

JANUSZ P. KOGUT, JAKUB ZIĘBA*

ZDALNY I ZAUTOMATYZOWANY POMIAR OSIADAŃ W LABORATORYJNYCH BADANIACH GRUNTU BUDOWLANEGO

AUTOMATIC REMOTE MEASUREMENTS OF THE SETTLEMENTS IN LABORATORY TESTS OF SOIL

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest system pomiarowy wykorzystywany w badaniach laboratoryjnych osiadań gruntu. System zbudowany jest z wielu elementów (modułów) składowych, pozwala kontrolować przebieg różnych eksperymentów. Szczególnie przydaje się w przypadku długotrwałych (wielodniowych) badań. Przykładem takich badań są laboratoryjne badania gruntu zalecane przez normy krajowe oraz europejskie. Zaprezentowano również wyniki badań przeprowadzonych przy użyciu tego systemu pomiarowego.

Słowa kluczowe: badania gruntu, system akwizycji i analizy, monitoring

Abstract

This paper discusses a data acquisition and analysis system used in automatic laboratory testing of settlements of soil. The system consists of several blocks. It may be applied in different, time consuming, soil measurements. All of them are the subjects of home and European standards. In the paper some experimental results have also been shown.

Keywords: soil laboratory testing, data acquisition and analysis, monitoring

* Dr inż. Janusz P. Kogut, mgr inż. Jakub Zięba, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

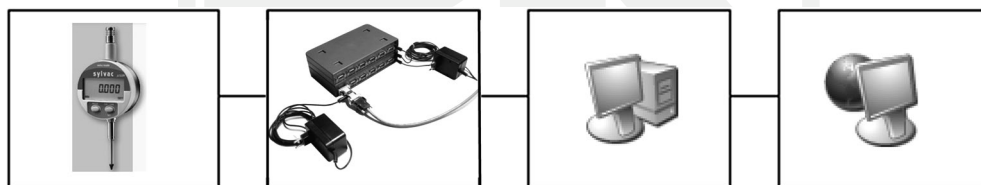
Przedmiotem artykułu jest opis systemu akwizycji i analizy danych pomiarowych wykorzystywanego w badaniach osiadań gruntu. System taki zbudowany został z kilku elementów (ogniw) składowych. System taki pozwala w sposób uniwersalny monitorować przebieg różnych eksperymentów. Szczególnie przydatny jest on w przypadku długotrwałych (wielodniowych) badań. Przykładem takich badań są zalecane przez normy krajowe [1] oraz europejskie [2, 3] badania konsolidacji gruntu.

Prezentowany system został zbudowany i wykorzystywany jest w Laboratorium Zakładu Współpracy Budowli z Podłożem WIL Politechniki Krakowskiej. Składa się on z zespołu czujników pomiarowych, modułu automatycznej akwizycji danych oraz modułów automatycznej analizy wyników badań i zdalnego monitoringu. W tym ostatnim przypadku utworzona aplikacja multimedialna pozwala na obserwowanie przez Internet wyników eksperymentu, niezależnie od systemu operacyjnego.

Przez modyfikację kodu źródłowego programu istnieje możliwość dostosowania systemu do badań nie tylko gruntów, ale również do badania ugięć, przemieszczeń czy też odkształceń konstrukcji. Podobne systemy są wdrażane już w różnych aplikacjach [4].

2. Charakterystyka systemu pomiarowego

Rys. 1 przedstawia cztery charakterystyczne składniki utworzonego systemu. Pierwszy składnik stanowią czujniki, których zadaniem jest pomiar zmian fizycznych ośrodków poddanych badaniom. Kolejne ogniwo to urządzenie do przetwarzania i przesyłania informacji w postaci numerycznej do jednostki centralnej. Trzecim składnikiem jest komputer zawierający oprogramowanie utworzone na użytek określonego badania. Ostatnim ogniwem jest aplikacja multimedialna, która pozwala na zdalną kontrolę i prezentuje bezpośrednie wyniki badania np. w formie tabelarycznej, graficznej lub wielkości pochodne, obliczane na bieżąco. Aplikacja może również, poprzez sygnał dźwiękowy, informować o osiągnięciu danego stanu.



