

Laserowa kontrola budynków i budowli inżynierskich poddanych oddziaływaniu eksploatacji podziemnej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

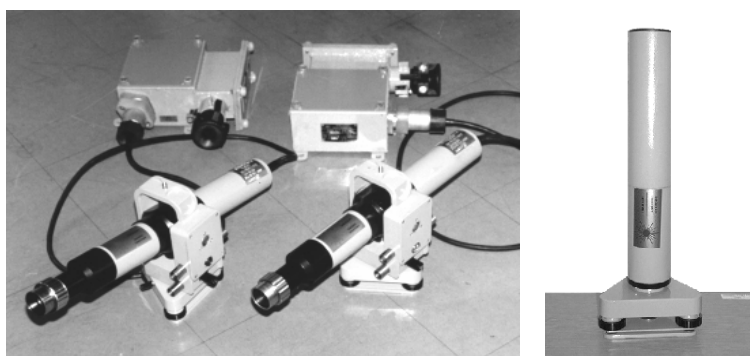
Przy sprawdzaniu stanów granicznych użyteczności budynków znajdujących się na terenach górniczych istnieje zapotrzebowanie na pomiary wychyleń, deformacji i odkształceń postaciowych, będących następstwem reakcji budynków i konstrukcji inżynierskich na deformacje ciągłe i nieciągłe powierzchni oraz na wstrząsy górnicze i inne oddziaływania środowiskowe, takie jak: klimatyczne, hydrogeologiczne, komunikacyjne itp. Dla poprawnej i całościowej analizy zjawisk konieczne jest spełnienie warunku automatycznego i ciągłego monitoringu tych parametrów, przy zachowaniu odpowiedniej dokładności pomiaru.

Spełnienie powyższych wymagań możliwe jest przy zastosowaniu laserowych systemów optoelektronicznych, które z powodzeniem zostały opracowane w Laboratorium Techniki Laserowej GIG i są stosowane w praktyce pomiarowej na wielu obiektach.

Opracowane rozwiązania i stosowane metody pomiaru obejmują, obok wyznaczania pionowości, także monitoring niskoczęstotliwościowych drgań i wychyleń konstrukcji i obiektów budowlanych. Stały nadzór prowadzi się na takich obiektach, jak: budynki mieszkalne, budowle zabytkowe, wieże i wysokie kominy, wiadukty, hale przemysłowe, szyby i wieże wyciągowe.

LASEROWY MONITORING KONSTRUKCJI GÓRNICZYCH I OBIEKTÓW BUDOWLANYCH NA POWIERZCHNI

Laser górniczy GL-3BM i jego późniejsze – doskonalsze wersje – pełnią już ćwierć wieku służbę w prowadzeniu wyrobisk korytarzowych, prostoliniowym prowadzeniu ścian, szybków, upadowych, rektyfikacji przenośników i torów kolejki. Obecnie stosowany jest laser EW-3, produkowany w Głównym Instytucie Górnictwa (rys. 1). Jest on o połowę lżejszy od poprzedników, wyjściowa wiązka ma moc 1 mW, przy znacznie mniejszej rozbieżności (10 mm na 150 m). Stanowi on też zasadniczą część pionownika laserowego, stosowanego do kontroli obudów szybowych, rektyfikacji przewodników szybowych, czy jak w latach ubiegłych, do pionowania drążonych szybów (PRG Mysłowice). Stosowane są lasery zarówno z wiązką laserową o barwie czerwonej (diody laserowe), jak i zielonej (laser krystaliczny Nd:YAG).



Rys. 1. Laser górniczy EW-3 (z lewej) i pionownik z laserem Nd:YAG (z prawej) produkcji GIG

W najnowszych rozwiązaniach w oparciu o lasery półprzewodnikowe i nowe typy lunet stworzono system pomiarowy, który w trakcie ciągłej jazdy naczynia wyciągowego automatycznie prowadzi wielopunktowe domiary w odniesieniu do pionu laserowego.

