Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 19, 2009
ISBN 978-83-61576-09-9

QUASI-CIĄGŁY POMIAR STANU ODKSZTAŁCENIA ŚCIANY BUDYNKU PRZEPOMPOWNI I JEJ BEZPOŚREDNIEGO OTOCZENIA

QUASI-CONTINUOUS MEASURING OF THE STATE OF STRAINS IN THE PUMP STATION BULDING WALL AND ITS DIRECT NEIGHBOURHOOD

Wojciech Jaśkowski, Mieczysław Jóźwik, Anna Szafarczyk

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: telemetria , pomiary deformacji

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono sposób wyznaczenia czasowo ekstremalnych wartości odkształceń poziomych wywołanych prowadzoną podziemną eksploatacją górniczą. Obserwacje obejmowały ścianę budynku przemysłowego o II kategorii odporności oraz powierzchnię terenu w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Przeprowadzono quasi-ciągły pomiar odkształceń, w ramach którego zastosowano dwa systemy telemetryczne do wyznaczania odkształceń. Zamontowane układy pomiarowe zaprojektowano tak, aby możliwe było wyznaczenie składowych tensora odkształcenia. Wyniki obliczeń i analiz przedstawiono pod kątem porównania wartości odkształceń uzyskanych w gruncie i na ścianie budynku.

1. WSTĘP

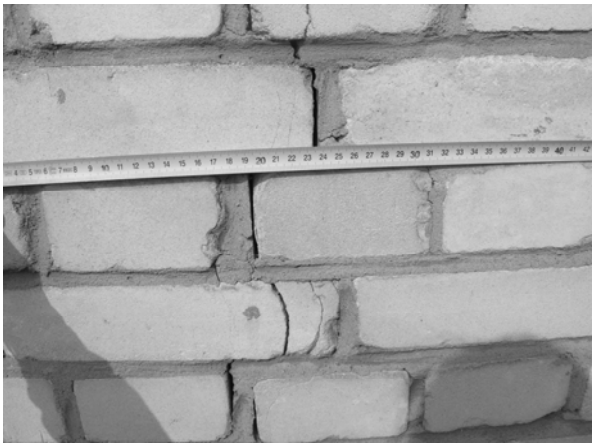
Przy badaniu zjawisk dynamicznych, bardzo trudno jest określić z pomiarów klasycznych czas, w którym występują wartości odkształceń maksymalnych. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie metod pomiarowych, zapewniających quasi-ciągły pomiar zmian długości. Metody te, zaliczane do metod telemetrycznych, automatyzują proces pomiarowy, zapewniając otrzymanie zbiorów informacji charakteryzujących w każdej zaprogramowanej chwili, stan monitorowanego przebiegu zmian. Takie metody telemetryczne wykorzystano w badaniach stanu deformacji budynku pompowni nawrotu wody, które przedstawiono niżej.. Zaplanowane i przeprowadzone pomiary wspomnianego obiektu miały na celu wyznaczenie odkształceń południowej ściany części administracyjnej budynku i porównanie ich z odkształceniami wyznaczanymi w gruncie, w bezpośrednim sąsiedztwie tego obiektu. Sieć kontrolną zarówno dla obserwacji odkształceń ściany budynku, jak i gruntu stanowiły rozety geodezyjne o trzech ramionach usytuowanych pod kątem prostym, których lokalizację przedstawiono na rysunku 1.

