

Instalacja aparatury pomiarowej w budynku zabytkowego kościoła. Pomiar i rejestracja nachyleń wieży

ADAM KANCIRUK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W latach ubiegłych, w ramach działalności statutowej Pracowni opracowano i skonstruowano telemetryczny miernik strunowy, oraz również strunowy, prototypowy inklinometr. Miernik zapewnia wielokanałowy pomiar wielkości fizycznych przy użyciu przetworników strunowych i przesył uzyskanych danych poprzez sieć telefonii komórkowej. Inklinometr natomiast przeznaczony jest do pomiaru wychyleń konstrukcji w dowolnej płaszczyźnie. Obydwa te przyrządy zostały zastosowane wraz z czterema zakupionymi tensometrami do obserwacji stanu budynku zabytkowego kościoła znajdującego się na terenie oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej. Tensometry użyto do pomiaru zmian rozwarości szczelin w nawie głównej obiektu, a inklinometr do pomiaru zmian nachylenia wieży. Tym sposobem możliwy był zdalny monitoring stanu budynku. Zgromadzone dane pomiarowe wykazały wpływ eksploatacji górniczej na rozwarość szczelin i nachylenie wieży. Szczególnie to ostatnie, okazało się wrażliwe nie tylko na postępujący front wydobywania, ale też na obecność starych zrobów i zaistniałe wstrząsy. Uzyskany materiał badawczy dowodzi trafności konstrukcji inklinometru i telemetrycznego miernika strunowego, oraz sensowności stosowania tych urządzeń w podobnych obserwacjach.

Słowa kluczowe: szkody górnicze, geotechniczna aparatura tensometryczna, telemetria

Wstęp

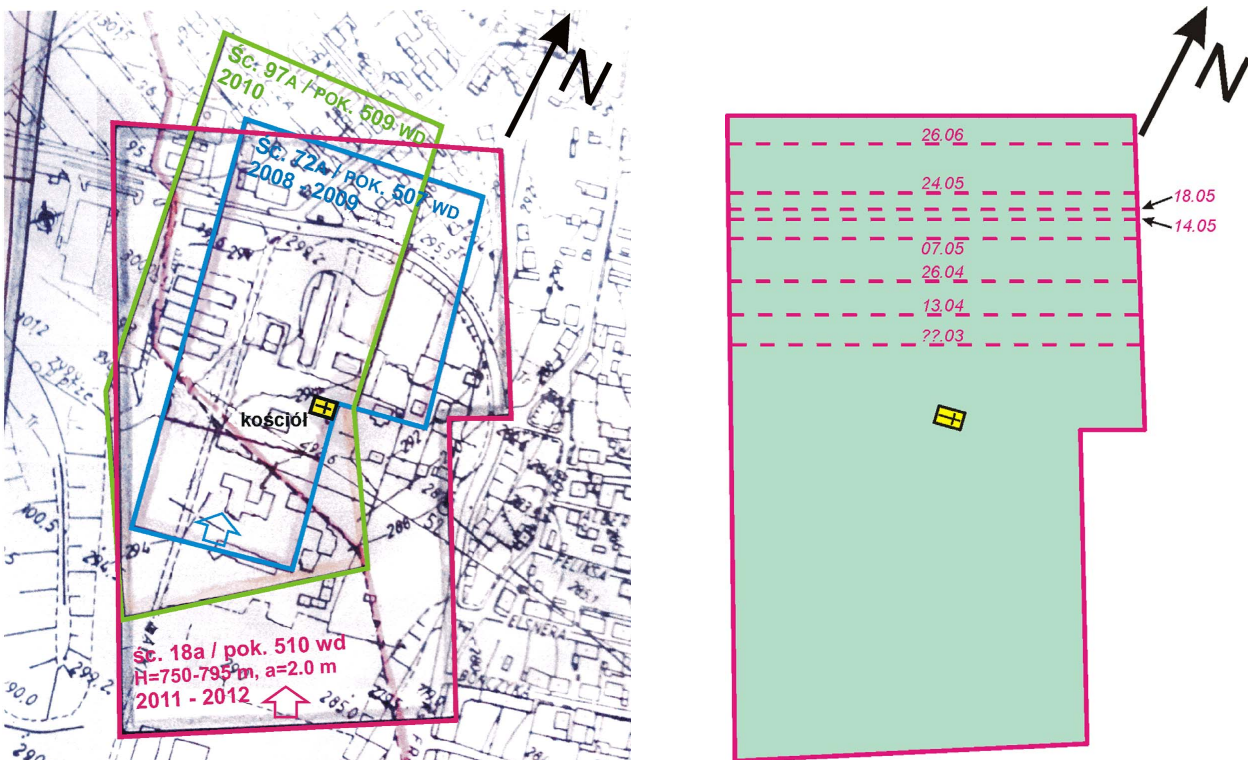
Na Górnym Śląsku, w Parafii Ewangelicko-Augsburskiej w Bytomiu-Miechowicach, znajduje się XIX-wieczny, neogotycki kościół (rys. 1). Miechowice są też jednym z obszarów podziemnej eksploatacji węgla kamiennego. W tym rejonie historia górnictwa prowadzonego na skalę przemysłową sięga lat 20-tych XIX wieku. Początkowo wydobywano tu galman (rudę cynku), następnie również rudy ołowiu, a z początkiem XX wieku, od otwarcia w 1902 roku kopalni „Prusy” (*Preussen Grube*) rozpoczęto eksploatację węgla kamiennego. Wkrótce jego wydobywanie przekroczyło 100 tys. ton rocznie. Po roku 1945 kopalnia zmieniła nazwę na „KWK Miechowice” która obecnie, po kilku przekształceniach restrukturyzacyjnych, wchodzi w skład Kompanii Węglowej S.A. – Kopalni Węgla Kamiennego „Bobrek-Centrum”. Dotychczas złoża węgla zalegające pod Miechowicami eksploatowane były w 13 pokładach.