Jednym z podstawowych urządzeń, opracowanych i wykorzystywanych w GIG do ciągłej automatycznej kontroli wpływu eksploatacji podziemnej na budynki i budowle inżynierskie na powierzchni, jest laserowy czujnik drgań i wychyleń. Pozwala on na dokładny i ciągły pomiar zarówno wielkości wychyleń statycznych, jak i dynamicznych obiektu oraz na rejestrację amplitud

wychyleń i przyspieszeń (opcjonalnie całego widma drgań) wywołanych wstrząsami. Ze względu na jego znaczenie, urządzenie to i uzyskiwane przy jego pomocy rezultaty, zostaną w niniejszym opracowaniu przedstawione bardziej szczegółowo.

W oparciu o połączenie pionownika laserowego i laserowego czujnika wychyleń, służącego do kontroli jego stabilności, opracowany został system wyznaczania bezwzględnego położenia pionu laserowego, który może zostać wykorzystany m.in. do celów okresowej kontroli pionowości budowli inżynierskich poddanych oddziaływaniu eksploatacji podziemnej.

Iskrobezpieczna wersja omawianych czujników umożliwia ciągłą, automatyczną kontrolę górniczych wież i obmurzy szybowych. W pierwszym przypadku czujnik montowany jest na słupach trzonu wieży, a w drugim na elemencie pośrednim między strefami ścięcia obmurza szybowego lub na wysokości wybranych poziomów szybu.

LASEROWY CZUJNIK DRGAŃ I WYCHYLEŃ – BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA

Laserowy czujnik wychyleń, zintegrowany z czujnikiem przyspieszeń, współpracujący z cyfrowym systemem akwizycji i analizy danych, stanowi bazę jednego z podstawowych systemów pomiarowych opracowanych i wykorzystywanych przez GIG do monitoringu niskoczęstotliwościowych drgań i wychyleń konstrukcji i obiektów budowlanych na terenach górniczych. Czujnik ten jest opatentowanym rozwiązaniem własnym Głównego Instytutu Górniczego, które zostało nagrodzone m.in. złotym medalem na 53. Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Techniki w Brukseli EUREKA 2004.

Laserowy czujnik drgań i wychyleń budowli (rys. 2) pozwala na dokładny i ciągły pomiar wielkości wychyleń obiektu, zapewniając automatyzację pomiarów geodezyjnych. Wynik w formie graficznego wydruku komputerowego (lub zapisu na taśmie rejestratora) daje pełny obraz zmian zarówno co do wartości wychyleń (w mm wychylenia na każdy metr wysokości [mm/m]), ich kierunków (np. względem stron świata), jak i czasu, w którym wystąpiły. Zasada pomiaru oparta jest na rejestrowaniu odchylenia wiązki laserowej od jej wyjściowego – pionowego położenia zerowego – po przejściu przez klin cieczowy. Monochromatyczna wiązka światła o przekroju kołowym przechodzi jednokrotnie przez klin cieczowy o znanym współczynniku załamania światła i pada bezpośrednio na fotodetektor umieszczony centralnie w ustalonej odległości pod klinem cieczowym. Zasadnicze jego części to nadajnik, zamknięta kuweta częściowo napełniona cieczą (pryzmat cieczowy), detektor kwadrantowy, spodarka i obudowa. Skręcone razem korpusy nadajnika i detektora mocowane są w uchwycie, na którym opiera się osłona czujnika, a całość instalowana jest na spodarce geodezyjnej. W oddzielnej obudowie instalowany jest rejestrator cyfrowy z układem zasilającym. W nadajniku mocowane jest źródło światła – półprzewodnikowa dioda laserowa lub monochromatyczna dioda LED o dużej jasności oraz układ soczewek i przesłon formujących wiązkę światła o przekroju okrągłym na powierzchni detektora. Stabilizacja mocy emitowanej wiązki odbywa się poprzez pomiar emisji źródła za pomocą fototranzystora umieszczonego w pętli sprzężenia zwrotnego układu sterującego prądem zasilania emitera światła.

