

Rejestracja parametrów pracy wiertnicy wytwarzającej pale betonowe

Dariusz Świsulski,
Marek Wołoszyk,
Miron T. Galewski,
Michał Porzeziński *

Przedstawiono opracowany przez autorów system pomiarowy do rejestracji parametrów w trakcie wytwarzania pali betonowych metodą iniekcji zawiesiny bentonitowej. Opisano strukturę systemu i sposób pomiaru poszczególnych wielkości. Przygotowane oprogramowanie umożliwia obserwację rejestrowanych parametrów w funkcji czasu i w funkcji zagłębienia głowicy wierzącej.

Recording of the parameters of a drilling rig performing concrete piles. The paper presents a measuring system for parameters recording during the performance of concrete piles with the method of a bentonite injection. The structure of the system and measuring methods of particular quantities are described. The computer program presents the recorded parameters as a function of time or a function of the depth of the drilling head.

Wprowadzenie

Maszyny budowlane, zwane wiertnicami i palownicami (rys. 1), służą do wykonywania pali metodą iniekcji zawiesiny bentonitowej do gruntu [1]. Zadaniem pali jest m.in. wzmacnianie gruntu przy budowie autostrad i budynków, a także wzmacnianie i uszczelnianie wałów przeciwpowodziowych. Zaletą bezwypukowej technologii prac jest nienaruszanie struktury wzmacnianego gruntu.

Ponieważ wykonywane w ten sposób pale i listwy bentonitowe są zagłębione w ziemi na kilka, a nawet ponad dwadzieścia metrów, trudno jest ocenić prawidłowość wykonania gotowego pala. Z tego powodu większość inwestorów żąda od wykonawcy możliwości wglądu w pełną dokumentację uzyskaną w trakcie wytwarzania wszystkich pali lub listew. Do tego celu konieczne jest zastosowanie specjalnego systemu rejestracji umożliwiającego kontrolę parametrów pracy maszyny i jednoznaczne kojarzenie ich z wykonanym elementem bentonitowym. Autorzy opracowali system, który może być wykorzystany zarówno na starych, pracujących od lat, jak i produkowanych obecnie maszynach, takich jak wiertnice, palownice i kafary [2].

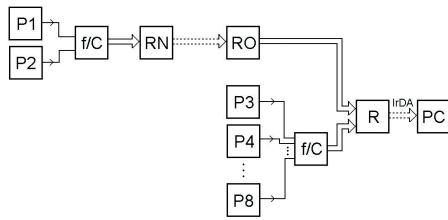
Dla prawidłowej oceny wykonanego pala konieczna jest rejestracja w czasie takich parametrów jak: głębokość, prędkość posuwu, prędkość obrotowa i moment głowicy wierzącej, siła nacisku żerdzi na grunt, ciśnienie oraz ilość tłoczona do gruntu zawiesiny bentonitowej [3]. Większość tych parametrów mierzą przetwor-



Rys. 1. Palownica w czasie pracy na wale przeciwpowodziowym

* Dr inż. Dariusz Świsulski, dr inż. Marek Wołoszyk, dr inż. Miron T. Galewski, dr inż. Michał Porzeziński – Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki

niki zainstalowane bezpośrednio na wiertnicy. Niektóre wielkości są mierzone również na pompach dostarczających zawieszinę bentonitową (rys. 2).



Rys. 2. Schemat blokowy systemu pomiarowo-rejestacyjnego: P1, P2 – przetworniki pomiarowe na pompie, P3 ... P8 – przetworniki pomiarowe na palownicy, f/C – układy przetwarzania częstotliwość-cyfra, RN – radiomodem nadawczy, RO – radiomodem odbiorczy, R – układ rejestratora z konsolą operatorską i wyświetlaczem, IrDA – łącze na podczerwień, PC – komputer

Rejestrowane wielkości

Rejestrator zbierający dane znajduje się w kabinie operatora wiertnicy (rys. 3). Sygnały pomiarowe z przetworników na wiertnicy są doprowadzone bezpośrednio do rejestratora, natomiast sygnały z pompy są dostarczane za pośrednictwem sygnału radiowego (wytwornica masy bentonitowej może znajdować się w odległości nawet do 2 km od wiertnicy).