1. Zagrożenie dla stanu budynku kościoła związane z eksploatacją górniczą

Wskutek wydobywania węgla w czasie ostatnich 100 lat, na terenie zabudowań Parafii teren obniżył się o 6-7 m. W porównaniu z występującymi na terenie Bytomia lokalnymi obniżeniami wynoszącymi nawet 30 m, nie są to obniżenia duże. Niebezpieczny dla zabudowy jest natomiast niejednorodny charakter deformacji terenu, spowodowany przebiegiem w jej sąsiedztwie krawędzi pól eksploatacji. Na rysunku 2 przedstawiona jest mapka zabudowy miejskiej, z naniesionymi trzema polami, w których wydobywanie prowadzono w latach 2008-2012. Dodatkowo zaznaczony jest też zarys budynku kościoła.



Rys. 1. Fotografia kościoła ewangelickiego w Miechowicach



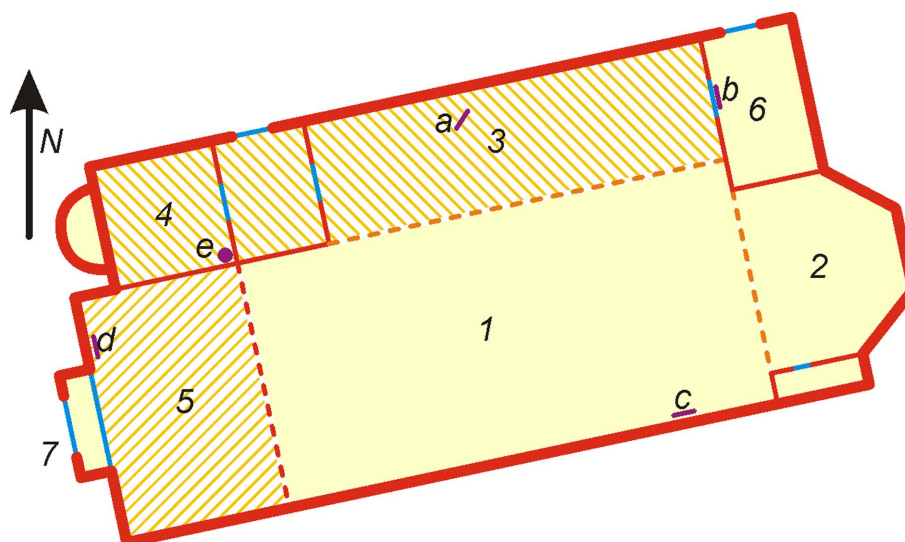
Rys. 2. Położenie 3 pól eksploatacji węgla względem budynku kościoła oraz postęp frontu w 2012 roku

