

Safa ABBAS
Politechnika Łódzka

STANOWISKO POMIAROWO - DIAGNOSTYCZNE DO POMIARÓW PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

Streszczenie. Stanowisko pomiarowo-diagnostyczne ABBSA-PPL zbudowano dla realizacji programu monitoringu przemieszczeń pionowych konstrukcji budowlanych w celach diagnostycznych. Aparatura geodezyjna, zestaw czujników przemieszczeń pionowych, komputer oraz specjalistyczne opracowanie tworzą system pomiarowy, który umożliwia obserwację, rejestrację oraz bieżącą analizę danych. Przetwarzanie danych obejmuje wyznaczanie parametrów wybranych modeli procesu. Analiza uwzględnia losowe właściwości szukanych parametrów i wielkości obserwowanych. Sterowanie procesem pomiarowym umożliwia bieżącą analizę wyników pomiaru.

SURVEY-DIAGNOSTIC STATION FOR MEASUREMENTS OF STRUCTURE VERTICAL DISPLACEMENTS

Summary. Survey and diagnostic ABBSA-PPL has been constructed to carry out monitoring program of vertical displacements of structures. Survey equipment, transducers of linear displacements, PC and special software allow to carry out field or laboratory observations and on line computer processing. Data processing covers parameters of some models. Statistic features both of parameters and of measurement data are taken into consideration. Control of survey process is possible by means of current analysis of monitoring data.

1. Wstęp

Problematyka geodezji inżynierskiej w ostatnich latach wyraźnie ewoluje w kierunku zagadnień o charakterze monitoringu. Charakterystycznymi wyróżnikami tej ewolucji są systemy pomiarowe wykorzystujące możliwości różnych technik pomiaru oraz bloki informatyczne przetwarzające dane. Wśród zalet zaawansowanych systemów pomiarowych szczególnie przydatna jest możliwość pozyskiwania danych w trybie on line. Ale pozyskiwanie danych w trybie on line generuje jednocześnie nowe problemy. Dotyczą one w

mniej stopniu technik obserwacji, w większym zaś programowania procesu pozyskiwania danych. Doświadczenia wskazują na szczególną wagę ostatnich z wymienionych, w tym optymalnej liczby, niedoboru, ale i nadmiaru danych. Wyrażna jest również tendencja, by zbiory obserwacji źródłowych były wstępnie przetwarzane i w takiej postaci przekazywane do dalszych analiz. Jak dalece jest to możliwe, zależy od stopnia zaawansowania systemów, techniki pomiaru, a przede wszystkim specjalistycznego programu obliczeniowego software. To wymaga podejścia kompleksowego, w którym w równym stopniu rozwiązane są techniczne szczegóły, ale też sposób i zakres opracowania danych. Mając na uwadze powyższe problemy, w Katedrze Geodezji, Kartografii Środowiska i Geometrii Wykreślnej Politechniki Łódzkiej skonstruowano stanowisko pomiarowo-diagnostyczne ABSA-PPL do pomiarów przemieszczeń pionowych konstrukcji budowlanych [1].

2. System ABSA-PPL

2.1. Konstrukcja stanowiska pomiarowego

Budowa i efektywne wykorzystanie systemu pomiarowego monitorującego proces przemieszczenia jest problemem złożonym. Sedno systemu stanowi spójne połączenie szczegółów aparatury geodezyjnej, aparatury specjalistycznej, sposobu zbierania i przetwarzania danych. Nie korygując istniejących definicji systemów pomiarowych, mając na uwadze specyfikę problematyki monitoringu geodezyjnego, przyjęto, że „system pomiarowy jest to zestaw różnych narzędzi, obejmujący aparaturę, metody pomiarowe oraz software - programy przetwarzające dane, zbudowany pod kątem uzyskania określonej informacji dotyczącej określonego obiektu” [1].