Detektorem jest fotodioda BPYP 17 firmy ITE. Powierzchnia światłoczuła ma kształt koła podzielonego na 4 równe segmenty. Sygnał z każdej części krzemowego fotodetektora jest funkcją oświetlonej powierzchni. Wzmocniony, wprowadzany jest przy pomocy karty A/D do komputera, gdzie następuje programowa analiza i rejestracja sygnału.

Sygnał pochodzący z fotodetektora jest wzmacniany różnicowo w dwukanałowym wzmacniaczu pomiarowym. Poziom wzmacnienia jest dobierany w trakcie kalibracji czujnika w taki sposób, aby dla pełnego zakresu pomiarowego uzyskać sygnał wyjściowy ± 5 V, odpowiadający napięciu wejściowemu przetwornika A/C rejestratora cyfrowego. Wzmocniony sygnał poddawany jest filtracji w układzie dolnoprzepustowym w celu ograniczenia pasma sygnału i usunięcia zakłóceń wysokoczęstotliwościowych.

Urządzenie współpracuje z cyfrowym rejestratorem komputerowym zapewniającym automatyczną ciągłą akwizycję i wstępne przetwarzanie uzyskiwanych danych pomiarowych. Cyfrowa rejestracja danych odbywa się w systemie opartym na wielokanałowej karcie przetwornika A/C o rozdzielczości 12-bitów oraz na komputerze klasy IBM PC w wersji przemysłowej (obudowa IP66). Zastosowane wyposażenie i oprogramowanie umożliwia graficzną wizualizację danych pomiarowych w czasie rzeczywistym na obiekcie, zapis danych na nośnikach cyfrowych, jak i

transmisję danych w systemie modułowym GSM lub GSM/GPRS telefonii komórkowej do centralnego komputera. Realizowana tu dalsza analiza danych pozwala w efekcie na przedstawienie w formie graficznego wydruku komputerowego pełnego obrazu zmian zarówno co do wartości wychyleń (w mm wychylenia na każdy metr wysokości [mm/m]), ich kierunków (np. względem stron świata), jak i czasu, w którym wystąpiły, w ujęciu dobowym, miesięcznym, a nawet w dłuższych okresach pomiarowych.

Oprogramowanie stosowane w centrali przeznaczone jest do wizualizacji przebiegów czasowych rejestrowanych przez każdy czujnik z osobna. Do pomiaru przyspieszeń służy mikroukładowy czujnik przyspieszeń, opcjonalnie montowany we wspólnej obudowie na laserowym czujniku wychyleń i podłączany do tego samego układu przedwzmacniacza.

Podstawowe parametry pomiarowe i charakterystyka techniczna czujnika wyglądają następująco:

- zakres pomiaru: ± 5 mm/m (możliwość zmiany zakresu w granicach od ± 2 do ± 50 mm/m),
- rozdzielczość: $\pm 0,01$ mm/m,
- zakres częstotliwości: < 10 Hz,
- napięcie wyjściowe: ± 5 V lub 0–10 V,
- napięcie zasilania urządzenia: 230 V AC,
- pobór mocy układu pomiarowego: < 2 W.

PRZYKŁADY LOKALIZACJI LASEROWYCH SYSTEMÓW DO CIĄGŁEJ KONTROLI BUDYNKÓW I BUDOWLI INŻYNIERSKICH NA TERENIE GÓRNEGO ŚLĄSKA

Przy pomocy laserowych czujników drgań i wychyleń prowadzono w ramach usług badawczych i projektów celowych pomiary m.in. na następujących obiektach:

- budynki mieszkalne w Katowicach (osiedle Paderewskiego, osiedle Witosa), Mysłowicach (osiedle MSM) oraz budynki użyteczności publicznej, jak szkoły, szpitale i urzędy (w Rydułtowach – kompleksowa sieć monitoringu miasta),
- obiekty zabytkowe i kościoły (zamek w Będzinie, kościoły w Bieruniu Nowym, w Rydułtowach i w Katowicach),
- obiekty przemysłowe (wagonownia dworca towarowego Muchowiec w Katowicach, komin ceglany $H = 100$ m ciepłowni KWK „Katowice”, komin betonowy $H = 100$ m ciepłowni w Mysłowicach–Wesołej, komin $H = 200$ m Elektrowni „Łaziska”, wieże wyciągowe stalowe – KWK „Katowice”, „Makoszowy”, „Wieczorek”, ZG Piekary Śl., Ruch „Brzeziny”, wieża wyciągowa basztowa - KWK „Zofiówka”, obmurze szybowe – KWK „Morcinek”.

Na wielu z tych obiektów nadal prowadzony jest ciągły monitoring. Stale przy tym dochodzą nowe lokalizacje, w miarę rosnącego zainteresowania dla tej formy nadzoru metrologicznego, również na terenach górniczych poza GZW (np. sieć monitoringu miasta Polkowice w LGZM).

Największą sieć pomiarów zrealizowano na Śląsku w ramach projektu celowego. Od tego czasu sieć ta dostarcza nieprzerwanie cennych danych na temat reakcji wybranych 6 budowli, w obrębie miasta Rydułtowy, na prowadzoną w tym rejonie eksploatację górnictwa.



Rys. 2. Czujnik wychyleń zamontowany na wieży budynku kościoła (uwidoczniony na zdjęciu z lewej wraz z układem transmisji i rejestratorem) i na poddaszu szpitala w Rydułtowach

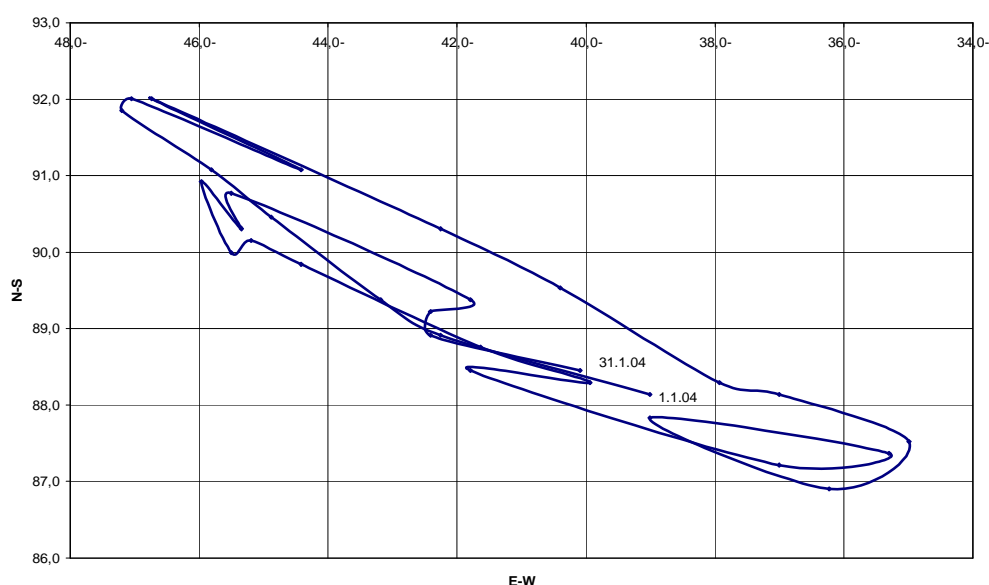
WYNIKI CIĄGŁEJ KONTROLI BUDYNKÓW I BUDOWLI INŻYNIERSKICH NA TERENIE GÓRNEGO ŚLĄSKA

