

Mieczysław Węgrzyn

**BADANIA METODĄ ULTRADŹWIĘKOWĄ DYNAMICZNEGO MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI
W PROCESIE STARZENIA PEWNYCH RODZAJÓW POLIMEROBETONÓW**

Streszczenie: W pracy opisano sposób badania zmian własności betonów polimerowych podczas procesu starzenia, zachodzącego w warunkach naturalnych oraz podczas starzenia przyspieszonego. Badania te przeprowadzono nieniszczącą metodą ultradźwiękową.

1. Wstęp

Zjawisko starzenia, które jest charakterystyczne dla tworzyw sztucznych, wymaga określenia zmian własności materiału w czasie, podobnie jak inne zjawiska reologiczne. Zjawisko to występuje w betonach polimerowych, w których rolę spoiwa spełniają żywice. Proces starzenia można obserwować zarówno w warunkach naturalnych, jak i podczas starzenia przyspieszonego.

Badanie procesu starzenia metodami niszczącymi wymaga dużej liczby próbek, nie dając przy tym możliwości obserwowania tych samych próbek, co w tym przypadku posiada istotne znaczenie. Wady te eliminuje się, stosując nieniszczące metody badań. Do badania procesu starzenia betonów polimerowych zastosowano nieniszczącą metodę ultradźwiękową.

2. Opis metody

W procesie starzenia zmianie ulegają między innymi następujące własności polimerobetonów:

- wytrzymałość,
- moduł sprężystości,
- współczynnik Poissona.

Do określenia ww własności oraz śledzenia ich zmian w czasie, najodpowiedniejsza okazała się metoda nieniszcząca, polegająca na wykorzystaniu zależności między stałymi sprężystości materiału, a prędkością rozchodzenia się fal ultradźwiękowych.

Prędkość fal ultradźwiękowych określono techniką impulsową, przy pomocy betonoskopu, mierząc czas przejścia fali ultradźwiękowej przez próbki polimerobetonu. Czas przejścia fali ultradźwiękowej określono z dokładnością do 1μ , natomiast drogę fali - długość próbki z dokładnością do 1 mm.

Badania nieniszczące przeprowadzono na próbkach używanych jednocześnie w badaniach przeprowadzanych metodami niszczącymi. Pozwoliło to na korelację i porównanie wyników otrzymanych tymi dwoma metodami.

Próbki do badań wykonano w postaci beleczek o wymiarach $4 \times 4 \times 16$ cm słupków o wymiarach $10 \times 10 \times 35$ cm, walców o wymiarach $h = d = 8$ cm oraz prętów o wymiarach $3 \times 3 \times 16$ cm.

Badaniom poddano następujące rodzaje polimerobetonów:

- epoksydowo-piaskowy ($\frac{z}{k} = 0,24$),
- poliestrowo-piaskowy ($\frac{z}{k} = 0,18$),
- fenolowo-piaskowy ($\frac{z}{k} = 0,24$).

Wyniki przeprowadzonych pomiarów wykorzystano do określenia wartości modułów sprężystości oraz współczynników Poissona polimerobetonów.

Moduł sprężystości betonów polimerowych obliczano z wzoru:

$$E = \rho v^2 \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (1)$$

w którym:

ρ - gęstość betonu polimerowego,

v - prędkość ultradźwiękowych fal podłużnych,

μ - współczynnik Poissona.

Do obliczenia współczynnika Poissona betonów polimerowych wykorzystano wzór

$$\mu = \frac{1 - b + \sqrt{(b - 1)(9b - 1)}}{4b} \quad (2)$$

w którym:

$$b = \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^2,$$

V_0, V_1 - prędkości rozchodzenia się ultradźwiękowych fal podłużnych o częstotliwościach odpowiednio 40 i 500 kHz;

przy czym próbki spełniały następujące warunki określone w pracy [5]:

$$\begin{aligned} \lambda_0 &\geq 3d, \\ \lambda_1 &\leq 0,3d, \\ \frac{l}{d} &\geq 5, \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

λ_0, λ_1 - długości fal ultradźwiękowych o częstotliwościach odpowiednio 40 i 500 kHz,

d - średnica lub bok próbki,

l - długość próbki.

