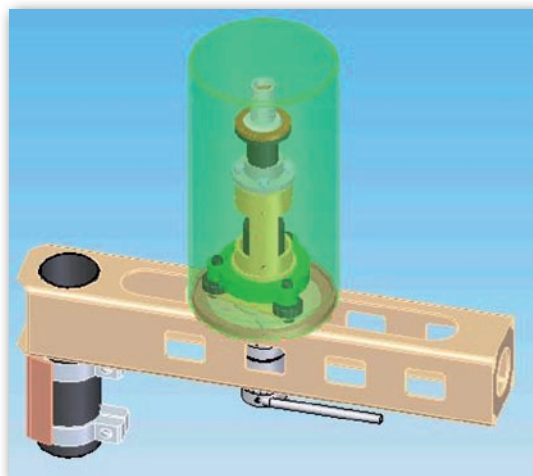
• USTAWIENIE I KONTROLA PIONU Z ZASTOSOWANIEM LASEROWEGO CZUJNIKA WYCHYLEŃ

Pionownik – nadajnik laserowy z lunetą kolimacyjną zamontowany na spodarce geodezyjnej (rys. 4 i 5) – wyposażony jest w układ automatycznej kontroli pionu. Układ ten umożliwi regulację ustawienia pionownika do pozycji roboczej przed pomiarem i automatyczne sprawdzanie ewentualnego odchylenia się wiązki od kierunku pionowego (lub zadanego) w trakcie pomiarów. Zadanie to wypełnia laserowy czujnik wychyleń zrektyfikowany w stosunku do wiązki laserowej pionownika. Czujnik znany jest na przykład z polskiego opisu patentowego nr 183 400 jako urządzenie GIG do pomiaru wychyleń budowli i konstrukcji inżynierskich. Wyposażony jest w zespół nadawczy złożony ze źródła monochromatycznego światła i układu kolimacyjnego oraz w fotodetektor. Między zespołem nadawczym i fotodetektorem jest umieszczona kuweta z szybką płaskorównoległą oraz warstwą cieczy o znanym współczynniku załamania światła i dekrementie tłumienia drgań. Fotodetektor składają-

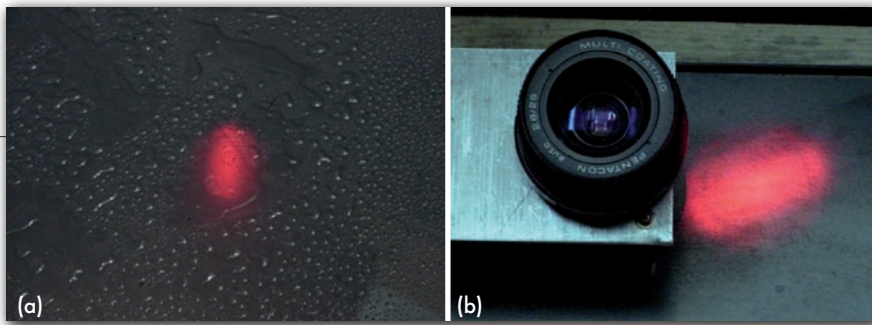
cy się z czterech aktywnych segmentów pomiarowych jest umieszczony centralnie pod kuletą z cieczą.

Zasada pomiaru oparta jest na rejestrowaniu odchylenia wiązki laserowej od jej wyjściowego (pionowego) położenia po przejściu przez klin cieczowy. Na fotodetektorze w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach bezpośrednio wykonywany jest pomiar przemieszczenia plamki świetlnej. Wartość tego przemieszczenia jest funkcją kąta tworzonego przez ciecz, współczynnika załamania światła w cieczy i w szklanej płytce płaskorównoległej. Kąt pomiędzy normalną do powierzchni cieczy a osią czujnika jest kątem wychyleń czujnika i obiektu, na którym jest on zainstalowany. Sygnał z każdej części krzemowego fotodetektora jest funkcją oświetlonej powierzchni. W zastosowaniach na powierzchni wzmocniony sygnał wprowadzany jest za pomocą karty A/D do komputera, gdzie następuje programowa analiza i rejestracja sygnału. Parametry pomiarowe i charakterystyka techniczna czujnika zostały tak przystosowane, aby uzyskać maksymalną czułość i dokładności wyznaczania położenia zerowego – pionu: zakres pomiaru: + 1 mm/m, rozdzielczość + 0,01 mm/m, częstotliwość drgań < 10 Hz.