Analiza danych pomiarowych, uzyskanych za pomocą systemów laserowych czujników wychyleń i przyspieszeń umożliwia:

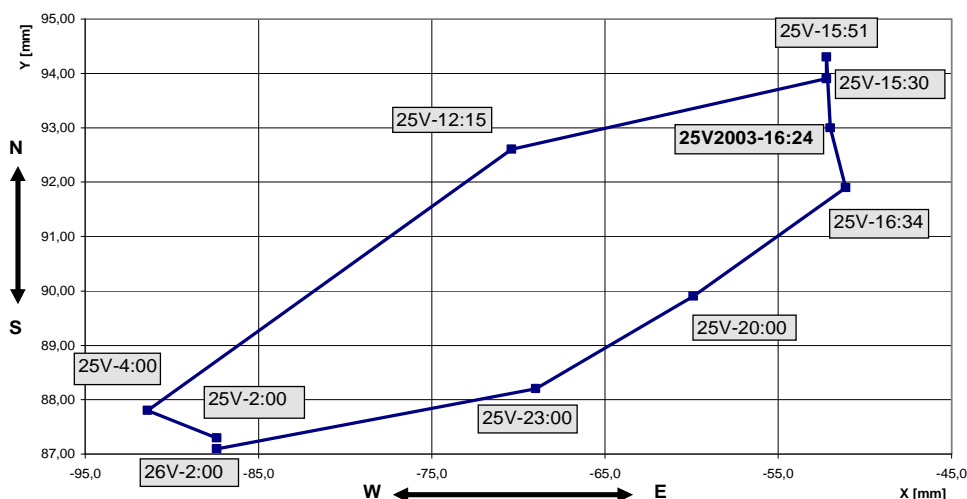
- ciągły monitoring wychyleń statycznych i dynamicznych badanych obiektów względem uprzednio wyznaczonego (np. z wykorzystaniem pionownika laserowego i/lub konwencjonalnych metod geodezyjnych) wyjściowego odchylenia od pionu,
- identyfikację czynników wpływających na stabilność obiektu i ocenę ich uciążliwości (górnictwo, hydrogeologiczne, komunikacyjne, klimatyczne),
- ustalenie stopnia utraty wartości użytkowych (zmiana dekrementu tłumienia),
- podjęcie we właściwym czasie decyzji o zastosowaniu odpowiedniej profilaktyki budowlanej czy innych zabezpieczeń.

Zastosowane wyposażenie i oprogramowanie umożliwia graficzną wizualizację danych pomiarowych dla każdego badanego obiektu w czasie rzeczywistym, zapis danych na nośnikach, a opcjonalnie także na transmisję danych w systemie modułowym GSM lub GSM/GPRS telefonii komórkowej do centralnego komputera. Program stosowany w centrali – przeznaczony jest do wizualizacji przebiegów czasowych rejestrowanych przez wszystkie czujniki. Przeglądarka wyposażona jest w aktywny marker ułatwiający odczyt danych z dowolnej minuty, a także w lupę i opcję zmiany podstawy czasu.

Wielomiesięczne analizy wskazań czujników zainstalowanych na wieżach wyciągowych wskazują niejednokrotnie na wyraźną okresowość zmian wartości i kierunków wychyleń. Najczęściej zmiany długookresowe związane są z porami roku, co wskazuje, że zmiana warunków hydrogeologicznych może być przyczyną niestabilności położenia wieży. Ich wpływ może się ponadto sumować z odkształceniami górotworu spowodowanymi wpływami dokonanej eksploatacji górniczej. Na chwilowe wychylenie wieży wpływają też takie czynniki, jak obciążenie eksploatacyjne wieży, czy wygięcie spowodowane czynnikami termicznymi (nasłonecznienie). Pomimo iż są one okresowe w skali jednej doby i nie mają wpływu na zmianę wypadkowego statycznego wychylenia wieży, nie mogą być bagatelizowane. Są one bardzo wyraźne (np. sięgają do 2 mm/m dla wież stalowych), a niekorzystne złożenie wszystkich wskazanych czynników może powodować przekraczanie kątów granicznych natarcia liny wyciągowej.



