

Mieczysław WĘGRZYN

OZNACZENIE DYNAMICZNYCH WŁASNOŚCI BETONU
ELASTOMETREM REZONANSOWYM

Streszczenie. W pracy omówiono sposób badania stałych sprężystości betonu nieniszczącą metodą ultradźwiękową, przy użyciu elastometru rezonansowego. Uzyskane wyniki są zgodne z wynikami otrzymanymi innymi metodami, zarówno nieniszczącymi jak i niszczącymi.

1. Wstęp

Stałe sprężystości betonu można wyznaczyć różnymi metodami, zarówno niszczącymi jak i nieniszczącymi. Szczególnie interesujące i rozwijane są ostatnio metody nieniszczące. Spośród metod nieniszczących wyróżniają się metody akustyczne i ultradźwiękowe, w których wykorzystuje się związki między stałymi sprężystości materiału, a prędkością rozchodzenia się fal ultradźwiękowych - metody impulsowe, czy częstotliwością drgań wywołanych falami akustycznymi - metody rezonansowe, por. [2].

Dotychczas bardziej rozwinęły się metody impulsowe, którymi można wyznaczyć stałe sprężystości oraz wytrzymałości betonu przy użyciu betonoskopu.

Metody rezonansowe dotychczas są rzadko stosowane, gdyż wymagają bardziej skomplikowanej aparatury, która w dodatku nie jest seryjnie produkowana. Opracowanie wyników pomiarów jest w tej metodzie również dość uciążliwe. Szerze stosowanie tej metody będzie możliwe po wyprodukowaniu większej liczby odpowiednich urządzeń, tak skonstruowanych, by można było bezpośrednio mierzyć wartości stałych sprężystości materiałów, w tym również betonu.

Zadanie to w pewnym stopniu spełnia elastometr rezonansowy, którego prototyp wykonano w Zakładzie Konstrukcji Prototypów IPPT PAN, por. [7].

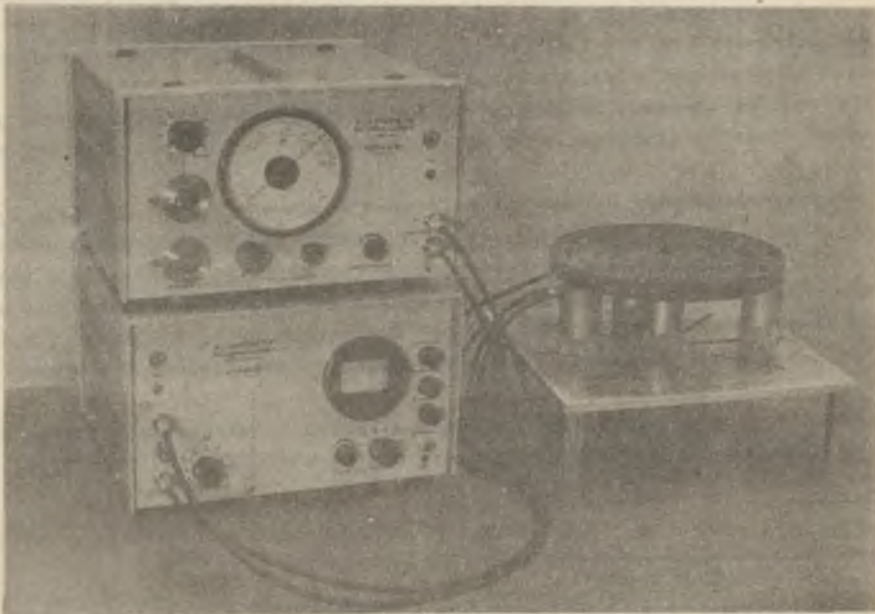
2. Zasada działania elastometru

Częstotliwość drgań własnych ciała próbnego jest funkcją jego wymiarów geometrycznych i parametrów fizycznych, takich jak stałe sprężystości E i μ oraz gęstość materiału ρ .

Do określenia wartości dynamicznych własności materiałów izotropowych (w tym również betonu) metodami rezonansowymi, należy oznaczyć dwie częstotliwości rezonansowe drgań badanego ciała. W zależności od stosowanej metody pomiaru można wyznaczyć częstotliwości rezonansowe ciał próbnych dla różnego rodzaju fal sprężystych lub częstotliwości rezonansowe fal tego samego rodzaju w ciałach próbnych różnego kształtu. Można też poszukiwać dwóch różnych częstotliwości fal tego samego rodzaju w jednakowych ciałach próbnych, pod warunkiem, że kolejne częstotliwości rezonansowe tych ciał nie są harmoniczne (por. [5] i [6]). Tę ostatnio wymienioną metodę wykorzystano w elastometrze ER-3.