Przy budowie systemu ABSA-PPL założono, że jego działanie nie powinno ograniczyć się do pomiaru w zakresie, w jakim realizują to typowe systemy geodezyjne. System powinien realizować zadanie pomiarowe, uwzględniając właściwości monitorowanego procesu. System zbudowano pod kątem monitoringu przemieszczeń pionowych podłoża gruntowego i konstrukcji fundamentów. Tworzą go trzy bloki (rys. 1):

- Aparatura geodezyjna,
- Transformatorowe przetworniki przemieszczeń liniowych,
- Zestaw komputerowy oraz program analizujący dane.

System ABSA-PPL daje możliwość wyznaczania wielkości przemieszczeń pionowych na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą przetworników przemieszczeń liniowych. Główne elementy systemu stanowią: baza pomiarowa, przetwornik przemieszczeń liniowych,

reper kontrolowany stabilizowany w obiekcie oraz komputer z odpowiednim programem obliczeniowym analizujący wyniki pomiarów w trybie on line.

Obiektem badań jest uszkodzona budowla albo inna konstrukcja, np. pał fundamentowy przy próbnym obciążeniu. Szczegóły dotyczące konstrukcji stanowiska przedstawiono w publikacjach [2],[3],[4].

Specjalistyczny charakter zaproponowanego systemu wynika:

- z włączenia bloków specjalistycznych, analizujących proces deformacji, także w trybie on line,
- ze sposobu połączeń bloków wymienionych na schemacie (rys. 1),
- z rozwiązania problemu układu odniesienia bazy pomiarowej, polegającego na możliwości transformacji własnego układu odniesienia na zewnętrzny.



Rys. 1. Blokowy schemat systemu ABSA-PPL

Fig. 1. The block diagram of ABSA – PPL system

2.2. Okresowe pomiary przemieszczeń i deformacji elementów konstrukcji

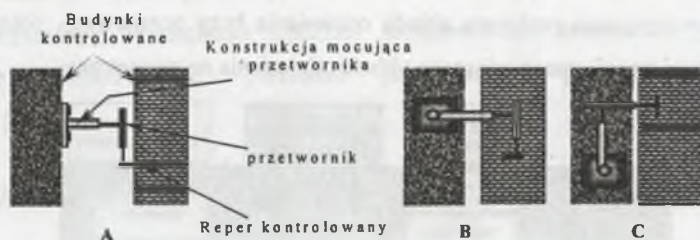
Pomiar polega na pomiarze różnicy wysokości pomiędzy punktem wysokościowym stabilizowanym w obiekcie a punktem odniesienia realizowanym przez odpowiedni znak ziemny. Kontrolę umożliwia odpowiednia konstrukcja znaku i odpowiednio często wykonywany pomiar kontrolny metodą niwelacji precyzyjnej.

Rodzaj i zakres pomiarów oznacza, że system pracuje jako geodezyjny, ale po niewielkiej adaptacji może być zastosowany przy pomiarach względnych przemieszczeń, wzajemnie niezależnych, np. dylatowanych elementów konstrukcji (rys. 2).

2.3. Monitoring ciągły

Podobnie jak w wyżej opisanym przypadku system pracuje jako geodezyjny. Przydatność proponowanego systemu pomiarowego wzrasta, gdy zachodzi potrzeba

wykonywania częstych obserwacji, np. co kilka dni, lub obserwacji ciągłych. W badaniach diagnostycznych uszkodzonych budowli wykonanie takich obserwacji jest niekiedy konieczne, np. dla zbadania zachowania się konstrukcji w warunkach okresowego oddziaływania obciążeń dodatkowych, mających quasi-statyczny charakter. Dla aparatury specjalistycznej nie ma alternatywy, jeśli zachodzi potrzeba wykonania obserwacji o dużej częstotliwości. Tylko takie obserwacje dają obraz zachowania się konstrukcji w warunkach okresowego oddziaływania dodatkowych obciążeń. Pomiarzy za pomocą przetworników można inicjować w każdej chwili w zależności od potrzeb. Również i w tym zastosowaniu wykonywany jest pomiar kontrolny stanowiska metodą niwelacji precyzyjnej [3], [7].



