

Zastosowanie silnika krokowego do napędu prasy uniwersalnej

ADAM KANCIRUK

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

Streszczenie

Aparat Marshall'a jest jednym z podstawowych urządzeń badawczych użytkowanych przez laboratoria wytwórni mas bitumicznych i przedsiębiorstw budowy dróg. Wyposażenie pewnej wersji konstrukcyjnej aparatu w elektroniczny system pomiarowo-sterujący sprawiło, że przeprowadzenie testu wykonywanego przy jego użyciu – oznaczenia stabilności i odkształcenia mas mineralno-asfaltowych, stało się prostsze i dokładniejsze niż przy użyciu aparatu wyposażonego w najprostsze, mechaniczne przyrządy pomiarowe. Z czasem pojawiła się potrzeba uczynienia aparatu bardziej uniwersalnego, dostosowanego również do testów nośności gruntu i innych testów wytrzymałościowych. Dlatego zmieniono jego konstrukcję, przystosowując ją do napędu silnikiem krokowym. Silnik ten sterowany jest wspomnianym elektronicznym systemem, odpowiednio przekonstruowanym i przeprogramowanym.

Słowa kluczowe: systemy mikroprocesorowe, silnik krokowy, badawcza aparatura geotechniczna

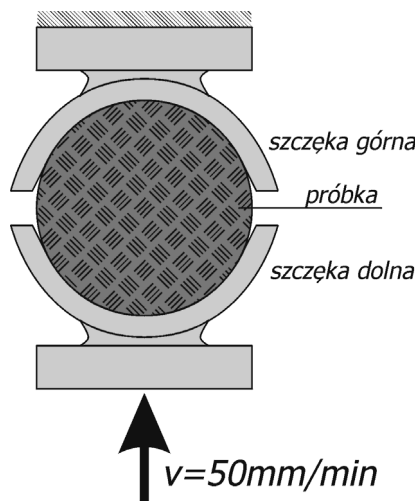
Wstęp

Nawierzchnie dróg kołowych wykonywane są zazwyczaj z mas bitumicznych. Przygotowywane są one w formie mieszaniny asfaltów i kruszywa o gradacji ok. 10 mm z dodatkami np. syntetycznych polimerów. Masy te muszą cechować się odpowiednimi parametrami mechanicznymi, w Polsce precyzowanymi normą BN 70/8931-09 [1]. Do badań tych parametrów konieczne jest stosowanie specjalistycznego oprzyrządowania, złożonego z pieca o regulowanej temperaturze do 200°C, ubijaka Marshall'a [1, rys. 6], łaźni wodnej i aparatu Marshall'a [1, rys. 14].

Ubijak Marshall'a jest urządzeniem do formowania próbek do badań. Pobrana z produkcji masa jest podgrzewana w piecu do temperatury właściwej procesowi układania nawierzchni i po przełożeniu jej do cylindrycznej formy ubijana. W procesie tym otrzymywana jest próbka o średnicy 100 mm i standardowej wysokości 63.5 mm. Przed badaniem jest studzona, starzona i ponownie nagrzewana do temperatury ok. 60°C.

Badanie parametrów mechanicznych próbki przeprowadza się w aparacie Marshalla. Przygotowana próbka umieszczana jest w specjalnych szczękach i zginiata siłą o wektorze prostopadłym do jej osi (Rys. 1).

Najbardziej istotnymi parametrami wytrzymałościowymi próbki są jej stabilność i odpowiadające tej stabilności osiadanie, czyli wartości siły i deformacji na granicy wytrzymałości na ściskanie, a jeśli próbka nie ulega zniszczeniu – wartość siły przy maksymalnej jej deformacji. Norma [1] nie określa wartości maksymalnej deformacji, ale precyzuje dokładnie wymiary szczęk (Rys. 1). Wynika z nich, że maksymalna deformacja wynosi ok. 14 mm. Siła mierzona jest w kiloniutonach, a deformacja – w milimetrach. Najprostsze