Rys. 3. Zamontowany w kabinie operatora rejestrator parametrów wytwarzanych paliw betonowych

Ze względu na odległości między przetwornikami i rejestratorem, a także groźbę występowania zakłóceń, jako sygnały pośrednie wykorzystano sygnały impulsowe modulowane częstotliwościowo [4]. Niektóre z użytych przetworników mają bezpośrednią konwersję $x(t) \rightarrow f(t)$, inne wykorzystują konwersję pośrednią $x(t) \rightarrow I(t) \rightarrow f(t)$.

Do pomiaru prędkości obrotowej głowicy użyto przetwornika obrotowo-impulsowego składającego się z ferromagnetycznego koła zębatego zamocowanego na wale oraz umieszczonego na obwodzie czujnika, w którego cewce podczas ruchu koła zębatego indukuje się siła elektromotoryczna. Impulsy zlicza licznik mikrokontrolera ADuC812 firmy Analog Devices, wykonanego na rdzeniu mikroprocesora 80C52. Impulsy z przetwornika obrotowo-impulsowego są zliczane w czasie dobranym odpowiednio do zakresu pomiaru prędkości.

Również do pomiaru głębokości głowicy zastosowano przetwornik obrotowo-impulsowy, ale w tym wypadku użyto gotowego, inkrementalnego przetwornika optycznego w wykonaniu przemysłowym, współpracującego ze specjalną wciągarką pomiarową. Do wyznaczenia głębokości na podstawie liczby impulsów z przetwornika obrotowo-impulsowego zastosowano

oddzielny mikrokontroler PIC18F252 firmy Microchip. Przesyłanie informacji o wartości głębokości zostało zrealizowane przez interfejs szeregowy I²C. Prędkość liniowa głowicy jest wyznaczana bezpośrednio w rejestratorze na podstawie różnicy między dwoma sąsiednimi pomiarami głębokości i czasu jaki upłynął między tymi pomiarami.

Do pomiaru ciśnienia iniektu wykorzystano konwersję pośrednią – zastosowano przetwornik z wyjściem prądowym 4-20 mA połączony z przetwornikiem prąd-częstotliwość [5]. Ponieważ zakres zmian częstotliwości dla pełnego zakresu sygnału wejściowego wynosi 10 kHz, zmianie prądu od 4 do 20 mA odpowiada zmiana częstotliwości sygnału wyjściowego od 2,5 kHz do 12,5 kHz. Sygnał impulsowy z przetwornika I/f jest doprowadzony bezpośrednio na wejście licznikowe mikrokontrolera pracującego w rejestratorze.

Ponieważ w mechanizmach obrotu i posuwu wiertnicy są stosowane silniki hydrauliczne, również pomiary momentu obrotowego i siły nacisku zostały zrealizowane przez pomiar ciśnienia, z sygnałami pośrednimi: prądowym i częstotliwościowym.

Do pomiaru przepływu zawiesziny bentonitowej można zastosować specjalny przetwornik ze standardowym wyjściem prądowym 4-20 mA, a następnie za pomocą przetwornika I/f przetworzyć ten sygnał na częstotliwość, mierzoną z kolei przez licznik mikrokontrolera. Objętość iniektu jest wyznaczana pośrednio z przepływu.

Ponieważ przetwornik przepływu jest urządzeniem stosunkowo kosztownym, innym, mniej dokładnym rozwiązaniem jest pomiar przepływu na podstawie liczby ruchów pompy. Dokładność w tym wypadku zależy od objętości iniektu przepompowanego przy jednym ruchu pompy. Objętość ta w zależności od realizacji wynosi od jednego do kilkunastu litrów.

Dane pomiarowe, co zadany okres, są zapisywane w postaci rekordów binarnych w pamięci rejestratora. Wykorzystano do tego celu statyczną pamięć RAM z podtrzymaniem baterijnym o sumarycznej pojemności 2 MB. Przy zapisywaniu kompletu danych pomiarowych z okresem 5 s jest możliwe zarejestrowanie ok. 256 godzin pracy wiertnicy.