Rys.2. Pomiar różnicy przemieszczeń dylatowanych elementów konstrukcji za pomocą przetworników przemieszczeń liniowych: A- poziomych, pomiędzy dwoma sąsiadującymi budynkami, B- przemieszczeń pionowych dylatowanych elementów konstrukcji, C- przemieszczeń poziomych dylatowanych elementów

Fig.2. Measurement of displacements of separate construction parts by means of linear transducers: A- horizontal between two buildings, B- vertical displacements between separate construction elements, C- horizontal displacements of separate elements

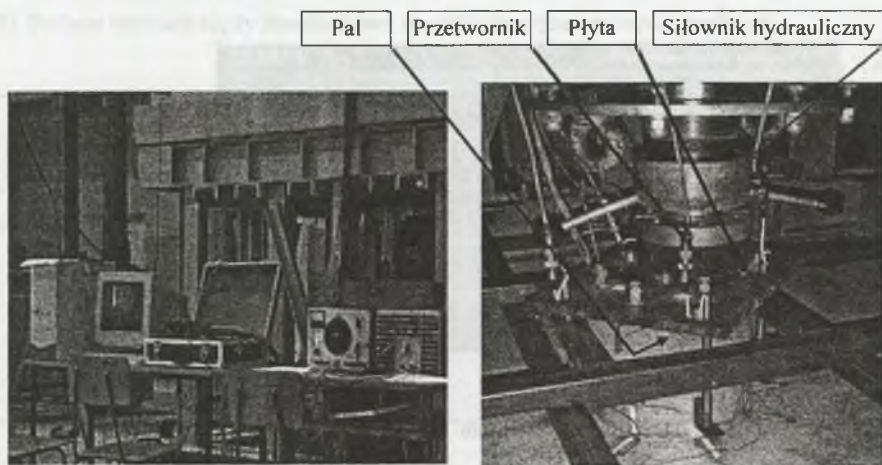
2.4. Metoda próbnych obciążeń

Metoda próbnych obciążeń jest najbardziej efektywnym sposobem sprawdzenia poprawności projektu i realizacji konstrukcji inżynierskiej. Przy obserwacjach przemieszczeń pionowych płyt, pali czy fundamentów znalazły zastosowanie zarówno typowe metody geodezyjne oparte na niwelacji geometrycznej, jak i metody fizyczne wykorzystujące pomiary czujnikowe [5].

System ABSA-PPL najpełniej jako system pomiarowo-diagnostyczny jest wykorzystany w przypadku badań pali fundamentowych metodą próbnych obciążeń. W czasie próbnych obciążeń wielkościami obserwowanymi są pionowe przemieszczenia głowicy pala. Zauważmy, że jest to jedno z nielicznych zagadnień budowlanych, w których istnieje dość proste przełożenie pomiędzy obserwowanym przemieszczeniem a bezpieczeństwem konstrukcji.

3. Badanie systemu ABSA-PPL w warunkach laboratoryjnych

Działanie systemu pomiarowego ABSA-PPL zweryfikowano w warunkach laboratoryjnych. Pomiar wykonano w Laboratorium Politechniki Łódzkiej (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Widok ogólny stanowiska pomiarowego w laboratorium

Fig. 3. General view of the survey station in the laboratory

Rys. 4. Widok stanowiska w trakcie wykonania próbnego obciążenia

Fig. 4. Survey station during load test

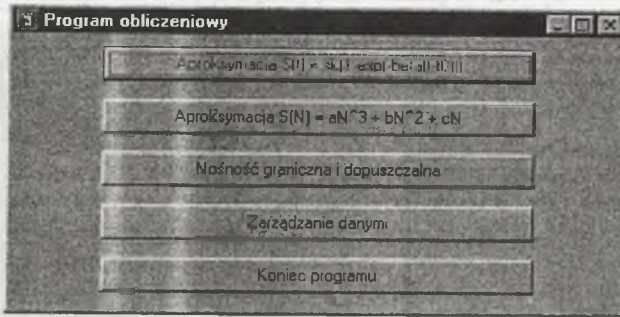
Zrealizowany program badania obejmował łącznie siedem stopni obciążenia dla wyznaczania osiadań końcowych, czas obciążania wynosił od 10 min do 60 min. Taki program należy traktować jako z grubsza typowy program w przypadku eksperymentu próbnymi obciążeniami. Testowanie aparatury dało bardzo dobre wyniki w sensie działania wszystkich elementów systemu. Oznacza to, że aparatura w tej postaci może być zastosowana w warunkach polowych, z tym zastrzeżeniem że komputer typu desktop zostanie zastąpiony komputerem przenośnym typu laptop. Program badań był taki, jaki jest stosowany w eksperymencie próbnymi obciążeniami pali fundamentowych. Celem testu było sprawdzenie wszystkich elementów systemu, dotyczących konstrukcji pomiarowej oraz oprogramowania.