Elastometr ER-3 wyskalowany jest do oznaczania dynamicznego współczynnika Poissona, lecz może być również wykorzystany do oznaczania innych własności dynamicznych, np. dynamicznego modułu sprężystości oraz tłumienia materiałowego.

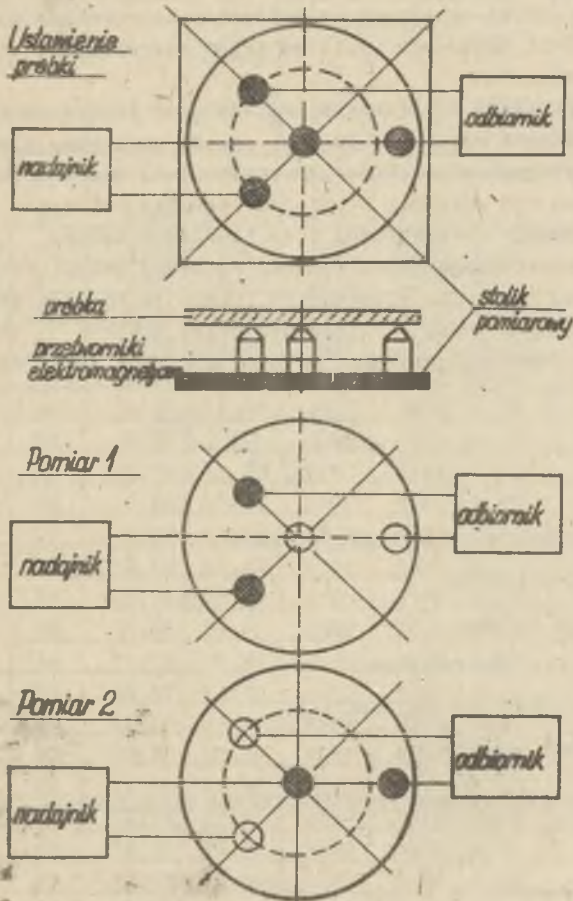
Oznaczenia dynamicznego współczynnika Poissona elastometrem ER-3 zasadniczo dokonuje się na ciałach próbnych w postaci płytek kołowych o stosunku wysokości do średnicy nie przekraczającym wartości 0,2 i ciężarze poniżej 1 daN. Urządzenie może być również wykorzystane do pomiarów przy użyciu ciał próbnych o innych kształtach, np. prętów, prostopadłościanów czy ciał pryzmatycznych.



Rys. 1. Elastometr ER-3

Zestaw pomiarowy: nadajnik, odbiornik oraz stół pomiarowy wraz z przetwornikami i próbką

Zestaw pomiarowy elastometru ER-3 przedstawiony jest na rys. 1, a ustawienie próbki na głowicach nadawczych i odbiorczych na rys. 2. Szczegółowy opis działania elastometru można znaleźć w pracy [3].



Rys. 2. Schemat funkcjonalny zestawu pomiarowego

3. Metodyka badań

Dynamiczne własności betonu: μ_d , E_d , δ , oznaczono przy pomocy elastometru ER-3, na ciałach próbnych w postaci krążków o średnicach 150 i 160 mm oraz wysokości 20÷35 mm, o ciężarze około 1 daN. Krążki betonowe do badań uzyskane przez pocięcie walców o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm przeznaczonych do badania modułu sprężystości betonu oraz walców o średnicy i wysokości równej 160 mm przeznaczonych do badania wytrzymałości na ściskanie.

nie, jako próbek-świadków w badaniach opisanych w pracy [10]. Wiek badanego betonu wynosił 7 lat. W okresie poprzedzającym badanie, próbki przechowywane były na poligonie doświadczalnym pod zadaszeniem czyli w warunkach powietrzno-suchych.

Do badania próbki ustawiano na bolcach przetworników elektromechanicznych wzdłuż linii węzłowych amplitud drgań pierwszego i drugiego rezonansu zgodnie z rys. 2.

W celu zwiększenia dokładności pomiaru oraz rozszerzenia zakresu oznaczenia dynamicznych własności betonu, zestaw pomiarowy elastometru ER-3 uzupełniono cyfrowym miernikiem częstotliwości. Mierzono nim częstotliwości rezonansowe pierwszego i drugiego rezonansu potrzebne do oznaczenia dynamicznego modułu sprężystości oraz tłumienia betonu.

Wartości dynamicznego współczynnika Poissona odczytywano bezpośrednio na tarczy skali nadajnika elastometru. Można je również odczytywać z nomogramów opracowanych przez Martinčeka w pracy [5].