Moduł sprężystości i współczynnik Poissona betonów polimerowych określany nieniszczącą metodą ultradźwiękową, zgodnie z pracami [1], [3] [4], można przyjąć za miarę dynamicznego modułu sprężystości i dynamicznego współczynnika Poissona tych betonów.

W pracy nie określono wytrzymałości betonów polimerowych metodą nieniszczącą, z uwagi na niedostateczną liczbę próbek, potrzebną do statystycznego opracowania wyników i ustalenia krzywej regresji skalowania betonoskopu. Będzie to możliwe po zgromadzeniu większej liczby wyników badań.

Na podstawie wyników badań opisanych w pracy [2] wykonanych metodą niszczącą, można określić wytrzymałość (po 28 dniach) omawianych tutaj betonów:

epoksydowo-piaskowych $R_w = 700 \text{ kg/cm}^2$ (z wygrzewaniem $R=1100 \text{ kg/cm}^2$)

poliestrowo-piaskowych $R_w = 800 \text{ kg/cm}^2$,

fenolowo-piaskowych $R_w = 300 \text{ kg/cm}^2$.

3. Starzenie w warunkach naturalnych

Próbki z betonu polimerowego do badania procesu starzenia w warunkach naturalnych przechowywano w laboratorium - próbki oznaczone symbolem WL, a część próbek poddano działaniu czynników atmosferycznych (na dachu budynku Wydziału Budownictwa i Architektury w Gliwicach ul. Katowicka nr 5) - próbki oznaczone symbolem WA.

Badania przeprowadzono na próbkach w wieku 3; 7; 14; 28; 60; 90; 120; 150; 180; 210; 270; 300; 330; i 360 dni.

Wartości modułów sprężystości betonów polimerowych obliczano jako średnią arytmetyczną z pomiaru wszystkich próbek w danym dniu. Możliwość odrzucenia wartości skrajnych sprawdzano testem rozstępu Dixona, Zestawienie wartości modułów sprężystości betonów polimerowych w zależności od wieku podano w tablicy 1, a ich ilustrację graficzną na rys.1.

4. Starzenie przyspieszone

Próbki do badania przyspieszonego procesu starzenia umieszczono w komorze klimatycznej - próbki oznaczone symbolem SP, a próbki porównawcze w laboratorium.

W komorze klimatycznej próbki poddano 30 cyklom dobowym, przyjmując opracowaną przez T. Hopa w pracy [2] następującą charakterystykę cyklu:

- 12 godzin moczenia w wodzie o temperaturze $18 \pm 20^{\circ}\text{C}$,
- 3 godziny przebywania w zamrażarce w temperaturze $- 20^{\circ}\text{C}$
- 3 godziny przebywania w komorze klimatycznej o temperaturze $+60^{\circ}\text{C}$
- 6 godzin naświetlania promieniami ultrafioletowymi i podczerwonymi.

Badania przeprowadzono na próbkach w wieku 7; 13; 19; 31 i 37 dni.

Wartości modułów sprężystości betonów polimerowych obliczono tak samo jak dla starzenia w warunkach naturalnych. Zestawienie wartości modułów sprężystości betonów polimerowych poddanych przyspieszonemu starzeniu znajduje się w tablicy 2, a ich ilustracja graficzna na rys. 2.