Wykorzystanie poziomu cieczy jako bezwzględного pomiarowego układu odniesienia zapewnia odpowiednią czułość i dokładność ciągłego optoelektronicznego pomiaru drgań i wychyleń nadajnika, z którym czujnik jest związany poprzez uchwyt ze spodarką geodezyjną. Łącznik czujnika wychyleń z modułem laserowym jest jednocześnie układem nastawczym, który służy do rektyfikowania pionu laserowego z czujnikiem. W wersji opracowanej dla projektu czujnik posiada własne zasilanie akumulatorowe. W trakcie wytyczenia pionu jest on podłączony do rejestratora cyfrowego, a stosowne oprogramowanie umożliwia wizualizację wartości pomiarowych i ocenę wpływu zakłóceń dynamicznych (drgań prowadników) na stabilność pionu optycznego. Odłączenie zewnętrznego rejestratora spowoduje przejście do pracy w systemie autonadзору. Utrata stabilności położenia nadajnika w trakcie pomiarów w szybie sygnalizowana jest poprzez



Rys. 5. Schemat systemu mocowania pionownika



Rys. 6. Plamka laserowa na mokrej matówce (a) oraz obok obiektywu – bez matówki (b)

niskoczęstotliwościową modulację pracy lasera.

● UKŁAD DETEKCYJNO-POMIAROWY

Układ detekcyjno-pomiarowy składa się z dwuwymiarowej matrycy PSD firmy Hamamatsu typ S 1880 i współpracującego z nią układu optycznego w postaci matówki i obiektywu fotograficznego oraz układu przetwarzania sygnału C4674 (rys. 6). Plamka padająca na matówkę jest rzutowana przez obiektyw na powierzchnię matrycy. Analogowe sygnały wyjściowe z układu C4674 opisują położenie plamki w osiach X, Y na powierzchni matówki. Wprowadzane są przez kartę przetwornika A/D do rejestratora cyfrowego, w którym zapisywane są także takie parametry, jak: droga (głębokość posadowienia dźwigarów), czas, kolejny numer dźwigara, odległość do dźwigara, odległość do powierzchni bocznych i czołowej prowadnika.

Układ detekcyjno-pomiarowy (matówka – obiektyw – matryca w wodoszczelnej obudowie) jest związany geometrycznie z naczyniem wyciągowym. W teleskopowych wysięgnikach obejmujących prowadnik szybowy zamocowane są mierniki odległości do płaszczyzny czołowej (ultradźwiękowe) i bocznych (optyczne) prowadnika oraz enkoder impulsowy do pomiaru drogi.

Sygnały analogowe z wszystkich czujników układu detekcyjno-pomiarowego wprowadzane są przez transmisję ka-

blową do rejestratora cyfrowego będącego komputerem przemysłowym w klatce montażowej IPC-60065P5-0B. Program o nazwie *Rejestrator* umożliwia programowanie i kalibrację kanałów pomiarowych poprzez strony z aktywnymi przyciskami, uruchamianie pomiaru, podgląd na wyświetlaczu oraz formatowanie danych w pliki tekstowe, które wprowadzone do arkuszy kalkulacyjnych i programów specjalistycznych umożliwią wykonanie pełnych obliczeń i analiz pomiarowych (operat geodezyjny).

● BADANIA PORÓWNAWCZE

W ramach pierwszych pomiarów wykonano analizy próbne przejazdów w czterech szybach:

- KWK Murcki – szyb I,
- ZG Janina – szyb Janina III,
- GUIDO – szyb M300,
- KWK Dębieszko – szyb Jan III.

Wykonano w nich także pomiary metodami geodezji klasycznej, wykorzystując pionowe linie odniesienia zrealizowane za pomocą pionowników optycznych z okularom laserowym. Aby porównać uzyskane wyniki, wszystkie obliczenia przeprowadzono w jednolitym układzie współrzędnych. Skontrolowano trzy elementy. Jako pierwsze porównano wychylenie pojedynczych ciągów prowadniczych w dwóch głównych kierunkach (oś X oraz Y). Następnie zbadano wychylenia geometryczne środka pojedynczego wyciągu. Ostatecznie porównano wielkości wykonanych domiarów dla

danego horyzontu pomiarowego, który określa poziom dźwigarów. Na podstawie wykonanych przejazdów testowych stwierdzono, iż powtarzalność pomiarów i zgodność z metodą klasyczną kształtuje się na poziomie 5 mm. Wielkość ta zaspokaja wymagania twórców oraz mieści się w obowiązujących wytycznych.

● OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARU GEOMETRII OBUDOWY I ZBROJENIA SZYBU

Opisana metoda uzyskała pozytywne opinie naukowe profesorów Mirosława Chudka, Mieczysława Milewskiego i Jana Pieloka. Dane pomiarowe pozwalają na skompletowanie operatu geodezyjnego zgodnego z obowiązującymi przepisami. W skład sporządzonej dokumentacji wchodzi między innymi:

- wykresy zmiany położenia środka wyciągu szybowego (rys. 8);
- wykresy wychyleń prowadników i obudowy szybu (rys. 9);
- wykresy aproksymacji otrzymanych wyników dla określenia miejsc korekt położenia prowadników;
- analiza uzyskanych wyników z obowiązującymi przepisami.

Uzupełnienie wyników o współrzędne naroży układu detekcyjnego wiązki laserowej – poprzez nawiązanie jej do osnowy geodezyjnej – pozwoli na kompletowanie wyników pomiarów w obowiązującym państwowym układzie współrzędnych lub układach lokalnych.

W PMG trwają dalsze prace nad systemem wizualizacji wykonywanych pomiarów. Taki program pozwoli na bezpośrednią analizę kształtu i geometrii obudowy szybu. Wizualizacja kształtu wyrobiska pionowego będzie możliwa tuż po wykonaniu pomiaru i zgraniu danych do komputera, gdzie w środowisku CAD (MicroStation, AutoCAD) stworzone zostaną trójwymiarowe wykresy szybu. To z kolei pozwoli na sprawdzenie odstępów ruchowych i zachowania miar projektowych na dowolnym poziomie dźwigara.

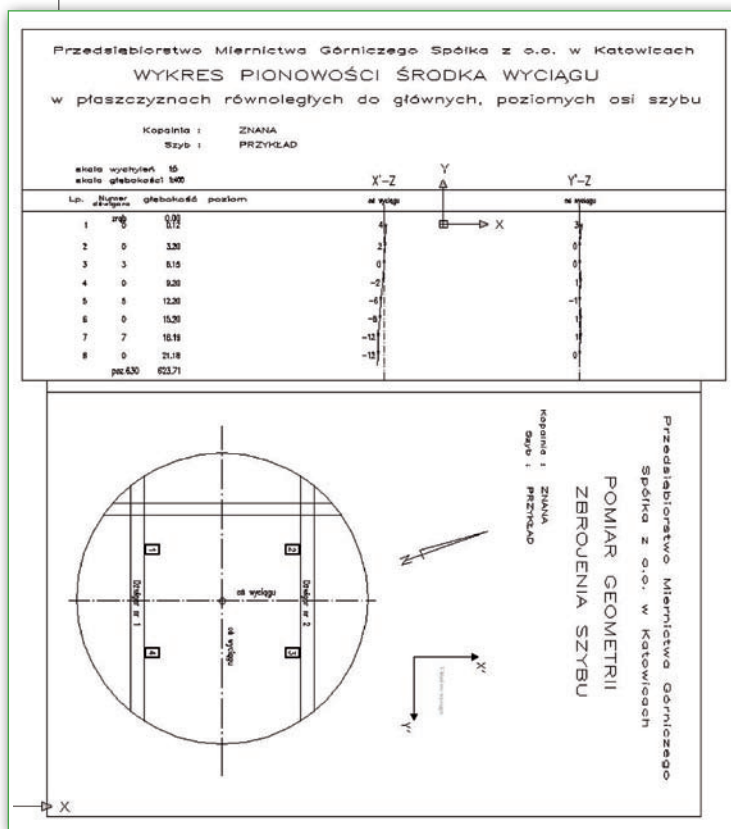
● WYNIKI PRAC NAD SYSTEMEM POMIAROWYM

I. Stworzony system pomiarowy, który w trakcie ciągłej jazdy naczynia wyciągowego automatycznie prowadzi wielopunktowe domiary w odniesieniu do pionu laserowego, pozwala na:

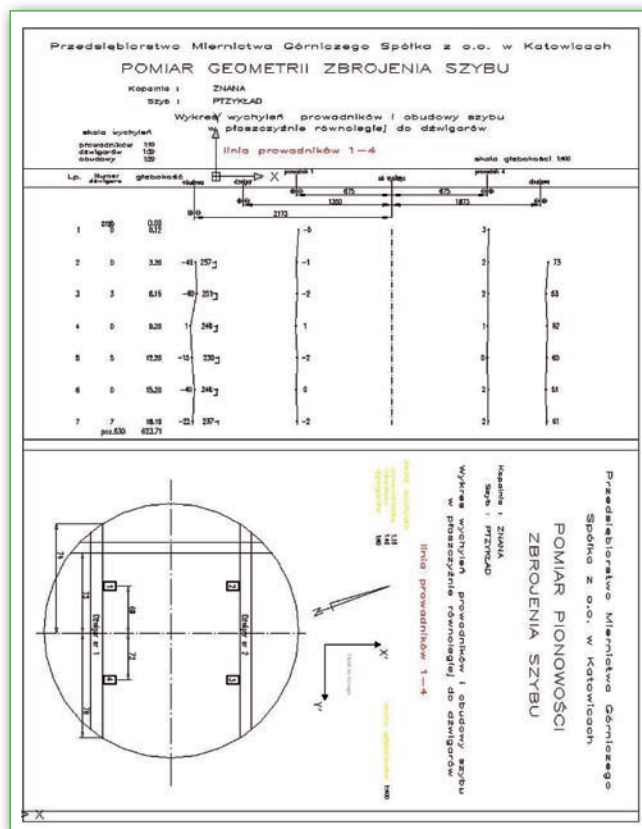
- ograniczenie liczby pracowników biorących udział w pomiarach (z sześciu do trzech),