Rys. 1. Rejon usytuowania rozet pomiarowych na obiekcie i w gruncie

Monitorowanie obiektu i jego otoczenia były skutkiem eksploatacji górniczej prowadzonej pod tym budynkiem. Eksploatacja ta prowadzona była systemem ścianowym, z zawałem stropu, na średniej głębokości 320 m kolejno w dwóch ścianach. Miąższość pokładu w eksploatowanych ścianach wynosiła średnio 3,4 metra. Eksploatacja prowadzona była z północnego-zachodu na południowy-wschód. Pomiary rozet prowadzone były w okresie od 20 IV 2007 do 20 VI 2007. Szkic ścian wraz z usytuowaniem obserwowanego obiektu i rozety ziemnej przedstawiono na rys. 2. Powierzchnia terenu w miejscu posadowienia budynku nie jest urozmaicona, a eksploatacja prowadzona jest w górotworze nienaruszonym. Od strony południowej eksploatowane ściany pokładu 302 sąsiadują z uskokiem Książęcym o zrzucie 200m, a od strony zachodniej z uskokiem Przemsza o zrzucie również wynoszącym 200m. Bezpośrednie zagrożenie dla budynku przepompowni stanowi zbiornik wodny przyległy do północno-zachodniej strony budynku. Nacisk słupa wody zgromadzonej w zbiorniku jest na tyle duży, iż nawet przy niewielkich szczelinach powstałych w ścianie sąsiadującej ze zbiornikiem może spowodować wtargnięcie wody do wnętrza budynku. Obserwowany budynek składa się z dwóch części, o odmiennej konstrukcji i przeznaczeniu. Pierwszą, zasadniczą część stanowi przepompownia wzniesiona w konstrukcji monolitycznej, żelbetowej, z jedną szczeliną dylatacyjną. Ta część budynku, o wysokości około 7 metrów jest osadzona pod powierzchnią ziemi na głębokości 3 metrów. Ze względu na konstrukcję tej części budynku, przystosowaną do przejmowania odkształceń o dużych wartościach, nie podejmowano próby określania stanu odkształcenia na jej ścianie, z powodu spodziewanych minimalnych wartości odkształceń.

Rys. 2. Usytuowanie obserwowanego obiektu na tle eksploatowanej ściany

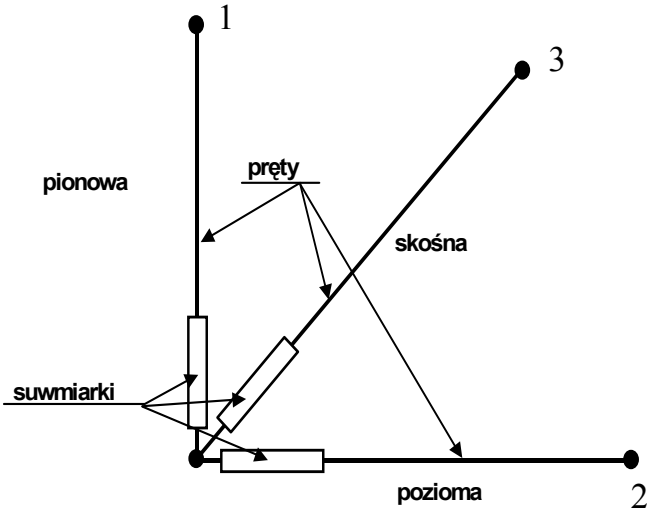
Drugą część budynku stanowi parterowy, niepodpiwniczony segment socjalno-techniczny z pomieszczeniami dla pracowników obsługi i rozdzielnią prądu. Wysokość tej części budynku wynosi 4,5 metra, a konstrukcja jest murowana. Zgodnie ze sposobami klasyfikowania obiektów na terenach górniczych omawiany budynek jest obiektem unikalnym, o liniowym kształcie rzutu poziomego, zmiennym posadowieniu, o różnej (w zależności od części) zdolności odkształcania się przy deformującym się podłożu, o funkcji i wyposażeniu wrażliwym na wpływy deformacji podłoża i o częściowej odporności w zakresie zachowania bezpieczeństwa użytkowania i wartości użytkowych. Ze względu na zastosowane rozwiązania konstrukcyjne oraz stan techniczny budynek został zakwalifikowany do 2 kategorii odporności (Migier J. et al., 2001). Od południowo – wschodniej i północno – wschodniej strony budynek został zabezpieczony na wpływy eksploatacji górniczej poprzez wykonany rów opaskowy o głębokości 2 metry i szerokości 0,5 metra. Przed rozpoczęciem pomiarów skontrolowano stan techniczny ściany wytypowanej do monitorowania odkształceń. W badanej ścianie obiektu zanotowano uszkodzenie w formie pęknięcia przebiegającego pionowo na długości 1,8 m i o maksymalnej szerokości szczeliny równej 4 mm, które przedstawiono na rysunku 3. Zinwentaryzowane uszkodzenie nie powstało na skutek prowadzonej podziemnej eksploatacji górniczej.