4. Analizy wykonanych pomiarów laboratoryjnych

Algorytm analizy wyników obserwacji, który stanowi część oprogramowania systemu pomiarowego ABSA-PPL, dotyczy interpretacji wyników próbnymi obciążeniami pali fundamentowych. Użyto tu normowego rozwiązania, przy czym konstrukcje graficzne

zastąpiono procedurami analitycznymi, a rozwiązania uzyskano wykorzystując całe zbiory obserwacji, stosując wyrównanie metodą najmniejszych kwadratów [7].

Po uruchomieniu programu komputerowego do obliczeń pojawia się, zbudowane z przycisków, menu główne - rys. 5.



Rys. 5. Czołówka programu komputerowego
Fig. 5. The first screen of the computer program

Na każdym z ekranów znajdują się dwie przewijalne listy:

- lista serii – zawierająca nr serii danych wraz z ewentualnym opisem słownym
W konstrukcji algorytmów programu przyjęto założenia:
 - literę A serii przypisujemy seriom „czas – osiadanie”,
 - literę Z serii przypisujemy seriom „obciążenie – osiadanie końcowe”,
- lista ze specyfikacją wskazanej wyżej serii danych.

Poszczególne elementy na tej liście opatrzone są odpowiednimi flagami, tj. polami informującymi o znaczeniu danej wiersza listy (tablica 1).

Tablica 1

FLAGA	ZNACZENIE
1	dane inicjujące do procedury aproksymacyjnej
2	dane stanowiące zasadniczą treść danej serii, a więc: ⇒ czasy i osiadania dla aproksymacji $s(t)$ ⇒ obciążenia i osiadania końcowe dla aproksymacji $s(N)$ (tutaj dodatkowo do aproksymacji występuje kolumna z obliczonymi wg wzoru wielkościami osiadania)
10	wartości aproksymowanych parametrów funkcji lub obliczane wielkości
9	odchylenia standardowe wielkości z wiersza z flagą 10
8	odchylenie standardowe aproksymacji lub nośność graniczna oraz nośność dopuszczalna (obliczeniowe)

W tabelicy 2 zamieszczono tylko wybrane przemieszczenia. System umożliwia obserwacje ciągłe, możliwa jest rejestracja dowolnej ich liczby. W tabelicy 2 zamieszczono również wyniki analizy, tj. końcowe wartości przemieszczeń s_k oraz współczynnik prędkości osiadań oraz parametr T_0 dopasowujący krzywą obserwowaną do modelu Kelvina-Voigta [5], [7]. Podano również błędy standardowe wszystkich wymienionych wielkości.

Tabelica 2

Czas w [min]	Obciążenie w [1000kg]						
	5	10	15	20	26	30	36
	Osiadanie w [mm]						
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,110	0,34	0,754	1,024	1,32	1,706	2,821
5	0,175	0,54	1,144	1,365	1,65	1,968	2,978
10	0,25	0,765	1,356	1,479	1,801	2,287	3,25
20		0,9	1,481	1,482	1,895	2,415	3,58
30				1,512	1,966	2,655	3,691
40					2,197	2,715	3,816
50						2,866	3,99
60						2,937	4,122
S_{sk}	1,055	0,991	1,504	1,526	2,126	2,905	4,264
σ_{sk}	3E-5	0,086	0,004	0,0112	0,127	0,172	0,685
β	0,0178	0,1081	0,182	0,3062	0,081	0,071	0,0342
σ_β	1E-6	0,0322	0,003	0,0336	0,042	0,004	0,0065
T_0	-5,18	-2,78	-2,82	-2,73	-11,67	-11,19	30,85
σ_{T_0}	3E-5	1,0926	0,061	0,4243	6,507	4,571	16,276
σ_{apr}	2,2E-8	0,0347	0,031	0,0165	0,068	0,041	0,0568

Wyniki analizy nośności dopuszczalnej $[Np]$, i nośności granicznej $[Ng]$ zamieszczono w tabelicy 3.