Oś budynku kościoła z kierunkiem północ-południe tworzy kąt około 102° . Eksploatacja węgla przebiegała systemem ścianowym „na zawał”. W latach 2008-2009 wydobywano węgiel ścianą 72a z pokładu na głębokości ok. 600 m, a w roku 2010, ścianą 97a z pokładu na głębokości ok. 700 m. Pole eksploatacji z lat 2008-2009, ze względu na możliwość wystąpienia w budynku kościoła szkód górniczych, jest bardzo niekorzystnie usytuowane. Wprawdzie budynek kościoła znajduje się w całości nad polem, ale jego wschodnia ściana pokrywa się niemal dokładnie z rzutem krawędzi pola na powierzchnię. W przypadku pola eksploatacji z roku 2010 sytuacja jest nieco korzystniejsza. Dopiero względem pola eksploataowanego w latach 2011-2012 ścianą 18a na głębokości ponad 750 m kościół zajmuje w przybliżeniu centralne położenie.

Jest oczywiste, że bieżąca eksploatacja ścianą 18a może uaktywnić wyrobiska powstałe w latach ubiegłych i doprowadzić do powstania poważnych szkód górniczych.

2. Instalacja aparatury pomiarowej.

W celu oceny wpływu bieżącej eksploatacji górniczej na budynek kościoła, na początku grudnia 2011 zainstalowano w nim strunową aparaturę pomiarową. Aparatura ta składa się z czterech zakupionych tensometrów firmy Geokon typu 4420 [1], oraz następujących przyrządów konstrukcji autora: termometru, inklinometru [2] i telemetrycznego miernika strunowego TMS-1 [3]. Schemat instalacji przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Układ kościoła i schemat instalacji aparatury.

1 – nawa główna, 2 – prezbiterium, 3 – sklepienie nad nawą boczną, 4 – wieża, 5 – chór, 6 – zakrystia, 7 – wejście główne, *a*, *b*, *c*, *d* – tensometry Geokon 4420, *e* – inklinometr i telemetryczny miernik strunowy TMS-1

Tensometry typu 4420 mają bazę pomiarową ok. 330 mm, a zakres – 12.5 mm. Zostały zamontowane przy użyciu metalowych, gwintowanych kołków wklejanych w otwory wywiercone w ścianie. Jest to mocowanie dostatecznie sztywne dla wiernego przekazywania przemieszczeń. Jako miejsca montażu wybrano wyraźne zarysowania ścian budynku nawy głównej, spodziewając się, że wskutek postępującej eksploatacji w tych miejscach nastąpią największe przemieszczenia¹. Inklinometr oraz miernik TMS-1 zamontowano w wieży kościoła. Wszystkie przetworniki pomiarowe podłączono teletechnicznym kablem do miernika. Na rysunkach 4-8 przedstawiono fotografie zainstalowanej aparatury.

Instalację aparatury ukończono 8 grudnia 2011 roku. Wykorzystano wszystkie (8) kanały wejściowe miernika TMS-1, podłączając go do 4 tensometrów, jednego termometru i 3 elektromagnesów inklinometru. Okres repetycji pomiarów ustalono początkowo na 3 godziny, co daje 8 pomiarów na dobę. W czerwcu 2012 roku okres ten zwiększono do 6 godzin, a we wrześniu 2012 roku – do 12 godzin. Podczas każdego

¹ Wyboru miejsc instalacji tensometrów dokonał pracownik Zakładu Elementów Konstrukcji Budowlanych i Budownictwa na Terenach Górniczych Instytutu Techniki Budowlanej.



Rys. 4. Tensometr 4420 *a* i termometr zainstalowane na sklepieniu nad nawą boczną



Rys. 5. Tensometr 4420 *b* zainstalowany na ścianie nad drzwiami od strony zakrystii