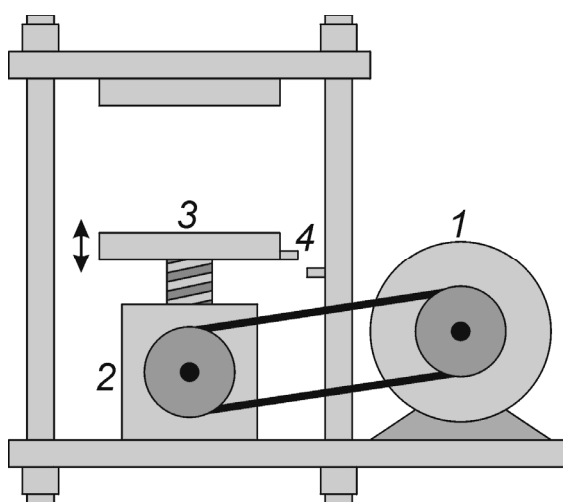
Rys. 1. Zasada pracy aparatu Marshall'a

rozwiązanie konstrukcyjne aparatu podane w [1] przewiduje wyposażenie go w przyrządy do pomiaru wartości siły i deformacji o odczycie wizualnym. Odczyt wizualny może być obarczony błędami subiektywnymi, dlatego lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie w aparacie Marshall'a odpowiedniego oprzyrządowania elektronicznego. Oprócz niezależnego od operatora określenia wartości wyżej wymienionych parametrów umożliwia on uzyskanie pełnej charakterystyki stabilność – osiadanie w standardowych granicach 0-14 mm.

Ograniczone możliwości wyposażenia niewielkich (nawet połowych) laboratoriów drogowych w aparaturę, przyczyniły się do jej modernizacji w kierunku uczynienia jej bardziej uniwersalną. Tym sposobem, po dodaniu do aparatu Marshalla wykonanego według pewnych założeń konstrukcyjnych dodatkowego napędu uzyskano drugą (oprócz 50 mm/min [1]) prędkość deformacji próbek wynoszącą 1.25 mm/min, potrzebną do testów gruntów budowlanych – wyznaczania tzw. kalifornijskiego wskaźnika nośności (CBR: *Californian Bearing Ratio*) [2]. Aparat z dwoma napędami, przez nadmierne skomplikowanie jego układu mechanicznego i niewygodną obsługę był rozwiązaniem tylko doraźnym. Dlatego zdecydowano się na budowę prasy uniwersalnej z nowym układem mechanicznym, zawierającym jako jednostkę napędową silnik krokowy sterowany elektronicznie. Zastosowanie silnika krokowego umożliwiło uzyskanie wielu prędkości odkształcania badanych próbek, w tym prędkości 50 i 1.25 mm/min wymaganych dla testów Marshall'a i CBR.

1. Idea układu mechanicznego prasy uniwersalnej

Idea układu mechanicznego prasy uniwersalnej jest bardzo prosta (Rys. 2). Silnik krokowy 1 poprzez przekładnię pasową zębatą napędza dźwignik śrubowy 2, który umożliwia ruch postępowy stolika prasy 3 do góry lub w dół. Na stoliku ustawiane są szczęki (Rys. 1) do testu Marshall'a, cylinder z próbką gruntu (do testu CBR) lub bezpośrednio próbki do badań wytrzymałościowych jednoosiowych. Najniższe położenie stolika determinuje detektor położenia, tzw. „krańcówka” 4.



Rys. 2. Idea układu mechanicznego prasy uniwersalnej: 1 silnik, 2 dźwignik, 3 stolik, 4 „krańcówka”

2. Sterowanie silnika napędzającego prasę

Wspomniane we wstępie aparaty Marshall'a, również w wersji dostosowanej do przeprowadzania testu CBR wyposażano w moduły pomiarowo-rejestrujące, których głównymi zadaniami są:

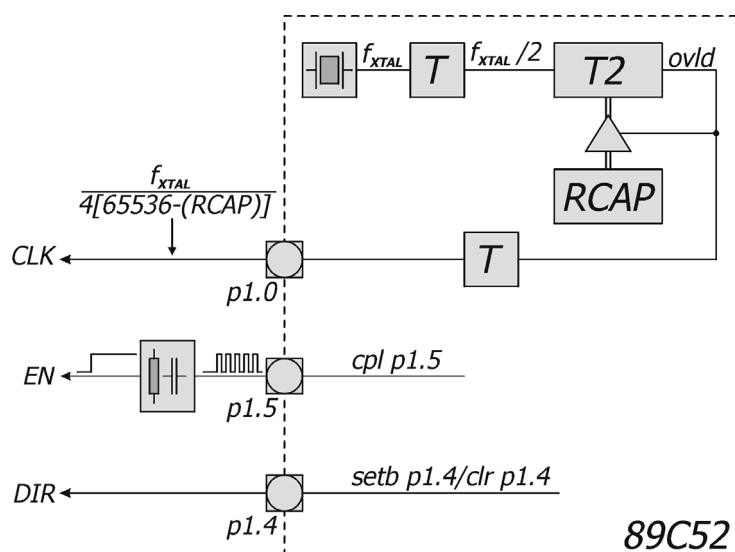
- przeprowadzanie pomiarów siły i przemieszczenia,
- zapamiętywanie wyników pomiarowych w wewnętrznej pamięci,
- transmitowanie wyników do podłączonego komputera,
- drukowanie protokołu pomiarowego,
- kalibrowanie przetworników pomiarowych,
- sterowanie pracą prasy.

Pomiary siły i przemieszczenia dokonywane są za pośrednictwem dołączonych przetworników z częstotliwością 6 Hz. Wyniki pomiarowe (do 4000 par danych) zapamiętywano w pamięci układu mikroprocesora modułu. Mikroprocesor ten pozwala na transmisję zebranych danych do komputera poprzez port RS232C. Po podłączeniu do tego portu drukarki mozaikowej, igłowej możliwy jest wydruk kompletnego (z wykresem) protokołu pomiarowego. Kalibrowanie przetworników stosowane jest przy ich wzorcowaniu. Sterowanie pracą aparatu polega na załączaniu zasilania jego silnika na czas testu (ściskanie próbki – ruch roboczy stolika prasy do góry) i po wykonaniu testu, do czasu powrotu stolika do pozycji wyjściowej.

Zastosowany w module mikroprocesor jednocukowy Intel 87C51 zawiera dwa programowane szesnastobitowe liczniki T0 i T1 (T oznacza *timer*). Licznik T0 został użyty do taktowania pracy modułu, a licznik T1 – do taktowania portu transmisji danych RS232C. W module zastosowanym w prasie uniwersalnej, miejsce wspomnianego procesora zajmuje jego nowocześniejsza wersja Atmel 89C52. Najistotniejszą różnicą między tymi mikroprocesorami jest to, że ten ostatni zawiera trzeci, znacznie (w porównaniu z T0 i T1) rozbudowany licznik T2. Licznik ten wprawdzie wprowadzony został do procesora 8052 (i pochodnych) przez firmę Intel, lecz dopiero w układzie 89C52 dodano jego dodatkową funkcję – możliwość generowania prostokątnego sygnału wyjściowego o programowanej częstotliwości.

Ta cecha mikroprocesora Atmel 89C52 okazała się bardzo korzystna w przypadku budowy modułu do prasy uniwersalnej. Dla nowego jego zadania, jakim jest sterowanie pracą silnika krokowego, nie była konieczna przebudowa układu elektronicznego zasadniczej części modułu stosowanego dotychczas, wystarczyła tylko zmiana układu pośredniczącego mikroprocesor – silnik. Konieczne natomiast było wprowadzenie zmian w programie mikroprocesora, w tym dołączenie nowych procedur.

Rysunek 3 przedstawia fragment układu mikroprocesora – licznika T2 pracującym jako generator sygnału wyjściowego, oraz sposób tworzenia sygnałów wymaganych przez sterownik silnika krokowego.