Rys. 3. Stan uszkodzenia południowo-wschodniej ściany budynku przepompowni w momencie rozpoczęcia pomiarów

2. SYSTEMY POMIAROWE ZASTOSOWANE W BADANIACH

Dla opisanego obiektu zaplanowano przeprowadzenie quasi-ciągłych pomiarów odkształceń w ramach którego zastosowano dwa systemy telemetryczne do wyznaczania odkształceń (Pielok et al., 2004). Pierwszy z nich zamontowano na wewnętrznej ścianie budynku i do jego skonstruowania wykorzystano układ z wykorzystaniem suwmiarek elektronicznych. Drugi zamontowano w gruncie i wykorzystano w nim układ elektryczny z użyciem rezystorów liniowych.



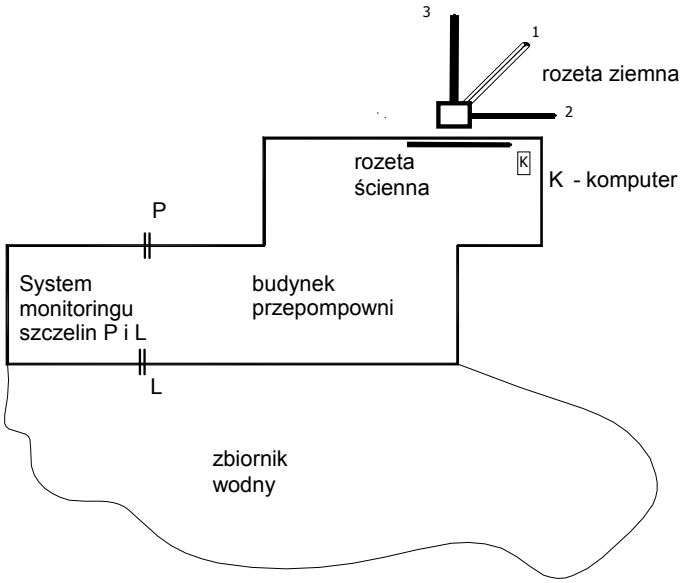
Rys. 4. Schemat rozety ściennej z numeracją boków

Na badanej ścianie, przedstawionej na rysunku 1, po jej wewnętrznej stronie zamontowano w formie rozety trzy bazy pomiarowe (pionowa, skośna i pozioma) ponumerowane od 1 do 3 zbudowane z prętów aluminiowych o długości 2 metry każda połączonych z suwmiarkami elektronicznymi. Usytuowanie boków rozety i ich numerację przedstawiono schematycznie na rysunku 4. Końce baz pomiarowych zostały zamocowane trwale do ściany, w ten sposób, aby deformacje ściany przenoszone były bezpośrednio na pręty rozety i rejestrowane w formie zmiany ich długości. Bazę pomiarową w tym układzie wyznaczał z jednej strony przymocowany na stałe do ściany koniec dwumetrowego, aluminiowego pręta, a z drugiej strony przykręcony do ściany w sposób trwały zaczep zamontowany na ruchomej części suwmiarki. Możliwość zmiany długości każdego z boków rozety, występującej na skutek deformowania się ściany zapewniona była poprzez ruch ramienia suwmiarki. Suwmiarki zostały połączone kablem transmisyjnym z komputerem przemysłowym znajdującym się w tym samym pomieszczeniu i pełniącym rolę rejestratora. Układ pomiarowy przedstawiono na rys. 5.