Rys. 6. Tensometr 4420 *c* zainstalowany na południowej ścianie

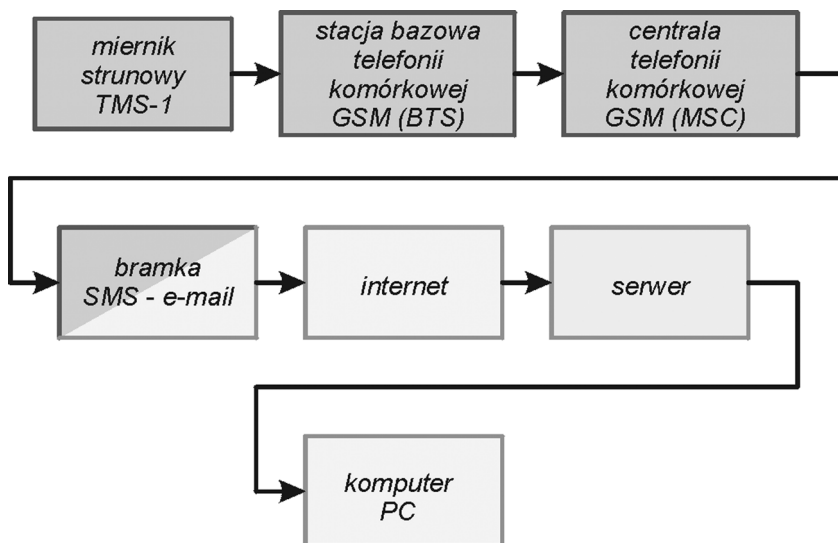


Rys. 7. Ekstensometr 4420 *d* zainstalowany na ścianie przy głównym wejściu



Rys. 8. Inklinometr *1* i telemetryczny miernik strunowy TMS-1 *2* zainstalowane w wieży. *3* – kable do tensometrów

cyklu pomiarowego miernik wykonuje 32 pomiary, powtarzając je dla każdego z kanałów 4 razy. Wszystkie wyniki pomiarów są kodowane i jako informacja typu SMS przekazywane przez jedną z sieci telefonii komórkowej i bramkę sms-e-mail według schematu umieszczonego na rysunku 9, wprost do jednego z komputerów w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN, do dalszej obróbki i archiwizowania. Tym sposobem istnieje



Rys. 9. Uproszczony schemat toru transferu danych pomiarowych

możliwość bieżącego śledzenia zmian rozwartości zarysowań, temperatury w głównej nawie i nachylenia wieży kościoła. Transmisja danych pomiarowych przez system telefonii komórkowej okazała się dość niezawodna, na ponad 2000 przesyłów tylko niespełna 1% zostało utraconych. Jak dotąd, przez okres niemal jednego roku, miernik TMS-1 pracuje korzystając z jednego zestawu baterii. Przy ustaleniu początkowego 3-godzinnego okresu repetycji pomiarów, koszt związany z wykorzystaniem sieci telefonii komórkowej do transmisji danych wynosił 100 PLN za 89 dni (718 przesyłów), obecnie 100-złotowe doładowanie konta telefonu wystarcza na 6 miesięcy pracy łącza.

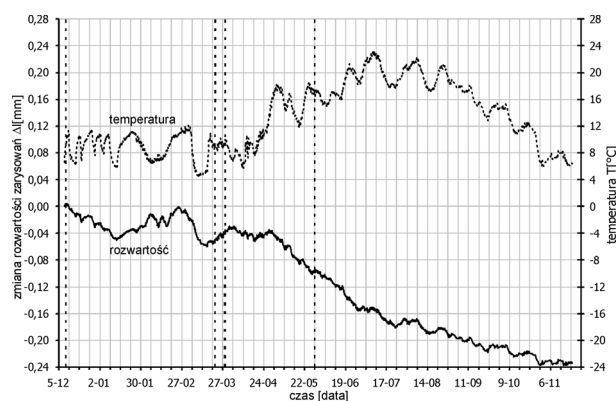
Dla efektywnego przetwarzania danych pomiarowych uzyskiwanych jako informacja typu e-mail z bramki GSM-Internet opracowano w języku Turbo Pascal for Windows [4] specjalny program. Program ten generuje następujące wyniki pomiarowe: 4 wartości przemieszczeń $D1$, $D2$, $D3$ i $D4$ [mm] (dotyczy tensometrów), wartość temperatury T [°C], nachylenie $\text{tg } \alpha$ [%] i kąt płaszczyzny względem kierunku północ-południe w jakiej to wychylenia ma miejsce θ [°] (dotyczy inklinometru).