Dynamiczny moduł sprężystości betonu obliczono ze wzoru:

$$E_d = \frac{3\pi^2(1 - \mu_d^2)d^4 Q f_n^2}{\lambda_n^2 h^2}, \quad (1)$$

w którym:

μ_d - dynamiczny współczynnik Poissona,

d - średnica próbki,

Q - gęstość betonu,

f_n - częstotliwość rezonansu,

λ_n - współczynnik wg [6] lub [7],

h - wysokość próbki.

Logarytmiczny dekrement tłumienia drgań obliczono ze wzoru:

$$\delta = \frac{\pi}{Q}, \quad (2)$$

w którym:

$$Q = \frac{f}{\Delta f} \text{ jest dobrocią,}$$

gdzie:

f_0 - jest częstotliwością odpowiadającą maksymalnej amplitudzie drgań próbki,

$$\Delta f = \frac{1}{2}(f_g - f_d),$$

przy czym:

f_g i f_d - częstotliwości odpowiadające amplitudom o 3 dB mniejszym od maksymalnej amplitudy.

Tablica 1

Charakterystyka próbek i wartości dynamicznych własności betonu

Rodzaj betonu	Lp.	Średnica	Wysokość	Ciężar	Gęstość pozorną ρ	Częstotliwości rezonansowe		Dyn. współczynnik Poisaona μ_d	Dyn. moduł spręż. E_d	Log. dekr. tłumienia drgań δ
		d [mm]	h [mm]			G [N]	ρ [kN/m ³]			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Beton lekki - żupkoporytowy	1	160	29	9,68	16,70	3791	3790	0,18	20000	~0,1
	2	160	30	9,72	16,20	2020	2924	0,16	5500	
	3	160	27	8,91	16,50	1978	2958	0,16	6600	
	4	160	30	9,75	16,30	3787	3291	0,17	19700	
	5	150	25	6,75	15,30	2454	2095	0,33	8700	
	6	150	20	6,07	17,70	2092	3365	0,26	10300	
	7	150	20	6,53	19,00	3686	2679	0,16	32300	
	8	150	20	6,02	17,50	2086	3234	0,22	10100	
	9	150	22	6,73	17,30	1685	3125	0,23	5400	
	10	150	22	6,86	17,60	3587	2751	0,20	24600	
	11	150	19	6,23	18,50	1712	4974	0,12	7500	
	12	160	30	9,86	16,40	2761	1847	0,17	10400	
	13	160	30	9,91	16,50	2560	1790	0,26	9500	
	14	160	26	8,55	16,40	2280	3500	0,25	9700	
	15	160	34	11,03	16,20	2544	4291	0,33	8300	
	16	160	32	11,18	17,40	2490	4242	0,36	9500	
	17	160	32	11,04	17,30	2166	3193	0,20	6100	
	18	160	30	10,31	16,70	2035	3623	0,16	5700	
	19	160	31	11,00	17,70	2556	2931	0,14	9100	
	20	160	33	12,75	19,30	4654	2526	0,29	32600	
	21	160	32	12,38	19,30	2100	3012	0,15	6600	
	22	160	35	12,57	17,90	1719	2768	0,29	3900	
	23	160	34	11,85	17,40	1875	1028	0,16	4100	
	24	160	29	10,30	17,70	2988	3715	0,26	14000	
Beton zwykły - żwirowy	25	160	28	13,58	24,20	4200	3059	0,16	40500	~0,2
	26	160	27	13,00	24,10	3925	2755	0,12	37000	
	27	160	27	13,50	25,00	3424	2285	0,19	30800	
	28	160	32	15,60	24,40	2332	1384	0,17	9700	
	29	160	30	14,72	24,50	2825	2671	0,16	16200	
	30	160	30	14,45	24,00	4743	3051	0,16	44500	
	31	160	29	14,20	24,50	2955	2449	0,23	19300	

4. Dynamiczne własności betonu

Spśród wielu dynamicznych własności betonu, elastometrem ER-3 zbadano następujące:

- dynamiczny współczynnik Poissona - μ_d ,
- dynamiczny moduł sprężystości podłużnej - E_d ,
- tłumienie materiałowe - δ .

Badano beton zwykły - żwirowy oraz beton lekki - żupkoporytowy o wytrzymałości na ściskanie - $R_w = 30 \text{ MN/m}^2$.

Wyniki badań zestawiono w tablicy 1.

Po statystycznym opracowaniu wyników, przy poziomie prawdopodobieństwa $\alpha = 0,05$ otrzymano wyniki zestawione w tablicy 2.