Rys. 5. Układ pomiarowy z rejestratorem

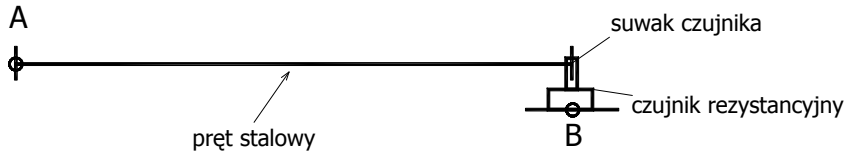
Sczytywanie danych z suwmiarki obsługiwane jest przez program komputerowy, który rejestruje wyniki w czasie rzeczywistym co pół godziny bez względu na ich wartość, a dodatkowo uruchamia rejestrację z częstotliwością zapisu 40 razy na sekund w momencie występowania zmian długości o wartości większej od 0,05 mm. Wskazania suwmiarek w momencie uruchomienia systemu zostały wyzerowane, dzięki czemu rejestrowane wartości były równe wprost zmianie długości danego odcinka. Drugą, rozetę pomiarową założono między budynkiem, a rowem opaskowym w odległości ok. 70 cm od monitorowanej ściany w celu rejestrowania odkształceń występujących w gruncie. Usytuowanie ramion rozety wraz z ich oznaczeniem przedstawiono na rys. 6. Długości boków w rozecie ziemnej wynosiły 2 m. Jej bok oznaczony jako *2* został zastabilizowany równolegle do obserwowanej ściany budynku.

Głównymi elementami systemu pomiarowego tej rozety były:
-pręty stalowe o długości 2m,
-rezystor liniowy o zmiennej rezystancji 0-10 kΩ i zakresie przesuwu suwaka ±35 mm jako czujnik pomiarowy,
-karta A/C (analog-cyfra) jako przetwornik napięcia wyjściowego (pomiarowego),
-komputer przemysłowy jako rejestrator danych.



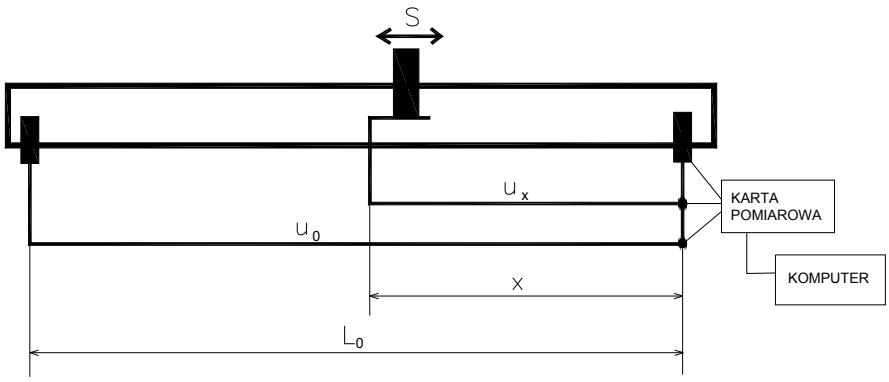
Rys. 6. Usytuowanie rozety ziemnej wraz z numeracją boków

Wykorzystanie w systemie pomiarowym rezystora liniowego z ruchomym suwakiem zapewniło możliwość zmiany długości bazy pomiarowej. Baza pomiarowa realizowana była w tym przypadku przez pręt stalowy o długości 2-ch metrów zaczepiony trwale w jednym z końców bazy z jednej strony, a z drugiej strony zamocowany do ruchomego suwaka rezystora. Rezystor przytwierdzony został nieruchomo do stalowej płyty zakotwionej w gruncie. Schemat zaprojektowanego i założonego systemu przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat rezystancyjnego systemu pomiarowego do określania zmian długości odcinka AB

Ideę zastosowanego potencjometrycznego pomiaru przemieszczeń liniowych przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Schemat potencjometrycznego pomiaru przesunięć liniowych (x)

Przesunięcie liniowe *x* wyznacza się ze wzoru:

$$x = \frac{u_x}{u_0} \cdot L_0 \tag{1}$$

gdzie:

u_x – napięcie pomiarowe, zależne od położenia suwaka (*s)* rezystora;

u_0 – napięcie stałe podawane na stałe końcówki rezystora o długości L_0.