2. Wyniki pomiarowe

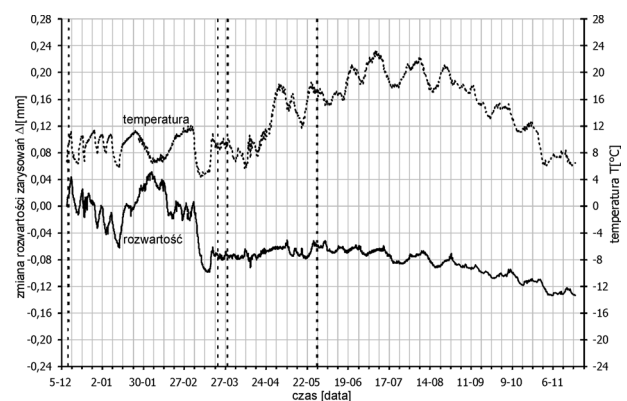
Pierwszy cykl pomiarowy wskazań tensometrów, termometru i inklinometru miał miejsce 8 grudnia 2011 roku o godzinie 18:40. Dla następnych cykli, realizowanych jak wspomniano co 3 godziny, jego wyniki (poza dotyczącymi pomiaru temperatury) przyjęto za zerowe. Rysunki 10-13 przedstawiają wykresy zmian rozwartości zarysowań ścian kościoła i sklepienia nad nawą boczną w okresie od 8 grudnia 2011 roku, do 20 listopada 2012 roku. Dodatkowo na każdym rysunku naniesiono też wartości temperatury w nawie głównej kościoła, mierzone termometrem znajdującym się pod sklepieniem nawy bocznej.

W początkowym okresie prowadzenia pomiarów, do 16 stycznia 2012 roku wyraźnie widać, że na rozwartość zarysowań ścian i sklepienia decydujące znaczenie miała temperatura wewnątrz kościoła, który w zimie jest okresowo ogrzewany. Zmiany tej temperatury najmniej wpływały na rozwartość zarysowania sklepienia nawy bocznej (rys. 10). Wraz ze wzrostem temperatury rozwartość nieco rośnie. Obydwie powierzchnie sklepienia: górna i dolna znajdują się w przybliżeniu w tej samej temperaturze, stąd niewielkie zmiany rozwartości zarysowania. Nieco większe zmiany są widoczne w przypadku zarysowania południowej ściany kościoła (rys. 11). Można zauważyć, że wzrost temperatury skutkowało zmniejszeniem rozwartości zarysowania, najprawdopodobniej ze względu na rozszerzanie się ciepłone wewnętrznej warstwy ściany. Jeszcze wyraźniej widać ten efekt w przypadku zarysowania przy głównym wejściu do nawy (rys. 12). Podobne bezwzględne wartości zmian rozwartości miały miejsce dla zarysowania znajdującego się na ścianie po stronie zakrystii (rys. 13), ale względem zmian dla zarysowania przy wejściu były one niejako w przeciwfazie. Pomieszczenie zakrystii nie jest ogrzewane, ponadto ściana na której jest zamontowany tensometr jest cienką ścianą działową, stąd zapewne inny charakter jej termicznych odkształceń niż grubych ścian zewnętrznych kościoła. Po sezonie grzewczym wyraźna zależność rozwartości zarysowań od zmian temperatury w nawie głównej ustała.

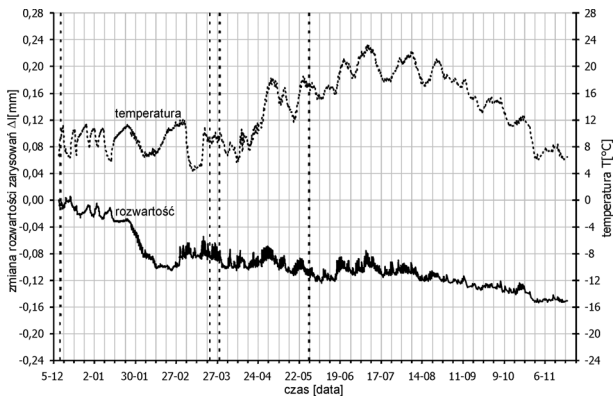
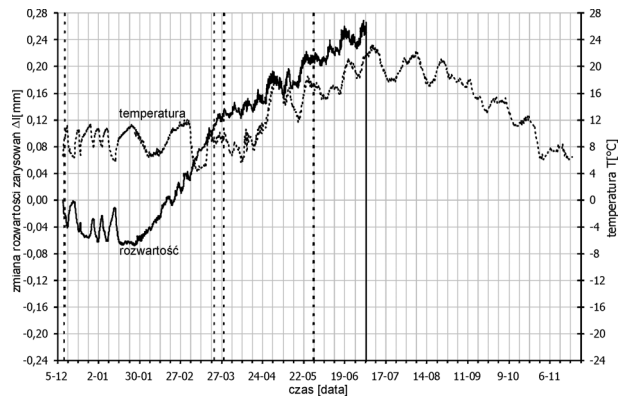
Począwszy od końca stycznia 2011 roku następował powolny wzrost rozwartości zarysowania znajdującego się przy wejściu głównym do kościoła (rys. 12), a od początku maja 2012 roku stopniowe zaciskanie się zarysowania w sklepieniu nawy bocznej (rys. 10). Niezauważalna była natomiast zależność