Rys. 3. Sposób tworzenia sygnałów wejściowych sterownika silnika krokowego

Sterownik ten, podobnie jak silnik krokowy produkowany jest przemysłowo. Jego cyfrowymi sygnałami wejściowymi są (Rys. 3) CLK (*clock*) – sygnał taktu, EN (*enable*) – sygnał zezwalający na pracę silnika i sygnał DIR (*direction*) – określający kierunek obrotów. Silnik jest typową maszyną czterofazową, która przy zasilaniu jej uzwojeń napięciem znamionowym jest w stanie wykonywać 200 kroków na 1 pełny obrót wirnika. Sterownik umożliwia zasilanie uzwojeń napięciami również niższymi niż znamionowe, zmieniającymi się skokowo według ściśle ustalonego rytmu. Skutkuje to tzw. pracą silnika mikrokrokową, z liczbą kroków wynoszącą 400, 800 lub 1600 na obrót. W miarę zwiększania liczby kroków na pełny obrót wirnika, przebieg napięć zasilających jego uzwojenia zbliża się do przebiegu sinusoidalnego, a praca silnika staje się coraz bardziej równomierna. Wybór liczby kroków umożliwia dostępny z zewnątrz sterownika przełącznik.

Jak wspomniano w punkcie 1, do przetworzenia ruchu obrotowego wirnika silnika na ruch posuwisty stolika prasy zastosowano dźwignik śrubowy połączony z wirnikiem przekładnią z paskiem zębatym. Ste-

rownik silnika ustawiono na pracę układu napędowego „ćwierćkrokową”. Stolik na 1 pełny obrót wirnika przesuwa się o 0.25 mm. Zatem dla prędkości deformacji próbek w teście Marshall’a wynoszącej 50 mm/min. wymagana prędkość obrotowa wirnika wynosi:

$$\frac{50\text{mm/min}}{0.25\text{mm/obr} \cdot 60\text{s}} = 3.333\dots\text{obr/s}$$

Dla tej prędkości przesuwu stolika i dla pracy „ćwierćkrokowej” silnika, częstotliwość sygnału CLK (Rys. 3) powinna zatem być równa:

$$3.333\dots\text{obr/s} \cdot 800\text{ kroków/obr} = 2\,666.666\dots\text{Hz}$$

Sposób generacji sygnału na wyjściu CLK (Rys. 3) o częstotliwości równej wyżej wyliczonej jest następujący. Do wejścia licznika T2 doprowadzony jest sygnał o częstotliwości 6 MHz z oscylatora kwarcowego mikroprocesora ($f_{xtal} = 12\text{ MHz}$) po podzieleniu jego częstotliwości przez 2 w układzie przerzutnika (wejściowego) typu T. Przed uruchomieniem silnika do 16-bitowego licznika T2 i do skojarzonego z nim rejestru RCAP (*reload/capture*) – również 16-bitowego, wpisywana jest programowo liczba 64411 (szesnastkowo FB 9B). Po wpisaniu, licznik jest uruchamiany i po zliczeniu $65536 - 64411 = 1125$ taktów sygnału na jego wejściu, a więc po czasie:

$$\frac{1125\text{taktów}}{6 \cdot 10^6\text{ Hz}} = 187.5\ \mu\text{s}$$

następuje jego przepełnienie (*overflow*) i generowany jest sygnał *ovld*. Sygnał ten powoduje automatyczny, ponowny wpis do licznika liczby 64411 z rejestru RCAP i przerzut z logicznego ‘0’ na ‘1’ (lub odwrotnie) stanu wyjściowego przerzutnika typu T. Na jego wyjściu pojawia się więc sygnał o częstotliwości:

$$\frac{1}{2 \cdot 187.5 \cdot 10^{-6}} = 2666.666\dots\text{Hz}$$

a więc dokładnie takiej, jaka jest wymagana dla prędkości przesuwu stolika wynoszącej 50 mm/min.