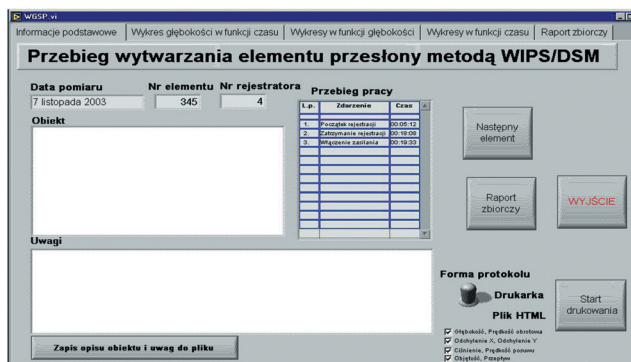
W pamięci są zapisywane również zdarzenia związane z pracą rejestratora, takie jak: włączenie urządzenia, ostatni odczyt danych, uruchomienie i wstrzymanie rejestracji. Rekordy te są uzupełnione numerem pała i dokładnym czasem odczytywanym z wewnętrznego zegara czasu rzeczywistego.

Zapisywane dane są zabezpieczone przed uszkodzeniem związanym z nieprzewidzianym zanikiem napięcia zasilania. Wykorzystano do tego celu sprzętową blokadę dostępu do pamięci, działającą przy obniżeniu napięcia zasilającego oraz zewnętrzne przerwanie wyprzedzające zanik napięcia zasilania mikrokontrolera. Zdublowano również najważniejsze struktury danych, takie jak parametry rejestracji i pozycję ostatnio zapisanego rekordu oraz zabezpieczono je sumą kontrolną.

Zapisane do pamięci rejestratora wyniki mogą zostać odczytane przez komputer. Dla uniknięcia umieszczenia w rejestratorze specjalnego gniazda do podłączenia komputera (rejestrator znajduje się w obudowie hermetycznej) zastosowano połączenie bezprzewodowe w standardzie IrDA [6].

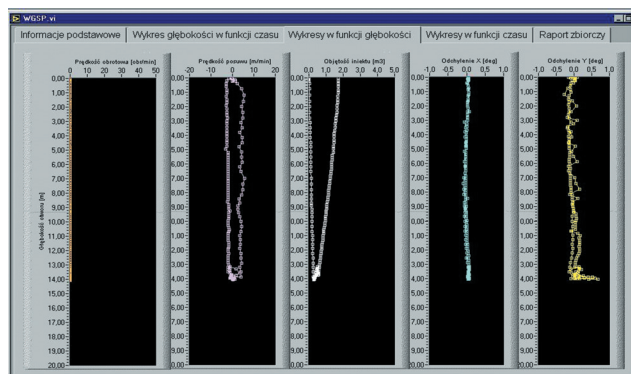
Oprogramowanie do wizualizacji wyników

Oprogramowanie WGSP do analizy wykonanych pali, archiwizacji danych i sporządzania protokołów zostało przygotowane w środowisku LabVIEW [7]. Panel główny programu jest pokazany na rys. 4. Podane są na nim podstawowe informacje związane z pojedynczym palem: data wykonania, numer, przebieg pracy przy jego wytworzeniu, dodatkowe opisy i uwagi. Z panelu tego można wczytać dane kolejnego pala, wydrukować protokół, czy przejść do przygotowania raportu zbiorczego.

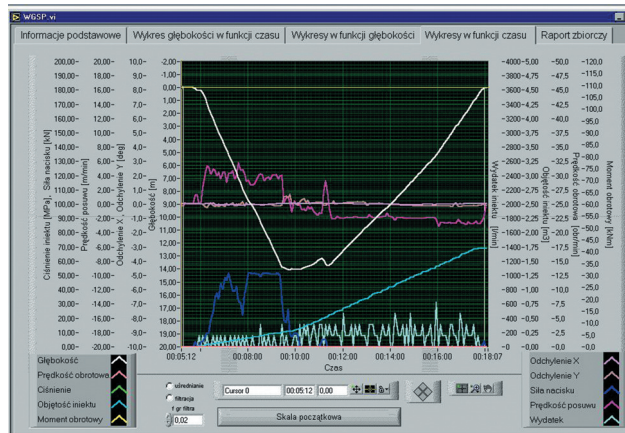


Rys. 4. Panel główny programu WGSP

Program umożliwia obserwację rejestrowanych wielkości dla poszczególnych pali w funkcji zagłębienia głowicy wierzącej (rys. 5) lub w funkcji czasu (rys. 6). Możliwe jest również sporządzanie raportów zbiorczych, zawierających zestawienie najważniejszych parametrów dla pali wykonanych w określonym przedziale czasu. W oknie zestawienia zbiorczego wykonanych pali jest podawana również sumaryczna objętość zużytej zawiesziny bentonitowej.