Tablica 2

Zestawienie wyników badań

Badana cecha Rodzaj betonu	μ_d	E_d [MN/m ²]	δ
Zwykły - żwirowy	0,18	28300	~0,2
Lekki - żupkoporytowy	0,22	12500	~0,1

5. Analiza wyników badań

Wartość dynamicznego współczynnika Poissona betonu zwykłego - $\mu_d = 0,18$ jest prawie równa wartości współczynnika Poissona - $\mu = 1/6 \approx 0,16$ podawanej w piśmiennictwie dla betonu obciążonego statycznie.

Dynamiczny współczynnik Poissona betonu żupkoporytowego - $\mu_d = 0,22$ jest również bliski wartości współczynnika Poissona badanego statycznie, którą Pudlik w pracy [8] określił jako równą:

$$\mu = 0,16 \pm 0,30, \quad (\mu_{\delta r} = 0,23)$$

a Mames w pracy [4]:

$$\mu = 0,19 \text{ i } 0,24, \quad (\mu_{\delta r} = 0,22)$$

dla betonu w wieku 28÷90 dni.

W porównaniu z wartościami dynamicznego współczynnika Poissona otrzymanymi innymi metodami dla tego samego betonu w wieku 2 lat, podanymi przez autora w pracach [9] i [10], równymi:

$$\mu_d = 0,16; 0,20; 0,32; \quad (\mu_{d \text{ 6r}} = 0,23),$$

otrzymana obecnie wartość μ_d jest tylko nieznacznie niższa. Jest to zgodne ze zmianą wartości dynamicznego współczynnika Poissona w czasie podaną hipotetycznie przez Ansona i Newmana w pracy [1]. Według [1] wartość dynamicznego współczynnika Poissona z czasem maleje, natomiast wartość statycznego współczynnika Poissona rośnie, przy czym obydwie wartości dążą asymptotycznie do wspólnej wartości. Dotychczasowe badania autora potwierdzają hipotezę podaną przez autorów pracy [1].

6. Wnioski

1. Elastometr rezonansowy ER-3 może być wykorzystywany do badania dynamicznych własności betonu, choć metodyka badań jest dość uciążliwa, a wyniki niezbyt jednoznaczne.
2. Wartości dynamicznych własności betonów uzyskana w trakcie badań są bliskie odpowiednim wartościom uzyskiwana w badaniach innymi metodami.

LITERATURA

- [1] Anson B.A., Newman K.: The affect of mix proportions and method of testing on Poisson's ratio for mortars and concretes. Magazine of Concrete Research, Vol. 18, No 56, 9/1966.
- [2] Filipczyński L.- Pawłowski Z., Wehr J.: Ultradźwiękowe metody badania materiałów PWT, Warszawa 1959.
- [3] Instrukcje obsługi - Elastometr rezonansowy, typ ER-3. Instytut Podstawowych Problemów Techniki, PAN, Warszawa 1969.
- [4] Mamec J.: Praca elementów sprężonych z betonu żupkoporytowego. Archiwum Inżynierii Lądowej, PAN, Warszawa 1967.
- [5] Martinček G.: Nedestruktyvne dynamicke metody skusania stavebných materialov. Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied-Bratislava, 1972.
- [6] Martinček G.: The determination of Poisson's ratio and the dynamic modulus of elasticity from the frequencies of natural vibration in thick circular plates. Journal Sound Vibration, No 2/1965.
- [7] Ryll-Nardzewski J.: Elastometr rezonansowy, zestaw pomiarowy do badania stałych sprężystości. Pomiar, Automatyka, Kontrola, Zeszyt 5/1969.
- [8] Pudlik R.: Podstawowe własności mechaniczno-reologiczne betonu z agloporytu żupkowego. Rozprawa doktorska, Gliwice 1965.
- [9] Węgrzyn M.: Cechy dynamiczne i tłumienie żupkoporytobetonu. Materiały XVI Konferencji Naukowej KJL PAN i KN PZITB, Krynica 1970.
- [10] Węgrzyn M.: Cechy dynamiczne i drgania elementów żupkoporytobetonowych, Rozprawa doktorska, Gliwice 1971.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА РЕЗОНАНСНЫМ ЭЛАСТОМЕТРОМ

Р е з ю м е

В статье рассматривается способ исследования постоянных упругостей бетона, неразрушающим ультразвуковым методом при помощи резонансного эластометра. Полученные результаты не отличаются от результатов, полученных другими методами разрушающими и неразрушающими.

DETERMINATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF CONCRETE BY MEANS
OF A RESONANCE ELASTOMETER

S u m m a r y

The paper discusses the investigation of elastic constants of concrete by means of a non-destructive ultrasonic method, using a resonance elastometer. The obtained results coincide with the results obtained when applying other methods, both non-destructive and destructive ones.