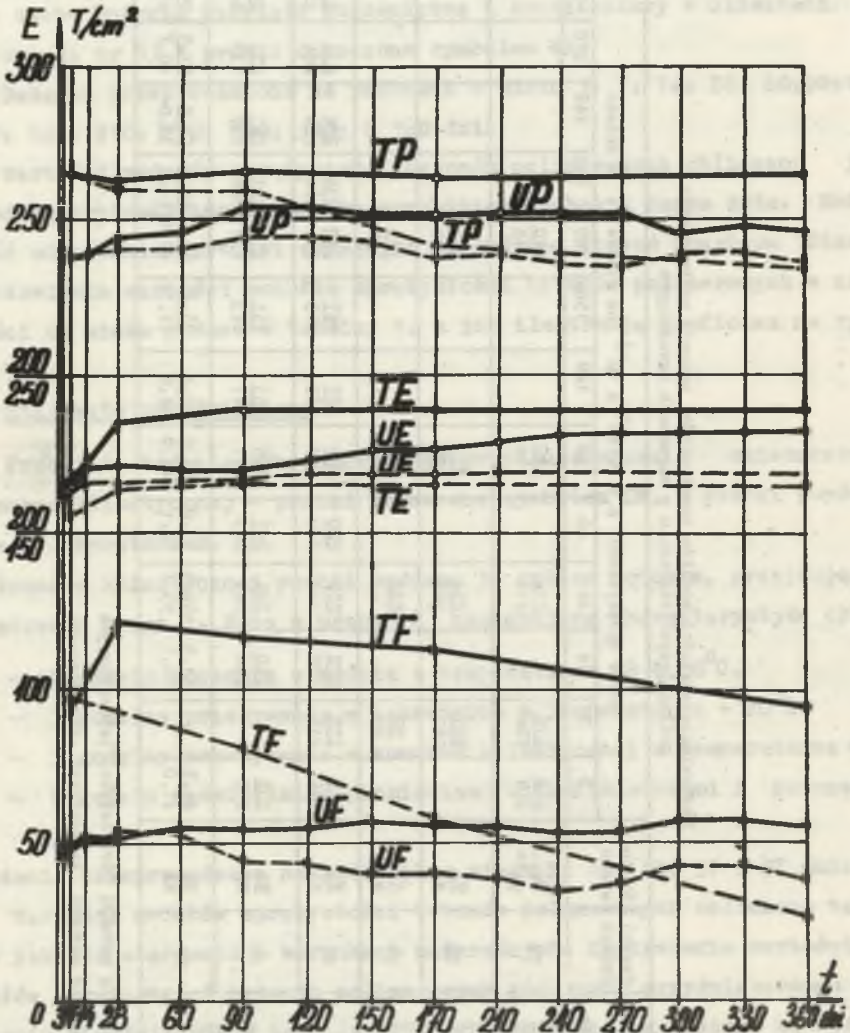
Tablice 1

Zestawienie wartości modułów sprężystości betonów polimerowych podlegających starzeniu w warunkach naturalnych

Rodzaj polimerobetonu	Sposób utwardzania	Symbol próbek	Środowisko	Moduł sprężystości E w $\text{kg/cm}^2 \times 10^{-3}$ po czasie t w dniach															
				3	7	14	28	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
Epoksydowo-piaskowy	Utwardzanie chemiczno-termiczne	TE	WL ^x WA	218	218	210	216		240	240		240	218					240	218
				204	204														
Poliestrowo-piaskowy	Utwardzanie chemiczno-termiczne	TP	WL WA		267	264	262		261	258		264	239				265	235	
					267	267													
Fenolowo-piaskowy	Utwardzanie chemiczno-termiczne	TP	WL WA	92	92	122	-		116	80		113	57				94	27	
				97	97														
Epoksydowo-piaskowy	Utwardzanie chemiczne	UE	WL WA	218	218	222	220	220	224	220	227	227	230	224	234	234	234	234	224
				215	215	220	220	220	220	223	223	224	224	224	224	224	224	224	224
Poliestrowo-piaskowy	Utwardzanie chemiczne	UP	WL WA	239	240	245	243	247	256	253	251	251	251	251	251	251	247	247	247
				239	240	243	243	247	247	243	243	240	240	237	237	240	241	241	237
Fenolowo-piaskowy	Utwardzanie chemiczne	UF	WL WA	48,5	51,5	52,3	53,4	53,0	53,0	53,4	55,2	54,3	54,3	54,8	51,0	55,5	55,5	52,3	40,7
				47,0	50,1	53,4	52,1	44,0	44,0	42,3	42,9	41,3	38,0	45,6	45,6	45,6	40,7	40,7	

x) Symbol WL oznacza warunki (środowisko) laboratoryjne

xxx) Symbol WA oznacza warunki (środowisko) atmosferyczne



Rys. 1. Zmiany wartości modułów sprężystości betonów polimerowych podlegających starzeniu w warunkach naturalnych