Tak więc zmiana położenia suwaka, która następuje wraz ze zmianą długości bazy AB (rys. 7) powoduje zmianę napięcia u_x, która w rezystorze liniowym jest proporcjonalna do przesunięcia suwaka *x*. Mierząc napięcie u_x, możemy wyznaczyć z podanego wzoru przesuniecie *x*.

Rys. 9. Fotografia jednej ze szczelin z zamontowanymi systemami (rezystancyjnym i wizualnym)

W wykonanym systemie pomiarowym napięcie u_x z rezystora jest mierzone w karcie przetwornika A/C zamontowanej w komputerze i rejestrowanej w jego pamięci.

Opracowany program komputerowy do obsługi karty A/C prowadził rejestrację w dobranym interwale czasowym wynoszącym 15 minut. Taki sam system zamontowano na ścianach komory pomp przepompowni na szczelinach, które powstały wskutek prowadzonej eksploatacji (rys. 6). Zdjęcie jednej ze szczelin z zamontowanymi systemami (rezystancyjnym i wizualnym) pokazano na rysunku 9.

3. WYNIKI BADAŃ DEFORMACJI ŚCIANY I POWIERZCHNI TERENU

Zarejestrowane zmiany długości odcinków rozety ziemnej w okresie 20.04 do 17.07 2007 r., z eliminacją dobowych zmian temperatury przedstawiono w formie wykresu na rysunku 10. Na podstawie zapisanych w pamięci komputera wyników pomiarów długości ramion rozety i przy znajomości azymutów φ_i jej boków w przyjętym układzie wyznaczono składowe tensora odkształcenia dla wybranych ośmiu momentu wykonania pomiaru. Składowe ε_{11}, ε_{22}, ε_{12} wyznaczono poprzez rozwiązanie układu trzech równań o postaci:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{11}\cos^2\varphi_i + 2\varepsilon_{12}\cos\varphi_i\sin\varphi_i + \varepsilon_{22}\sin^2\varphi_i \tag{2}$$

w których wartość odkształcenia ε_i na danym boku wyznaczano jako względną zmianę długości boku pomiarowego z wzoru:

$$\varepsilon_i = \frac{l - l_0}{l_0} \tag{3}$$

gdzie l_o jest długością odcinka w stanie niezdeformowanym, a l długością tego odcinka po deformacji (Gustkiewicz J., 1980)

Wartości odkształceń ekstremalnych wyznaczone ze składowych tensora według wzorów:

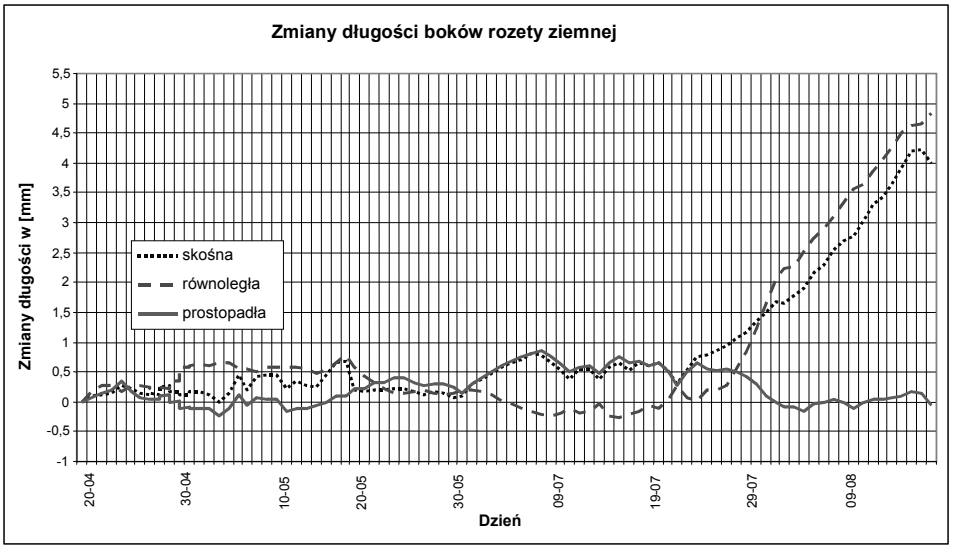
$$\varepsilon_{\max} = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + 4\varepsilon_{12}^2} \tag{4}$$