Rys. 3. Biegunowy wykres zbiorczy wychyleń wieży wyciągowej na wysokości $H = 31$ m w okresie jednego wybranego miesiąca (styczeń)



Rys. 4. Biegunowy wykres zbiorczy wychyleń wieży wyciągowej na wysokości $H = 31$ m w dniu realizacji pomiarów geodezyjnych, w miesiącu maju

Rysunek 3 jest przykładem na to, że pomimo niewielkiej łącznej zmiany wypadkowej amplitudy wychyleń (przemieszczenie na wysokości kół linowych) w skali jednego miesiąca (poniżej 1 mm), rozpiętość zmiany wychyleń wieży w tym okresie objąć może dużo większy przedział (tu: 6 mm w kierunku E-W i 5 mm w kierunku N-S). Dla uzyskania tego wykresu wykorzystano dane o wychyleniach wieży, rejestrowane o tej samej porze doby (w pierwszych godzinach po północy). Dobowe zmiany, spowodowane nasłonecznieniem bądź wiatrem, potrafią być jeszcze większe. Np. w dniu prowadzenia klasycznych pomiarów geodezyjnych, w warunkach silnego nasłonecznienia i dużej dobowej różnicy temperatur, uzyskano rozpiętość aż 40 mm na kierunku E-W (rys. 4).

Oznacza to, że konieczne jest równoległe analizowanie wpływu innych, poza górniczymi, czynników (wiatru, słońca, drgań komunikacyjnych, poziomu wód gruntowych) na wychylenia budynków, w tym mieszkalnych i zabytkowych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione wyżej metody i rozwiązania techniczne z zastosowaniem czujników wychyleń i przyspieszeń zapewniają stały monitoring obiektów podlegających wpływom eksploatacji górniczej na terenach Górnego Śląska. Stały monitoring wychyleń, wstrząsów i reakcji budowli na wszystkie czynniki środowiskowe pozwala na uzyskiwanie cennych danych dotyczących zachowania się takich obiektów jak: wieże wyciągowe, wielosegmentowe i wielokondygnacyjne budynki mieszkalne oraz obiekty użyteczności publicznej. Pozwalają one na pełniejszą ocenę wszystkich czynników oddziałujących statycznie i dynamicznie na monitorowane obiekty na powierzchni, co z kolei pozwala na wyciąganie na bieżąco pełniejszych wniosków na temat ich aktualnego stanu technicznego i bezpieczeństwa. Najkorzystniejsze na dzień dzisiejszy jest połączenie ciągłego monitoringu drgań i wychyleń obiektów laserowymi czujnikami z okresowymi pomiarami klasycznymi metodami geodezyjnymi. W wielu wypadkach dopiero takie zestawienie danych pomiarowych pozwala na rozróżnienie skutków eksploatacji górniczej, ujawniających się w obserwowanym obiekcie, od innych oddziaływań środowiskowych. Szersze stosowanie zestawu kilku czujników na jednym wysokim i/lub rozległym obiekcie pozwala z kolei na pełniejszą ocenę deformacji konstrukcji takiego obiektu, a rejestracja widma drgań dynamicznych umożliwia określenie takich podstawowych jej parametrów, jak okres i dekrement tłumienia drgań własnych. Odpowiednie metody zostały opracowane w oparciu o eksperymentalne dane uzyskane dla konstrukcji testowego budynku w Katowicach, a następnie zastosowane na obiektach użytkowych, w tym wielokondygnacyjnym budynku mieszkalnym w Polkowicach i kominie elektrowni „Łaziska”. Szersze zastosowanie tej metody z wykorzystaniem wielu czujników może być szczególnie przydatne przy kompleksowym monitoringu szczególnie ważnych obiektów budowlanych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.