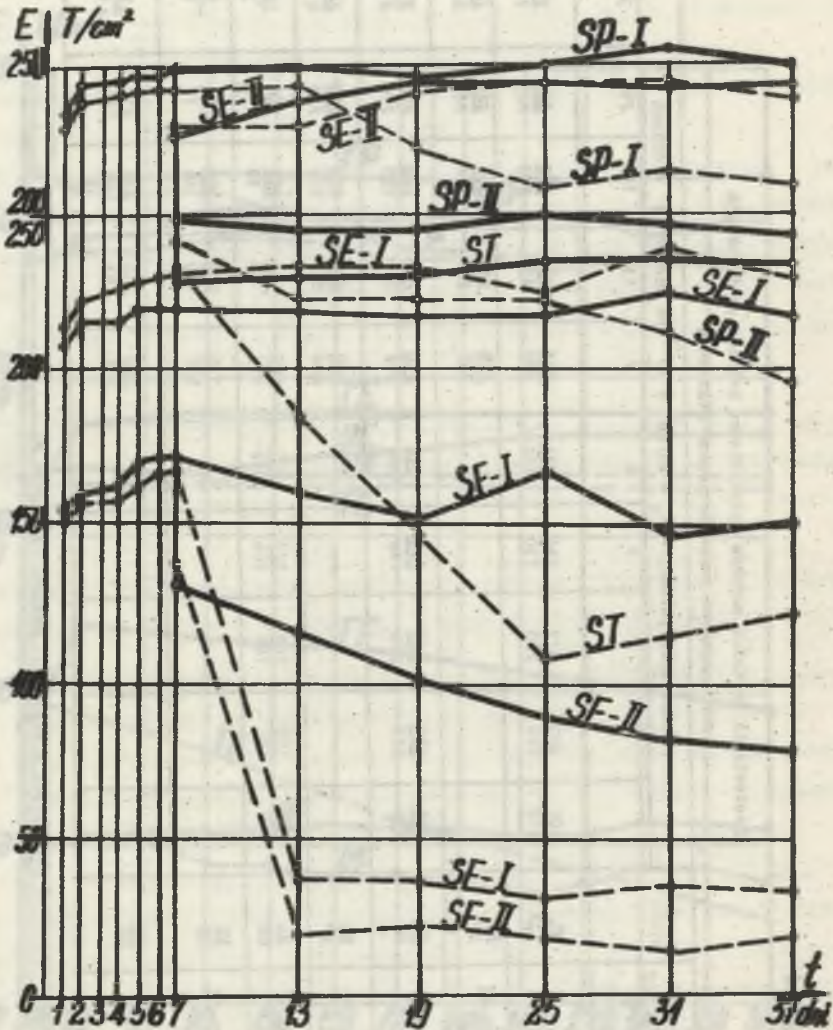
- próbki przebywające w warunkach - WL
 - - próbki przebywające w warunkach - WA

Tabela 2

Zestawienie wartości modułów sprężystości betonów polimerowych
podlegających przyspieszonymu starzeniu

Rodzaj polimerobetonu	Symbol i numer serii próbek	Środowisko	Moduł sprężystości - E_d w $\text{kg/cm}^2 \times 10^{-3}$ po czasie t w dniach												
			1	2	4	5	6	7	13	19	25	31	37		
Epoksydowo-piaskowy	SE-I	WL-SP-X	207 212	217 224	217 228	224 230	224 232	224 232	224 234	222 233	224 225	228 238	224 233		
	SE-II	WL-SP						229 230	240 231	246 244	246 246	244 246	244 240		
Poliestrowo-piaskowy (Polim. 109)	SP-I	WL-SP	234 230	242 243	242 244	248 244	248 245	250 244	250 245	248 225	250 211	252 218	250 211		
	SP-II	WL-SP						250 244	248 223	248 224	250 224	248 215	242 194		
Fenolowo-piaskowy	SP-I	WL-SP	152 150	160 156	164 161	172 166	172 172	175 173	164 39	152 39	166 30	148 36	152 35		
	SP-II	WL-SP						130 137	117 20	102 24	92 17	84 14	79 18		
Poliestrowo-piaskowy (Polim. 140)	SP-I	WL-SP						228 234	231 183	232 148	238 109	238 118	236 123		

x) Do 7 dni wszystkie próbki przebywały w warunkach laboratoryjnych - WL



Rys. 2. Zmiany wartości modułów sprężystości betonów polimerowych podlegających starzeniu przyśpieszonemu