Rys. 1. Składniki systemu automatycznego pomiaru, akwizycji, analizy i zdalnej prezentacji badań doświadczalnych

Fig. 1. Data acquisition and analysis system with remote monitoring of the laboratory tests

W zbudowanym systemie zastosowano czujniki przemieszczeń. Użyte tu czujniki Sylvac w wersji s229 są czujnikami cyfrowymi, który przetwarzają przemieszczenie w sygnał cyfrowy. Ten z kolei jest wyświetlany na wyświetlaczu LCD oraz może być przesyłany dalej (np. bezpośrednio do komputera). Baza prezentowanego na rys. 1 czujnika wynosi 25 mm, a rozdzielczość pomiarowa to 0.001 mm, zatem spełnia on warunki normowe pomiaru osia-

dań wymagane przez [1, 2]. Dane rejestrowane przez czujnik przesyła się dalej w postaci cyfrowej kablem Opto RS 232. Kabel Opto RS 232 jest kablem typu *duplex* o maksymalnej długości handlowej 15 m, dzięki czemu umożliwia na niezakłócone przesyłanie informacji w dwóch kierunkach, co pozwala np. wysyłanie komend do czujnika¹. Dodatkowo wykorzystano multiplexer Sylvac D104-PC, który dokonuje pomiarów wielokanałowych, pozwalając dla jednego portu komunikacyjnego komputera odczytywać dane z wielu czujników. Przesyłanie informacji do komputera odbywa się za pomocą złączki kablowej typu USB-RS232. Kabel ten powinien posiadać takie same parametry przesyłania danych jak kable łączące czujniki z multiplexerem. Jest to istotne z uwagi na szybkość transmisji oraz na zgodność sprzętową w przesyłaniu danych.

Dla usprawnienia badań, wynikających z ograniczeń, jakie narzuca [1], tj. długi czas badania pojedynczej próbki mierzonej w dniach, został napisany dedykowany program w języku Visual Basic [5, 6]. Program wykorzystuje możliwości komunikowania się z komputerem, jakie posiadają zarówno czujniki jak i multiplexer. Rys. 2 prezentuje przykładowy interfejs programu w środowisku MS Windows.

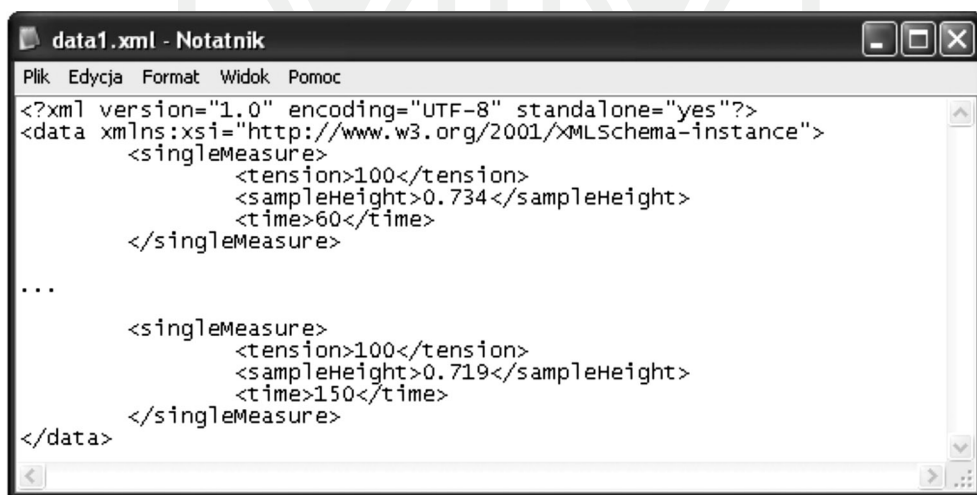
Rys. 2. Okienko komunikacji z programem akwizycji danych

Fig. 2. Data acquisition system communication window

¹ Na rynku można znaleźć oferty czujników pomiarowych, które zdalnie przesyłają informację, najczęściej drogą radiową. Takie rozwiązanie pozwala na umieszczanie czujników w mniej dostępnych miejscach, także w znacznej odległości od siebie.