$$\varepsilon_{\min} = \frac{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + 4\varepsilon_{12}^2}\ . \tag{5}$$

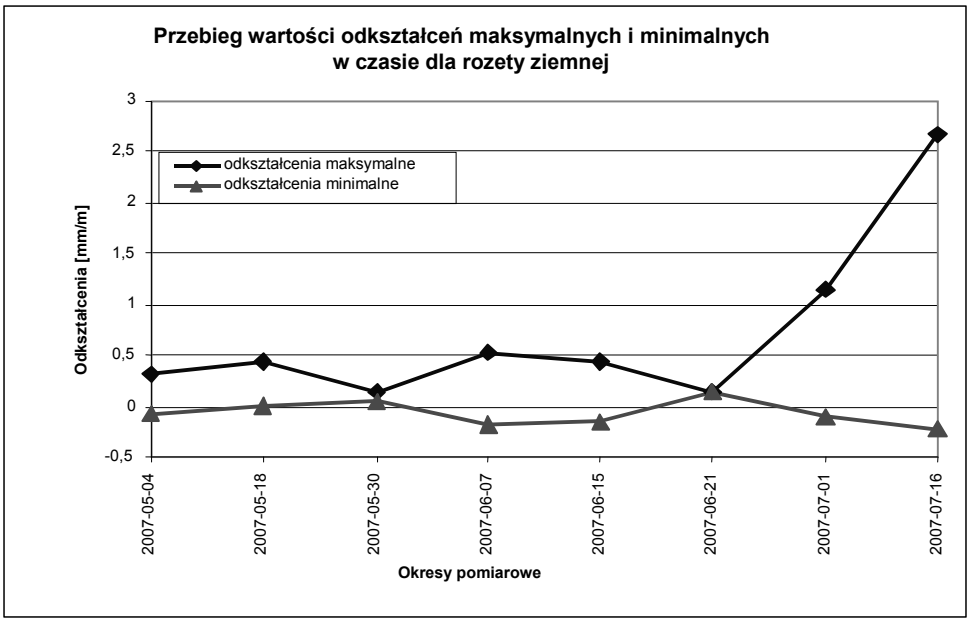
przedstawiono w funkcji czasu na rysunku 11.

Kierunek odkształcenia maksymalnego wyznaczono z wzoru:

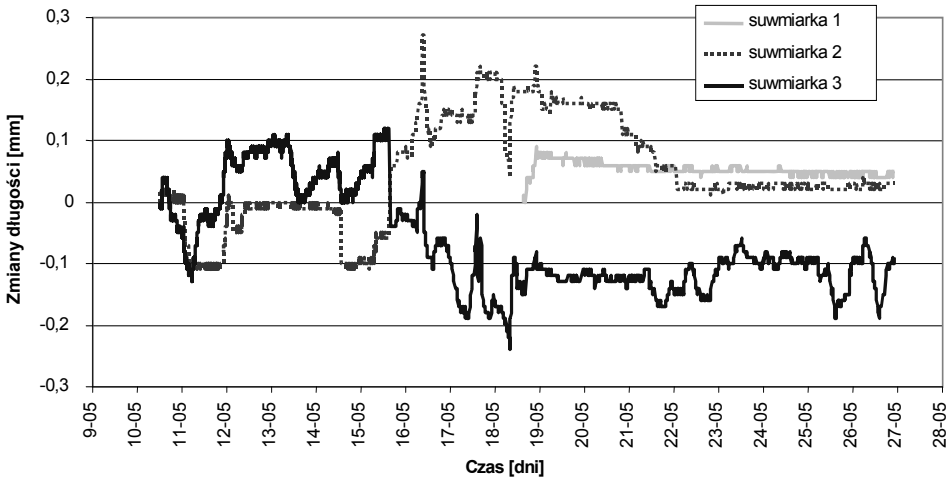
$$\beta = \frac{1}{2}arctg\frac{2\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22}} \tag{6}$$