Rys. 10. Tensometr *a* (sklepienie nad nawą boczną)

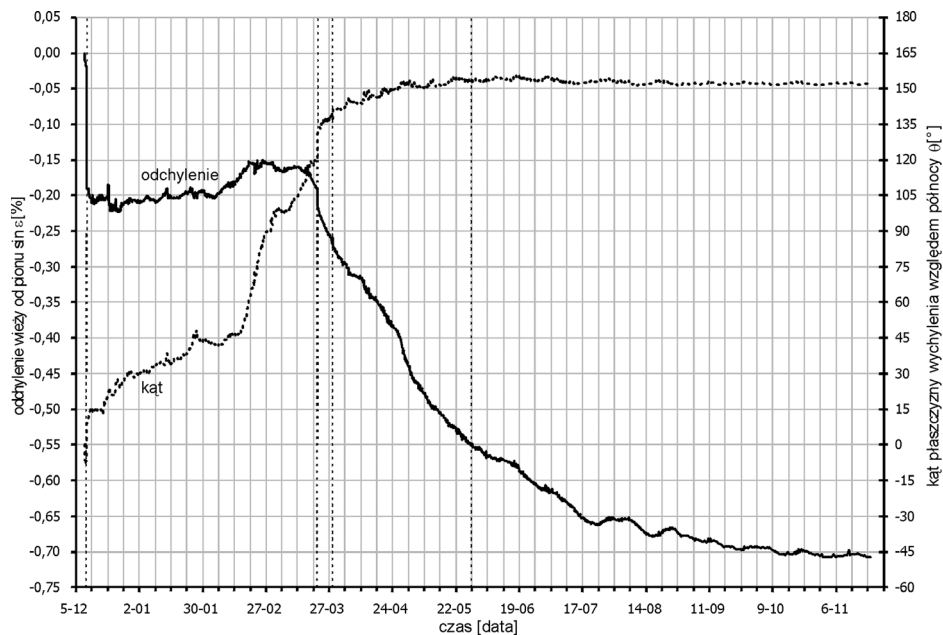


Rys. 11. Tensometr *b* (w zakrystii)

Rys. 12. Tensometr *c* (na południowej ścianie)Rys. 13. Tensometr *d* (obok wejścia głównego)

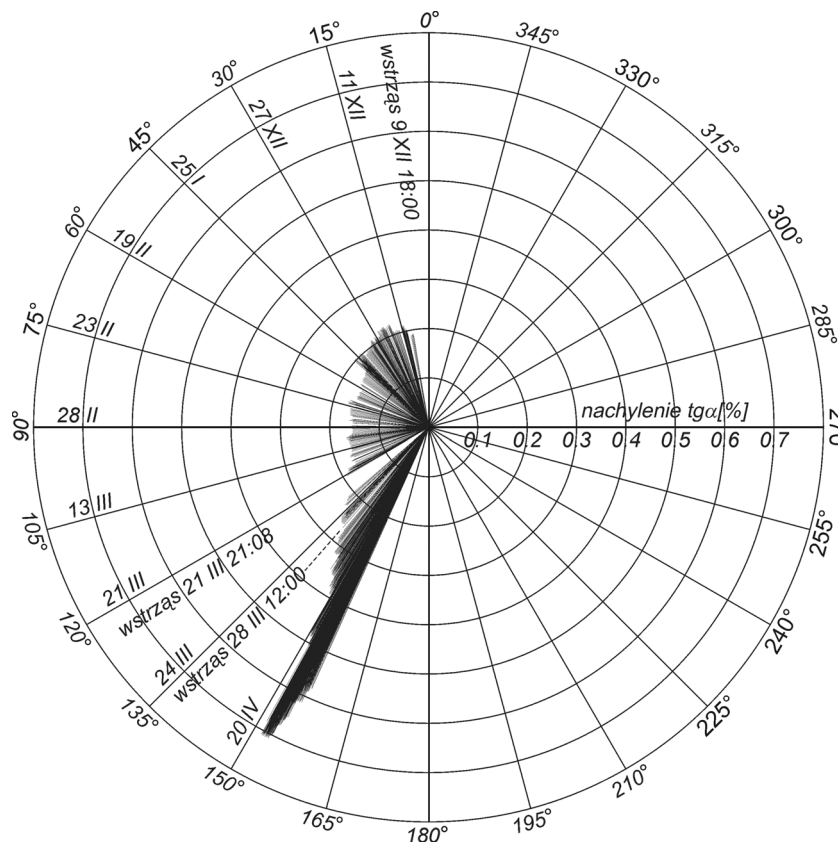
zmian rozwartości zarysowań od towarzyszących eksploatacji węgla wstrząsów (rys. 10-13, pionowe linie przerywane) na tyle silnych, że były odczuwalne przez organizm ludzki.