Po otwarciu portu komunikacyjnego aplikacja pozwala na pobieranie danych pomiarowych. Np. do prezentowanych badań konsolidacji gruntu został zaprogramowany pojedynczy cykl pobierania danych z czujnika. Po uruchomieniu przycisku „Start” rozpoczynamy cykl pobierania próbek. Po upływie kolejno 1, 2.5, 15, 30 minut oraz 1, 2, 4, 19, 24, 48, 72 godzin automatycznie zostaje pobrana wartość odczytu z czujnika i umieszczona w odpowiednim okienku programu. Taki sam cykl zdefiniowano dla badania, które może być zsynchronizowane lub niezależnie przeprowadzane dla kanału drugiego i następnych. Dodatkowo program automatycznie zapisuje do pliku tekstowego **data.xml** z pierwszego kanału oraz **data2.xml** dla drugiego kanału oraz analogicznie dla kolejnych zdefiniowanych kanałów, wartości odczytów z czujników². Umieszczono również w oknie odpowiadającym danemu kanałowi pomiarowemu, aktualny czas pomiaru ([s]) oraz szereg przycisków pozwalających na kontrolę akwizycji danych (np. **Stop**, **Reset**) oraz przycisku wywołującego aktualny odczyt (**Data request**), którego wartość pojawia się natychmiast w wolnym podłużnym okienku (np. w danej chwili czasu lub po przekroczeniu czasu 72 godzin) i może być usuwana z ekranu przyciskiem (**Clean scr**).

3. Analiza danych oraz monitoring



```

data1.xml - Notatnik
Plik Edycja Format Widok Pomoc
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<data xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <singleMeasure>
    <tension>100</tension>
    <sampleHeight>0.734</sampleHeight>
    <time>60</time>
  </singleMeasure>
  ...
  <singleMeasure>
    <tension>100</tension>
    <sampleHeight>0.719</sampleHeight>
    <time>150</time>
  </singleMeasure>
</data>

```

Rys. 3. Okienko z fragmentem uniwersalnego kodu

Fig. 3. Universal computer code

Badania edometryczne gruntu budowlanego mogą być procesem długotrwałym, w którym należy znać aktualną wysokość próbki znajdującej się w nieodkształcalnym pierścieniu poddanej zadanemu obciążeniu. Do opisywanych badań [7] stworzono i zastosowano pro-

² Maksymalna liczba kanałów pomiarowych to 48. Wynika to z ograniczeń, jakie narzuca multiplexer, ale zapis do zbioru danych odbywa się automatycznie w zadanym interwale czasowym, np. co 24 godziny zgodnie z [1].

gram do odczytywania wartości osiadania z czujnika, zapisywanej automatycznie do pliku `data.xml`³ jako nowa wysokość gruntu w pierścieniu. Zapisane dane, zakodowane przy użyciu uniwersalnego języka oprogramowania, umożliwiają późniejszą możliwość analizy rezultatów badań w programach działających na innych platformach i to niezależnie od systemu operacyjnego użytkownika. Jak wspomniano, zapis danych do pliku `*.xml` pozwala na szeroką możliwość prezentacji obliczeń, jakie otrzymujemy podczas badań. W aplikacji pozwolono użytkownikowi na podgląd aktualnego stanu pliku zawierającego dane. Plik `data.xml` nie zawiera konkretnie sprecyzowanych form pozwalających na pełne wyświetlenie wyników. Podczas wyświetlania pliku otrzymamy tylko zwykły tekst, taki jak prezentowany na rys. 3. Aby wygenerować potrzebne użytkownikowi do interpretacji fizycznej gruntu wykresy, wykorzystano zintegrowane środowisko FLEX-a⁴.

Napężenie	Wysokość próbki
0	20.265
0	19.605
12.5	19.307
12.5	19.301
12.5	19.295
12.5	19.289
12.5	19.283
12.5	19.277
12.5	19.275
12.5	19.268
12.5	19.265
25	18.983
25	18.976
25	18.971
25	18.964
25	18.958
25	18.946
25	18.944
25	18.937
25	18.934
50	18.333
50	18.31
50	18.297
50	18.26

Rys. 4. Okienko z tabelą wyników doświadczalnych z badania gruntu w edometrze

Fig. 4. Oedometric measurement results visualization window

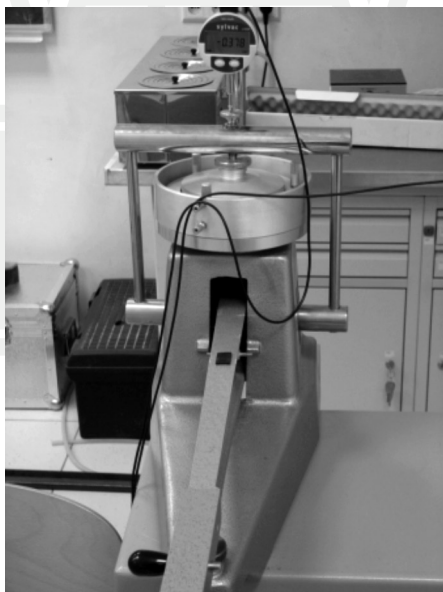
³ Plik `data.xml`, w którym tu zastosowano to podejście, opiera się na standardach konsorcjum międzynarodowego W3C.