Tabelica 3

$\omega = 0,045$			
Co	a	b	C
Wartość aproksym	-0,0005	0,0129	-0,2637
Błędy:	0,0001	0,0017	0,0081
Błąd aproksymacji	0,9326		
	Nośność dopuszczalne Np .		Nośność graniczna Ng
Nośność [1000Kg]	6,5847		17,6308
Błędy	0,2312		0,864
Obciążenie [Kg]	Osiadanie zmierzone	Błąd pomiaru	Osiadanie aproksymowane
5 000	1,0551	0	1,055
10 000	1,2414	0,086	1,8253
15 000	2,6535	0,004	2,6736
20 000	4,1316	0,0112	3,9624
26 000	6,2698	0,127	6,6011
30 000	9,245	0,1723	9,3123
36 000	13,541	0,685	15,2715

5. Wnioski

- ✶ System ABSA-PPL wykorzystujący przetworniki przemieszczeń liniowych jest efektywnym narzędziem identyfikacji procesu deformacji podłoża gruntowego. Zgodnie z zaproponowaną klasyfikacją jest to system geodezyjny przeznaczony do okresowych i ciągłych pomiarów deformacji oraz system pomiarowo-diagnostyczny w zakresie badań pali fundamentowych metodą próbnych obciążeń. Nie zastępując innych technik, wzbogaca badania diagnostyczne o informacje, których innymi metodami pozyskać nie sposób.
- ✶ W okresowych pomiarach przemieszczeń system ABSA-PPL, zgodnie z zaproponowaną klasyfikacją, ma geodezyjny charakter. Ponieważ system tworzy dowolną liczbę stanowisk pomiarowych, z których każde ma odrębny układ odniesienia, niezbędna jest kontrola stabilności stanowisk oraz ich wzajemne powiązanie. Zastosowanie systemu uzasadniają tylko szczególne przypadki, np. usytuowanie punktów kontrolowanych w trudno dostępnych fragmentach budynku.
- ✶ Badania wykazały, że scalenie różnych problemów pomiarowych jest efektywne. System pomiarowo-kontrolny w pierwszej kolejności spełnia oczekiwania użytkowników, a w drugiej arbitralne założenia operatora wykonującego pomiar (jest nim także geodeta).

LITERATURA

1. Abbas S.: Optymalizacja systemów pomiarowych z przetwornikami przemieszczeń liniowych w monitoringu procesu deformacji budowli i podłoża gruntowego. Rozprawa doktorska, Politechnika Łódzka, 2003.
2. Abbas S.: System pomiarowo-diagnostyczny w monitoringu procesu deformacji podłoża gruntowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Bud. 95, Wisła 2002.
3. Abbas S., Wolski B.: Doświadczenia z zastosowań przetworników przemieszczeń liniowych w diagnostyce konstrukcji budowlanych. Geodezja. Kwartalnik. Zeszyt 2. AGH, Kraków 2002.
4. Abbas S., Przewłocki S., Wolski B.: System pomiarowy do monitoringu przemieszczeń pionowych w diagnostycznych badaniach budowli. Zeszyty Naukowe Politechniki Zielonogórskiej nr 3, Zielona Góra 2001.
5. Wolski B.: Geodezyjna identyfikacja procesu deformacji podłoża gruntowego. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Sanitarna i Wodna, Monografia 2001.
6. Wolski B.: Optimization of survey program in monitoring of soil deformation process of engineering structures. Geodezja i Kartografia, Zesz.1, Warszawa 1997.
7. Wolski B.: Pomiar geodezyjne w geotechnice. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. 2001.