- próbki przebywające w warunkach - WL
 -- próbki przebywające w warunkach - SP

Wartości modułów sprężystości betonów polimerowych podlegających procesowi starzenia w warunkach naturalnych jak i przyspieszonemu starzeniu obliczono przyjmując wartość współczynnika Poissona $\mu = 0,15$. Wartość tę otrzymano dla betonu poliestrowo-piaskowego i epoksydowo-piaskowego. Dla betonu fenolowo-piaskowego nie można było określić wartości współczynnika Poissona przy użyciu betonoskopu, a innymi urządzeniami nie dysponowano wtedy. W tej sytuacji dla betonu fenolowo-piaskowego przyjęto wartość współczynnika Poissona taką jak w pozostałych betonach polimerowych.

5. Porównanie wyników badań uzyskanych metodami: niszcząca i nieniszcząca

Wartości modułów sprężystości (odkształcalności) betonów polimerowych zawarte w pracy [2], uzyskane z pomiaru odkształceń beleczek (badanych tutaj jako słupki) przy użyciu tensometrów oporowych oraz z pomiaru odkształceń słupków tensometrem przykładanym T-200, są niższe od wartości modułów sprężystości betonów polimerowych otrzymanych metodą nieniszcząca, podanych w niniejszym opracowaniu.

Dla betonów epoksydowo-piaskowych i poliestrowo-piaskowych wartości modułów sprężystości są niższe o około 20%, natomiast dla betonów fenolowo-piaskowych o około 50% w wieku betonów równym 28 dni.

Różnica ta wynika z samej istoty mierzonych własności betonu, gdyż mimo podobnego charakteru mierzone są różne własności materiału. Moduł sprężystości betonu określany metodą ultradźwiękową, jest miarą dynamicznego modułu sprężystości i tak jest w niektórych pracach nazywany np. w pracy [4]

6. Wnioski

1. Nieniszcząca metoda ultradźwiękowa może być z powodzeniem stosowana do określania własności betonów polimerowych i ich zmian zachodzących w procesie starzenia.
2. Uzyskane wyniki wskazują, że w betonach epoksydowo-piaskowych i poliestrowo-piaskowych zjawiska starzenia występują w znikomym stop-

niu i tym samym nie obniżają ich własności mechanicznych, natomiast betony fenolowo-piaskowe ulegają w dużym stopniu procesowi starzenia, który obniża ich przydatność do konstrukcji budowlanych.

LITERATURA

1. Filipczyński L., Pawłowski Z., Wehr J.: Ultradźwiękowe metody badania materiałów. PWT, Warszawa 1959.
2. Hop T., Maćkowski R., Węgrzyn M.: Naturalne i przyspieszone starzenie zapraw i betonów polimerowych. Sprawozdanie z badań, Politechnika Śląska, Gliwice 1970.
3. Martincek G.: Nedestruktivne dynamické metody skusania stavebných materiálov. Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie. Vied. - Bratislava, 1962.
4. Olszak W., Kaufman S., Eimer Cz., Bychawski Z.: Teoria konstrukcji sprężonych. PWN, Warszawa 1963.
5. Uržumcew Ju.S, Spincis J.A.: K projektu gosudarstwiennogo standarta na opriedielenie dinamiczeskogo moduła uprugosti, moduła zdwiga, koefficienta Puassona i koefficientow zatuchanija ultrazwuka impulsnym ultrazwukowym metodom. Issledowanije po bietonu i železobietonu. Sbornik statiej nr VII. Isdatielstwo Akademii Nauk Łatwiskoj SSR, Riga, 1963.

**ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ
В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПОЛИМЕРОВЫХ БЕТОНОВ****Р е з ю м е**

В работе описан метод исследования изменений свойств полимерных бетонов во время процесса старения, происходящего в естественных условиях, а также во время ускоренного старения. Эти исследования были проведены при помощи неразрушающего ультразвукового метода.

**TESTING BY THE ULTRASONIC METHOD OF THE DYNAMIC
ELASTICITY MODULE IN THE PROCESS OF AGING OF CERTAIN
KINDS OF POLIMERIC CONCRETES****S u m m a r y**

In the paper the ways of investigation of polymer concretes properties changes during the process of aging taking place in natural conditions and in accelerated aging, have been given. These investigations have been carried out by means of a non-destructive ultra-sonic method.