⁴ Samo środowisko dostarcza szeroki wachlarz narzędzi, tj. głównie biblioteki, dzięki którym można zaprojektować interaktywne tabele, wykresy, panele, oraz dodatkowo pozwalają na analizę danych. Wiele dodatków, jakie znajdują się w środowisku pozwala na bogatą prezentację wyników, przez co stają się one bardziej czytelne dla użytkownika.

Utworzono program do prezentacji, który można otworzyć w przeglądarce internetowej⁵. Aplikacja otwiera się przez stronę html, która bezpośrednio odnosi się do kodu działającego w środowisku FLEX. W pliku znajdują się wcześniej zdefiniowane komendy, pozwalające na otrzymanie gotowego wykresu, którego szablon znajduje się w zakładce „Wizualizacja danych”. W innych zakładkach (np. „Dane tabelaryczne”), jak pokazano na rys. 4, dodatkowo mamy podgląd na bieżące odczyty pomiarowe. Przy automatycznym aktualizowaniu pliku data.xml można przez Internet śledzić przebieg badania, co jest postępowaniem w stosunku do typowego obserwowania badania w laboratorium. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest możliwość wykonywania go na wielu próbkach, które można przeprowadzać np. w wielu różnych laboratoriach równocześnie.

4. Praktyczne zastosowanie systemu w badaniach gruntu

Zbudowany system zastosowano w dwóch typowych badaniach gruntu. Próbkę gruntu pobrano z otworu wiertniczego zlokalizowanego w południowej części miasta Krosna, odwierconego na fragmencie strefy przejściowej pomiędzy plejstocенską wysoczyzną a nadzalewową terasą rzeki Wisłok [8]. Grunt reprezentują typowe tamże utwory czwartorzędowe – plejstocенskie deluwia zboczowe, wykształcone w postaci różnego rodzaju glin i pyłów, często piaszczystych.

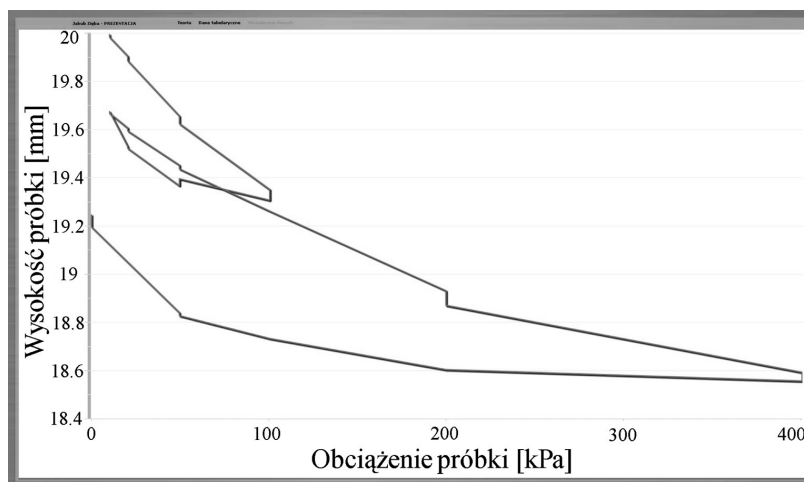


Rys. 5. Edometr w trakcie badania modułu ścisłości

Fig. 5. Oedometer during the experiment

⁵ Np. MS Internet Explorer, Mozilla Firefox i inne, które dodatkowo wyposażone muszą być w plugin umożliwiający działanie w postaci Flash.

W komorze edometru (rys. 5) umieszczono próbkę gruntu **3/1** pobraną z głębokości ok. 0,80 m. Jest to glina pylista o wilgotności naturalnej w chwili pobrania $w_n = 18,6\%$ i gęstości objętościowej $\rho = 2,06 \text{ g/cm}^3$. Dla tej próbki dokonano badania osiadania na skutek zmiany obciążenia. Obciążenia wywoływały w gruncie ekwiwalentne naprężenia normalne do wartości $\sigma = 400 \text{ kPa}$. Ścieżka naprężeń obejmowała zarówno obciążenie, jak i odciążenie gruntu. Rys. 6 przedstawia rezultaty otrzymane w wyniku badania. Próbka gruntu doznaje w końcowym efekcie po przejściu całej ścieżki obciążenia, zgodnie z przewidywaniami trwałych odkształceń.