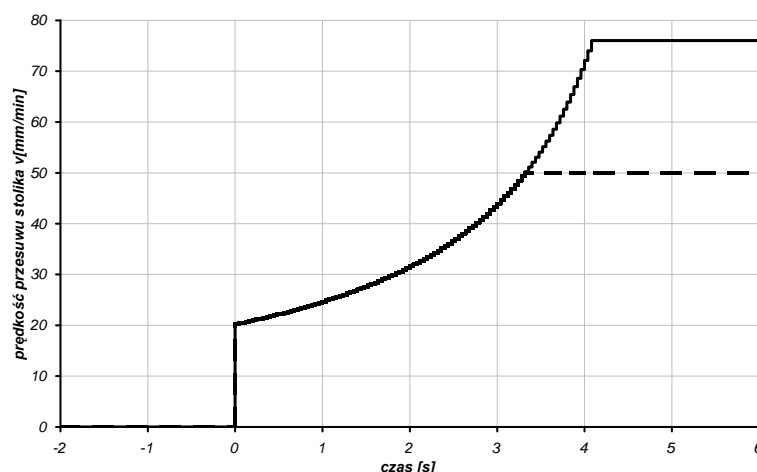
Po ustaleniu kierunku obracania się wirnika sygnałem DIR (Rys. 3) i ustawieniu aktywnego poziomu sygnału EN prasa powinna zatem rozpocząć swoje funkcjonowanie. Niestety, zbyt duża bezwładność mechaniczna wirnika zastosowanego silnika nie pozwala na natychmiastowe osiągnięcie prędkości 3.333... obrotów na minutę. Jak wykazały próby, bezwładność ta nie jest istotna przy prędkościach przesuwu stolika do 20 mm/min, a więc dla prędkości wirnika do 1.333... obr/s. Zatem dla prędkości wyższych niż wspomniane 1.333... mm/min konieczne jest stopniowe ‘rozpędzanie’ prasy do wymaganych prędkości przesuwu stolika.

Do tego celu do programu sterującego pracą mikroprocesora dołączono procedurę ‘rozruchową’, której działanie jest następujące. Początkowo, do licznika T2 i rejestru RCAP wpisywana jest liczba 62725 (szesnastkowo F505), co daje na wyjściu CLK (Rys. 3) sygnał o częstotliwości ok. 1067 Hz i przesuw stolika z prędkością 20 mm/min. Po uruchomieniu silnika, procedura co 40 ms wpisuje do rejestru RCAP liczbę większą od poprzedniej o 20, czyli kolejno: 62745, 62765... itd., aż do osiągnięcia wymaganej dla prędkości 50 mm/min liczby 64411, co następuje po niespełna 3.4 s. Przeprowadzane w ten sposób rozpędzanie wirnika jest proste i niezawodne, choć nie jest liniowe (Rys. 4). Z pewnością jest też dalekie od optymalnego, dlatego przewiduje się korektę procedury ‘rozruchowej’.

Prędkość obrotowa wirnika silnika dla testu CBR (przesuw stolika z prędkością 1.25 mm/min) wynosi tylko 0.066... obr/s i nie wymaga uruchamiania wspomnianej procedury. Oprócz tych dwóch prędkości przesuwu stolika dostępne są jeszcze następujące:

40, 33, 25, 20, 16.5, 12.6, 10, 8, 6.3, 5, 4, 3.2, 2.5, 2 i 1.6 mm/min.

Wybór jednej z nich odbywa się za pomocą wyświetlacza i klawiatury modułu. Prędkości te są użyteczne przykładowo do badań próbek gruntu stabilizowanego cementem [3] w jednoosiowym stanie naprężenia. Dla prędkości 40, 33 i 25 mm/min konieczne jest uruchamianie procedury ‘rozruchowej’, podobnie jak dla prędkości 76 mm/min osiągananej przy ruchu stolika prasy do dołu, do pozycji wyjściowej. Pozycja ta jest determinowana zadziałaniem tzw. krańcówki, zwiernego styku. Praktycznie składa się ona z przy-



Rys. 4. Przebieg stopniowego zwiększania prędkości przesuwu stolika: linia ciągła – do prędkości 76 mm/min, linia przerywana – do 50 mm/min

mocowanego do jednej z kolumn prasy kontaktronu i zamocowanego do stolika niewielkiego magnesu. Styki kontaktronu podłączone są do jednego z wejść mikroprocesora, który w odpowiedzi na ich zwarcie przerywa opuszczanie stolika.