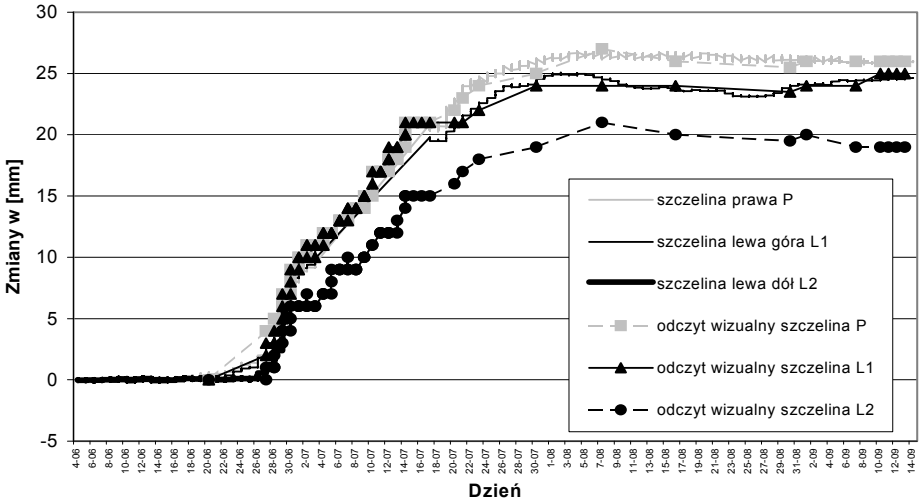
Rys. 10. Zmiany długości boków rozety ziemnej w poszczególnych momentach czasowych



Rys. 11. Przebieg wartości odkształceń maksymalnych i minimalnych w czasie dla rozety ziemnej (wybrane momenty pomiarowe zgodnie z rysunkiem 10)



Rys.12. Wyniki pomiarów zmian długości w rozecie ściennej w okresie 10.05.2007 –26.05.2007



Rys. 13. Zmiany rozwartości szczelin w poszczególnych momentach czasowych

Wyniki pomiarów zmian długości w rozecie ściennej przedstawiono na rysunku 12. Zawierają one zapis pomiarów w okresie 10.05.2007 – 26.05.2007. Na rysunku 13 przedstawiono wyniki monitoringu zmian rozwartości szczelin w komorze pomp. Wykresy prezentują zmiany dla dwóch szczelin zarejestrowanych systemem rezystancyjnym i wizualnym. Dla szczeliny lewej dolnej (L2) wykres zmian od dnia 28.06.2007 przedstawia wyniki z systemu wizualnego (dyskretne) gdyż system rezystancyjny został uszkodzony wyciekiem wody ze szczeliny.