Rysunek 14 przedstawia zmiany nachylenia wieży kościoła w czasie we współrzędnych kartezjańskich, a rysunek 15 we współrzędnych biegunowych, co uwidacznia zmiany w sposób bardziej przejrzysty. Na rysunku 15 każdemu pomiarowi (dotąd przeprowadzono ich ponad 2000) odpowiada odcinek, którego jeden koniec jest stale „zaczepiony” w środku układu współrzędnych. Długość tego odcinka jest proporcjonalna do nachylenia wieży, a kąt – zgodny z kierunkiem w jakim to nachylenie zachodzi.



Rys. 14. Zmiany nachylenia wieży kościoła w czasie

Jak wspomniano wyżej, eksploatacja ścianą 18a mogła uaktywnić wyrobiska powstałe w latach ubiegłych i doprowadzić do powstania poważnych szkód górniczych. Analizując rysunki 2, 14, 15 można dojść do wniosku, że takie uaktywnienie faktycznie miało miejsce. Dzień przed uruchomieniem zainstalowanej aparatury 8 grudnia 2011 roku, miał miejsce odczuwalny wstrząs. 9 grudnia nastąpił następny podobny wstrząs, którego skutkiem było nagle nachylenie się wieży w kierunku północnym o niemal 0.2%, a więc w kierunku pustek powstałych po eksploatacji ścianą 72a w latach 2008-2009. Następnie, wraz z postępem bieżącej eksploatacji (rys. 2, 14, 15), do pierwszego tygodnia lutego 2012 roku nachylenie wieży pozostawało w przybliżeniu stałe, następnie zmalało o ok. 0.05%. W tym czasie kierunek wychylenia wieży stopniowo zmieniał się, aż do 21 marca gdy osiągnął kąt ok. 120° względem północy. Zaistniały w tym dniu wstrząs



Rys. 15. Nachylenie wieży we współrzędnych biegunowych. Daty (dzień, miesiąc) oznaczają dni osiągnięcia określonego kąta płaszczyzny wychylenia wieży względem kierunku północnego

doprowadził do skokowej zmiany kierunku o dalsze 10° i nachylenia wieży o 0.024% . Później, kierunek płaszczyzny w jakiej zachodzi nachylenie stabilizuje się, a jego wartość stale rośnie, by od końca września 2012 roku ustabilizować się. Obecnie (połowa listopada 2012 roku) przekracza ono 0.7% , przy kącie (względem północy) ok. 152° . Wstrząs jaki miał miejsce 28 marca spowodował zmianę nachylenia zaledwie o 0.01% , a wstrząs z 28 maja 2012 roku nie skutkowało zmianą nachylenia wieży w zauważalny sposób. Obydwa wstrząsy zarejestrowane w marcu wydarzyły się, gdy front eksploatacji znajdował się pod zabudowaniami Parafii, po przejściu pod budynkiem kościoła (rys. 2). Pomiar nachylenia wieży i rozwartości zarysowań (oprócz zarysowania przy wejściu głównym) są w dalszym ciągu kontynuowane.

W kwietniu 2012 roku w piwnicy kościoła umieszczono sprawny, choć pochodzący z 50-tych lat XX wieku akcelerometr górniczy połączony poprzez elektroniczny wzmacniacz z rejestratorem, również dawnej produkcji. Zestaw ten, choć nieskalibrowany miał posłużyć nie tyle do rejestracji amplitudy wstrząsów, co do ich detekcji i wykrycia związków ze zmianami nachylenia wieży kościoła. Czułość jego okazała się bardzo duża, prawdopodobnie zarejestrowane zostały też wstrząsy pochodzenia komunikacyjnego. Zawodność mechanizmu przesuwu papieru rejestratora oraz konieczność okresowych wyłączeń sieci elektrycznej w budynku kościoła sprawiły jednak, że rejestracja nie była ciągła. Poza tym zauważono, że decydujące dla zmian nachylenia wieży miały tylko pojedyncze wstrząsy odczuwalne przez organizm ludzki, dlatego zarejestrowanych na taśmie papierowej wstrząsów nie użyto w badaniach.