Rys. 5. Zmiany rejestrowanych wielkości w funkcji głębokości w oknie programu WGSP



Rys. 6. Zmiany rejestrowanych wielkości w funkcji czasu w oknie programu WGSP

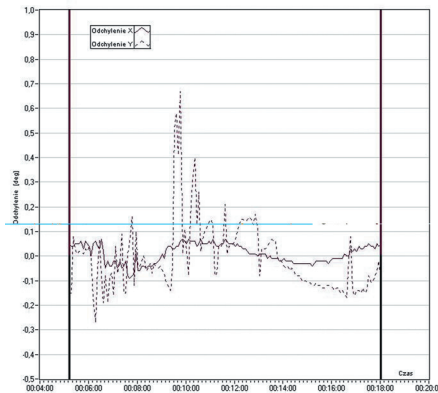
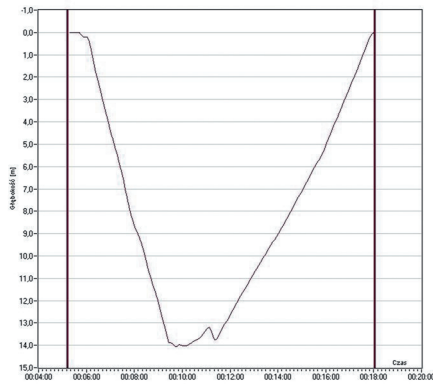
Na rys. 7-9 przedstawiono wykresy zarejestrowanych parametrów w funkcji czasu przy wytwarzaniu przykładowego elementu przesłony szczelnej wykonywanej w wale przeciwpowodziowym rzeki Wisły. Analiza wykresów pozwala na wyciągnięcie wniosków na temat poprawności wykonania konkretnego elementu przesłony i umożliwia potwierdzenie szczelności kontrolowanego odcinka.

Wykres głębokości w funkcji czasu (rys. 7a) pozwala na identyfikację ewentualnych przestoju podczas wypełniania otworu zawiesziną bentonitową. W celu uzyskania dobrej jednorodności pali ważne jest, aby wycofywanie narzędzia i podawanie zawiesziny odbywało się równomiernie [3].

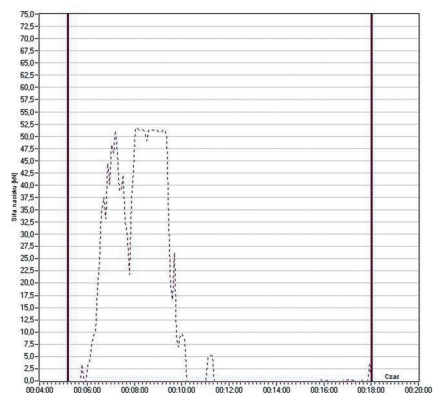
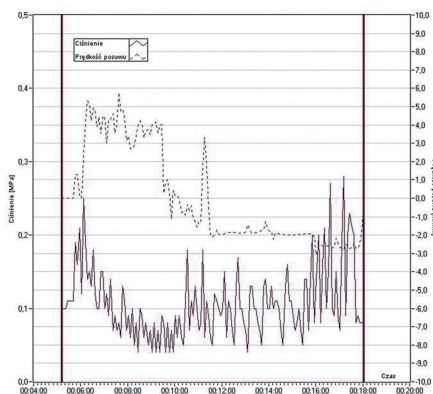
Wartości odchylenia żerdzi od pionu w kierunku X i Y (rys. 7b) umożliwiają ocenę pionowości wykonanego pala. Jest to szczególnie istotne przy wykonywaniu przesłon szczelnych o znacznej głębokości, gdyż zbyt duże odchyłki od pionu mogą skutkować utratą szczelności przesłony.

Na rys. 8a pokazano wykres ciśnienia zawiesziny bentonitowej i prędkości posuwu żerdzi, a na rys. 8b siły nacisku żerdzi na grunt. Wartości tej siły pozwalają na określenie rodzaju gruntu.