Fot. 7. System detekcyjny plamki laserowej w warunkach laboratoryjnych



Rys. 8. Przykładowy fragment wykresu zmiany położenia środka wyciągu szybowego



Rys. 9. Przykładowy fragment wykresu wychyleń przewodników i obudowy szybu

- skrócenie czasu wykonywania pomiarów z 24 do 8 godzin dla szybu jednonapędzowego,
- ograniczenie wpływu głębokości szybu na proces pomiaru,
- uzyskiwanie zadowalającej dokładność pomiaru,
- poprawienie warunków BHP pomiarów poprzez eliminację niebezpiecznych prac szybowych.

II. Badania laboratoryjne i wstępne próby ruchowe wykazały, że system kontroli stabilności nadajnika laserowego w połączeniu z systemem automatycznego wyznaczania położenia środka plamki laserowej umożliwi pełną realizację badań geometrii szybów. Jednocześnie wyeliminowano prace przygotowawcze związane z opuszczaniem i kontrolą pionów mechanicznych.

III. Najnowocześniejsze rozwiązania z zakresu optoelektroniki stosowanej umożliwiły:

- poprawę kolimacji wiązki laserowej i jej stabilności,
- nowy sposób detekcji jej położenia w przestrzeni (m.in. ograniczenie wpływu drobin wody i turbulencji powietrza),
- uzyskanie wyższych od wymaganych dokładności pomiaru.

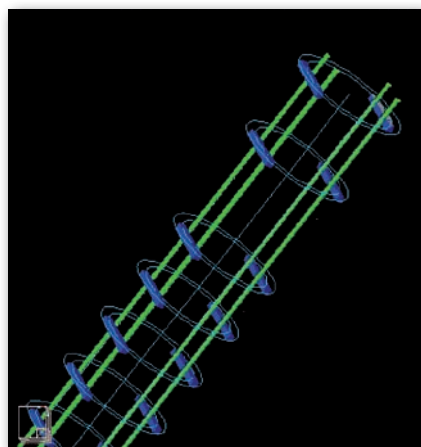
IV. Procesu pomiaru szybu nie udało się zautomatyzować w 100%. Niektóre pomiary należy wykonać w sposób klasyczny. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie dalmierzy elektronicznych typu Disto, a sama metoda jest już opisana przez pracowników naukowych Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

V. Opracowanie systemu wizualizacji geometrii szybu i elementów jego zbrojenia pozwoli na bezpośrednią kontrolę spełnienia wymogów nakładanych

przez standardy i przepisy prawa już na poziomie działu energo-mechanicznego kopalni. Oznacza to możliwość szybkiej weryfikacji poprawności jego geometrii w przypadkach kryzysowych.

VI. Skonstruowane urządzenie uzyskało pozytywną opinię Ośrodka Badań Atestacji i Certyfikacji dotyczącą możliwości stosowania go w kopalniach głębinowych.

VII. Opracowany system pomiaru szybów został wyróżniony złotym medalem na Światowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technik „Brussels Innova 2008”, a także przez ministra nauki i szkolnictwa wyższego.



Rys. 10. Przykładowa wizualizacja szybu

JACEK CZULAK,
 RAFAŁ MORAWIEC
 (Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego Sp. z o.o. w Katowicach)

Literatura:

- [1] Rozporządzenie ministra gospodarki z 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych z późn. zm.;
- [2] Załącznik nr 4 do rozporządzenia [w.];
- [3] Dokumentacja Projektu Celowego 6ZR82005C/006654 „Opracowanie nowej metody pomiaru parametrów geometrii obudowy szybu i jego wyposażenia”;
- [4] Opinie naukowe profesorów: Mirosława Chudka, Mieczysława Milewskiego i Jana Pieloka.