Istniejące na początku grudnia zarysowania ścian kościoła nie okazały się dla jego konstrukcji niebezpieczne. Natomiast, wraz z postępem ściany *18a* (rys. 2) utworzyły się nowe zarysowania, przechodzące w szczeliny, co sprawiło, że od końca czerwca 2012 roku stan budynku kościoła jest katastrofalny, nie pozwalający na jego dalsze użytkowanie.

3. Podsumowanie

Wytypowanie do badań wpływu podziemnej eksploatacji górniczej na budynki obiektu zabytkowego kościoła okazało się trafne. Budynek ten doznał poważnych uszkodzeń, co doprowadziło do wyłączenia go z normalnej eksploatacji. Zainstalowane w nawie głównej kościoła 4 tensometry, których celem była obserwacja zmian rozwartości zarysowań i szczelin ścian i sklepienia tylko częściowo spełniły swoje zadanie. Fakt ten nie jest jednak związany z ich nieodpowiednim wyborem lub ich nadmierną zawodnością. W czasie poprzedzającym przejście w rejonie budynku kościoła frontu eksploatacji wydawało się, że przejście to spowoduje zmiany rozwartości szczelin już istniejących, tymczasem powstały nowe, znacznie szersze szczeliny poza strefami pomiarów. Przy pomocy zainstalowanego w wieży kościoła prototypowego inklinometru uzyskano znacznie bogatszy materiał badawczy. Zarejestrowano zmiany jej nachylenia, oraz zmiany kąta płaszczyzny w którym to nachylenie zachodzi względem kierunku północnego. Stwierdzono, że na zmiany te miała wpływ nie tylko bieżąca eksploatacja, ale również związane z nią wstrząsy oraz wyrobiska pozostałe po poprzednich wydobywaniach. Podłączony do wszystkich przetworników pomiarowych telemetryczny miernik strunowy pozwolił na sprawną, zdalną rejestrację wyników pomiarowych, która odbywała się początkowo z częstotliwością 8 na dobę, później rzadziej.

Idea funkcjonowania prototypowego inklinometru strunowego okazała się trafna, jego konstrukcja dla dalszych zastosowań powinna być tylko w niewielkim stopniu zmodyfikowana. Również nienowoczesny już telemetryczny miernik strunowy TMS-1 wymaga modernizacji. Natomiast sposób pomiaru rozwartości szczelin musi ulec poważnej zmianie. Konieczne jest użycie większej liczby tensometrów, najlepiej w układach rozet. Sugeruje się dostosowanie do pomiarów w podobnych warunkach jak opisanych w artykule tensometrów własnej konstrukcji, których niski koszt wytworzenia sprzyjałby bogatszemu oprzyrządowaniu badanego obiektu.

Praca została wykonana w roku 2012 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] www.geokon.com/products/datasheets/4400.pdf#page=2
- [2] Kanciruk A., *Nowe przetworniki strunowe i ich zastosowanie*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 11, nr 1-4 (2009), s. 63-78.
- [3] Kanciruk A., *Telemetryczny miernik strunowy TMS-1*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 6, nr 1-2 (2004), s. 29-36.
- [4] *Turbo Pascal for Windows*. Borland International, Inc. 1800 Green Hills Road Scotts Valley CA. USA

Installation of measuring equipment in an old, historical church building. Measurement and recording of tower inclination

Abstract

The research work undertaken in the Laboratory in recent years has led to the development and fabrication of a telemetric wire meter and a prototype wire inclinometer. The first device enables the multi-channel measurement of physical parameters using wire transducers and data transmission via the cellular telephone network. The inclinometer measures the inclination of engineering structures and its azimuth. These two devices and the strain gauges purchased for the purpose the research programme have been used for monitoring of the condition of an old historic church building located in the mine subsidence area. Strain gauges are used for measuring the cracks that have appeared in the main aisle whilst the inclinometer is used to measure the tilt of the church tower, thus enabling the remote monitoring of the church condition. The collected measurement data reveal the impacts of the mining operations and its influence on the extent of cracks size and tower inclination, which proves to be particularly sensitive to the advancing face and the presence of old goafs and occurring tremors. The research data fully confirms the adequacy of the design of the inclinometer and the telemetric wire meter and their applicability to monitoring projects.

Keywords: mining environmental damages, geotechnical extensometric instruments, telemetry