Licznik T2 (Rys. 3) raz zaprogramowany pracuje niezależnie od pozostałej części mikroprocesora, która m.in. kontroluje położenie stolika i nie dopuszcza do przemieszczania go poza konstrukcyjnie bezpieczne położenie. Podobnie sprawdzana jest mierzona za pośrednictwem dynamometru siła ściskająca badane próbki. Statyczne ustawianie aktywnego poziomu sygnału EN może stworzyć niebezpieczną potencjalnie sytuację, w której wskutek awarii (czasowej lub trwałej) mikroprocesora, silnik napędzający prasę będzie pracować bez kontroli. Najczęściej zdarza się to przez „zawieszenie się” procesora przez nieprawidłowe wykonywanie jego programu spowodowane przypadkowym zdarzeniem zakłócającym. Aby do takiej sytuacji nie dopuścić, procesor ustawia programowo poziom sygnału EN w sposób dynamiczny, tzn. co okres ok. 0.1 s, po każdym cyklu pomiarowym zmienia stan logiczny wyjścia p1.5 na przeciwny, generując ciąg impulsów. Dołączony do tego wyjścia czasowy przerzutnik monostabilny zmienia stan EN na aktywny po pierwszym impulsie. Następnie podtrzymuje go, pod warunkiem pojawiania się na wyjściu p1.5 następných impulsów w nieprzekraczalnych odstępach czasu. Brak impulsów powoduje szybką dezaktywację stanu sygnału EN i zatrzymanie silnika prasy.

Podsumowanie

Zastosowanie silnika krokowego do napędu prasy uniwersalnej, przeznaczonej głównie do badań materiałów stosowanych w drogownictwie jest rozwiązaniem trafnym. Prasa łączy w sobie cechy aparatu Marshall’a, prasy do testów CBR, ponadto jej zakres stosowalności został rozszerzony do testów materiałów innych, niż masy bitumiczne i grunty budowlane. Stosowane od kilkunastu lat w wielokrotnie modyfikowanych prasach moduły pomiarowo-sterujące, mimo wielu modernizacji zasadniczo zachowały swą pierwotną logikę działania. Sprawdzone przez użytkowanie przez kilkanaście lat w wielu egzemplarzach, dowiodły swej wysokiej niezawodności i okazały się urządzeniami niezawodnymi, o dobrych parametrach metrologicznych i prostymi w obsłudze i konstrukcji. Dlatego, po modyfikacjach zostały z powodzeniem dostosowane do całkowicie zmienionego układu napędowego najnowszej prasy.

Literatura

1. BN 70/8931-09. *Drogi samochodowe i lotniskowe. Oznaczenie stabilności i odkształcenia mas mineralno-asfaltowych*. Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Drogowej, sierpień 1970.
2. BN 70/8931-05. *Drogi samochodowe. Oznaczenie wskaźnika nośności gruntu jako podłoża nawierzchni podatnych*. Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Drogowej, marzec 1970.
3. PN-S-96012. *Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem*. Polska Norma. Polski Komitet Normalizacyjny, grudzień 1997.

Application of a stepper motor to driving an all- purpose press

Abstract

The Marshall apparatus is a test device widely used in laboratories of bituminous mass manufacturers and road construction companies. One version of the apparatus equipped with an electronic measurement and control system makes the testing procedures (determining the stability and deformations of bituminous mass) easier and more accurate than when the simplest mechanical devices are used. Further, the need arose to make the apparatus more universal to be used in measurements of load carrying capacity and strength of soils. That is why the design structure of the apparatus has been altered so that it could be driven by a stepper motor. The motor is controlled by the electronic system, re-designed and re-programmed accordingly.

Keywords: microprocessor systems, stepper motor, geotechnical test apparatus