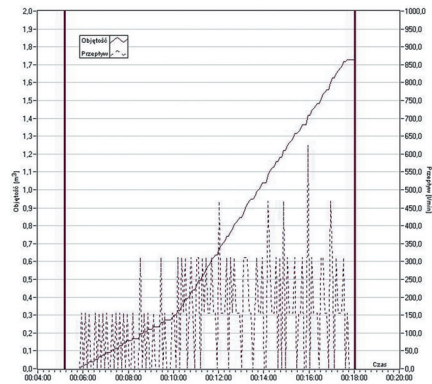
Rys. 9 przedstawia objętość i przepływ iniektu w funkcji czasu w trakcie wytwarzania przykładowego pala. Przepływ mierzony był w tym wypadku na podstawie liczby ruchów tłoka pompy w zadanym czasie pomiaru. Ponieważ w czasie tym występowało nie więcej niż kilka ruchów, wyniki pomiaru przepływu można traktować jako wartości orientacyjne. Wykorzystane zostały one jako wartości pośrednie do wyznaczenia objętości zawiesziny. Wykres objętości pozwala na wyciągnięcie wniosków na temat zmian przekroju wykonanego pala w funkcji głębokości. Duże znaczenie dla organizacji pracy ma też podawane w zestawieniu zbiorczym sumaryczne zużycie iniektu w zadanym czasie. Jest to istotne, gdy wiertnica wykonująca pale i węzeł wytwórczy masy bentonitowej należą do różnych właścicieli. W takiej sytuacji protokoły zestawienia zbiorczego mogą być podstawą do rozliczeń między współpracującymi podmiotami.



Rys. 7. Głębokość (a) i odchylenie (b) w funkcji czasu w trakcie wytwarzania przykładowego pala



Rys. 8. Ciśnienie iniektu i prędkość posuwu (a) oraz siła nacisku żerdzi (b) w funkcji czasu w trakcie wytwarzania przykładowego pala



Rys. 9. Objętość i przepływ zawiesiny bentonitowej w funkcji czasu w trakcie wytwarzania przykładowego pala

Podsumowanie

Opracowany przez autorów system nie ustępuje pod względem funkcjonalnym podobnym systemom produkowanym za granicą, jest od nich natomiast znacznie tańszy. Ciągły rozwój systemu pozwala na uwzględnienie kolejnych uwag oraz indywidualnych potrzeb użytkowników. Zaletą przyjętego rozwiązania jest duża elastyczność, system pomiarowy może współpracować z maszynami pracującymi w różnych technologiach, np. DSM, WIPS, Jet Grounding. Również oprogramowanie systemu może pełnić różne funkcje, włącznie z podglądem zmian rejestrowanych parametrów w trakcie wytwarzania pali.

Bibliografia

- [1] Madryas C., Ryż K.: *Współczesne technologie podziemnego budownictwa komunikacyjnego. Metody drążenia tuneli komunikacyjnych*. Inżynieria Bezwykopowa, luty 2003, s. 46-56.
- [2] Galewski M., Wołoszyk M., Świsulski D., Porzeziński M.: *Revitalization of building machines for road engineering applications. Proceedings of International Conference on Clean, Efficient & Safe Urban Transport CESURA'03*, Gdańsk/Jurata, June 4-6, 2003, s. 1-10.
- [3] Wołoszyk M., Galewski M. T., Porzeziński M., Świsulski D.: *Mikrokomputerowy rejestrator pracy palownic*. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej. Elektryka. Nr 1 (6) 2003, Radom 2003, s. 159-164.
- [4] Świsulski D.: *Błąd dynamiczny w torze pomiarowym z częstotliwościowym nośnikiem informacji*, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 2/2000, s. 2-6.
- [5] Galewski M. T.: *On certain features of voltage-to-frequency converters*. IV Sympozjum nt. Pomiarów dynamicznych, Gliwice, 7-8 listopada 2002, s. 35-41.
- [6] Świsulski D.: *Możliwości współpracy rejestratorów cyfrowych ze sprzętem komputerowym*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej Zastosowanie Komputerów w Elektrotechnice ZKwE'2002, Poznań/Kiekrz 22-24 kwietnia 2002, tom I, s. 405-408.
- [7] Lesiak P., Świsulski D.: *Komputerowa technika pomiarowa w przykładach*, Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2002.