Ryc. 6. Wykres osiadań z badania w edometrze

Fig. 6. Oedometric measurement of settlement

Kolejne badanie przeprowadzono w celu określenia krzywych konsolidacji gruntu. Do badań użyto dwóch różnych gruntów. Próbę **3/3** wydobyto z głębokości 1,55–1,90 m. Jest to glina zwięzła o wilgotności naturalnej $w_n = 16,12\%$. Próbę **3/4** pobrano z głębokości 1,90–2,10 m. Jest to glina o wilgotności naturalnej $w_n = 20,51\%$.

Próbki gruntu obciążono równomiernym obciążeniem o ekwiwalentnym naprężeniu normalnym wynoszącym $\sigma = 100 \text{ kPa}$. Odpowiada ono naprężeniu w gruncie powstałym przy realizacji niewielkich obiektów budowlanych np. domków jednorodzinnych. Rys. 7 prezentuje rezultaty konsolidacji dla próbek **3/3** oraz **3/4** w wyniku działającego obciążenia w kierunku normalnym. Proces konsolidacji pomimo długiego okresu badań i stosunkowo niewielkiego obciążenia nie zakończył się zgodnie z warunkami normowymi wymaganymi przez [1]. Autorzy uważają, że odbyło się to wskutek braku zapewnienia odpowiednich warunków wilgotnościowych. W tle rys. 7 przedstawiono również wykres krzywej konsolidacji z aplikacji internetowej.



Rys. 7. Wyniki otrzymane przy badaniu konsolidacji utworów czwartorzędowych z terasy Wisłoka

Fig. 7. The consolidation results of quaternary deposits of Wisłok river

5. Wnioski

W artykule omówiono system pomiarowy wykorzystywany w badaniach laboratoryjnych mechanicznych parametrów gruntu. System ten został opracowany i wdrożony przez autorów. Prezentowany system składa się z czujników przemieszczeń, modułu automatycznej akwizycji danych oraz modułów automatycznej analizy wyników badań i zdalnego monitoringu. Możliwość takiej analizy jest przedstawiona w postaci aplikacji, która może być użyta przez Internet, niezależnie od użytkowanej platformy systemowej.

Zaproponowano uniwersalne rozwiązanie – system, który może również zdalnie analizować zmiany stanu obiektu fizycznego wynikające z oddziaływania zewnętrznego na niego. Niestety system ten nie jest systemem dynamicznym.

Prezentowane rozwiązanie jest dużym ułatwieniem w dziedzinie analizy zachowania się próbek gruntu budowlanego pod wpływem obciążenia. Zastosowano je praktycznie w dwóch podstawowych badaniach gruntu, których rezultaty pokazano w pracy.

W przyszłości autorzy chcą dopracować system w taki sposób, aby mógł on korzystać z łączności bezprzewodowej. Planuje się również wprowadzenie modułu zarządzającego.

Literatura

- [1] PN-88/B-04481 Grunty Budowlane. Badanie próbek gruntu.
- [2] Eurocode 7 Geotechnical Design – part 2: Design assisted by laboratory testing, EN-1997-2.
- [3] PN-EN ISO 1488-1,2 Badania geotechniczne – oznaczenia i klasyfikowanie gruntów.
- [4] Witakowski P., *Bezprzewodowe zarządzanie procesem budowlanym*, Wyd. AGH, Kraków 2011.
- [5] Siler B., Spotts J., *Visual Basic 6.0*, 1998.
- [6] Stephens R., *Visual Basic 2005 programmer's Reference*, 2005.
- [7] Zięba J., *Rozwijanie systemu automatycznej akwizycji i analizy danych doświadczalnych do zdalnego monitoringu wybranych własności fizycznych gruntu budowlanego*, praca magisterska, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.
- [8] Korzeniowska-Rejmer E., Czado B., Pietras J., *Opinia geotechniczna dla zadania: Rozbudowa budynku nr 1, PWSZ w Krośnie*, Kraków 2008.