4. INTERPRETACJA WYNIKÓW

Wyznaczone wartości odkształceń maksymalnych terenu przy budynku przepompowni w rozpatrywanym okresie czasu nie przekroczyły 2,5mm/m. Mają one charakter rozciągań i występują w kierunku prostopadłym do kierunku eksploatacji ściany. Rozpoczęły się one 24.06.2007 roku (rys.10). W tym samym czasie zaobserwowano zwiększenia rozwartości szczeliny dylatacyjnej (L) i pojawienie się pęknięcia (P) na ścianie przeciwległej (rys.12). Maksymalne rozwartości obu szczelin w okresie 24.06-3.08 zwiększyły się do 27mm. Od strony zbiornika wody przy szczelinie L zaczęła do komory pomp wlewać się woda. Utrzymanie pracy przepompowni wymagało zabezpieczenia wypływu oraz zamontowania dodatkowej pompy do usuwania przeciekającej przez szczelinę wody. Analiza wartości zmian rozwarcia szczeliny L (rys.12) na dwóch poziomach – dolnym i górnym prowadzi do wniosku, że budynek pomp przełamuje się. Górna część szczeliny rozwiera się więcej niż dolna. Różnica ta osiąga maksymimum, równe 5mm w dniu 3.08.2007roku. Porównanie zmian rozwartości dwóch szczelin P i L (rys.6) wskazuje z kolei na większe rozwarcie szczeliny P. Jest to prawdopodobnie spowodowane tym, że długość ściany prawej budynku jest większa od ściany lewej. Krzywizna niecki poeksploatacyjnej powoduje większe rozwarcie na dłuższej ścianie. Pęknięcie ścian budynku spowodowało rozładowanie naprężeń, na co wskazywały pomiary rozety wewnętrznej, z suwmiarkami jako czujnikami. Nie udało się z tego powodu określić czasu i funkcji przejścia odkształceń z gruntu na fundament budynku. Otrzymane wyniki z tej rozety (rys.13) pozwalają zatem tylko na określenie dokładności wyznaczania zmian długości z zastosowaniem suwmiarek. Wynosi ona ±0,2mm, co dla długości zastosowanej bazy (2m) daje dokładność wyznaczenia odkształceń rzędu ±0,1mm/m.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono zastosowanie dwóch systemów telemetrycznych do monitoringu zmian długości na bazach założonych w gruncie i ścianach budynku. Przedstawione wyniki ich zastosowania pozwalają na sformułowanie wniosku, że sprawdziły się one w praktyce. Ich zastosowanie pozwoliło na określenie wartości ekstremalnych odkształceń oraz ich przebiegu w czasie. Powinny być wdrożone do dalszych badań, szczególnie na obiektach wrażliwych na wpływy eksploatacji górniczej wymagających szczególnej ochrony.

6. LITERATURA

Migier J. et al., 2001. Ocena odporności budynków mieszkalnych dzielnicy Dziećkowice miasta Jaworzno na wpływy deformacji ciągłych wraz z oceną na wstrząsy pochodzenia górniczego. Opracowanie niepublikowane wykonane przez Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjno-Handlowe „Progeo" Sp. z o.o. w Katowicach.

Gustkiewicz J., 1980. Metody tensometryczne i fleksimetryczne – Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. *Wydawnictwo „Śląsk"*. Katowice.

Pielok J. et al. 2004. - Telemetryczne systemy pomiarów zmian długości z komputerową rejestracją wyników *WUG (Katowice)* , nr 5, s. 23–24.

Artykuł opracowano w ramach projektu badawczego MNiSW N520 006 31/1364.

QUASI-CONTINUOUS MEASURING OF THE STATE OF STRAINS IN THE PUMP STATION BULDING WALL AND ITS DIRECT NEIGHBOURHOOD

KEY WORDS: telemetry, deformations measuring

SUMMARY: The paper introduces a method of determining extreme values of horizontal deformations in time, resulting from the underground mining activities. Observations included the wall of an industrial building of the second category of resistance, and land surface in the direct neighbourhood of the building. A quasi-continuous measuring of strains was carried out, within which two telemetric systems were designed to determine strains. The measuring systems were designed so that it would be possible to determine the components of the strain tensor. Results of calculations and analyses are presented, with special attention paid to the comparison of strain values in the ground and on the building wall.

Dr inż. Mieczysław Jóźwik
e-mail: jozwik@agh.edu.pl
tel. +12 6174483

Dr inż. Wojciech Jaśkowski
e-mail: jaskow@agh.edu.pl
tel. +12 6174483

Dr inż. Anna Szafarczyk
e-mail: anna.szafarczyk@agh.edu.pl
tel. +12 6174483