ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: BUDOWNICTWO z. 25 Nr kol. 264

Jan Mikoś

MODUŁ POROWATOŚCI JAKO WYZNACZNIK WYTRZYMAŁOŚCI BETONÓW KRUSZYWOWYCH

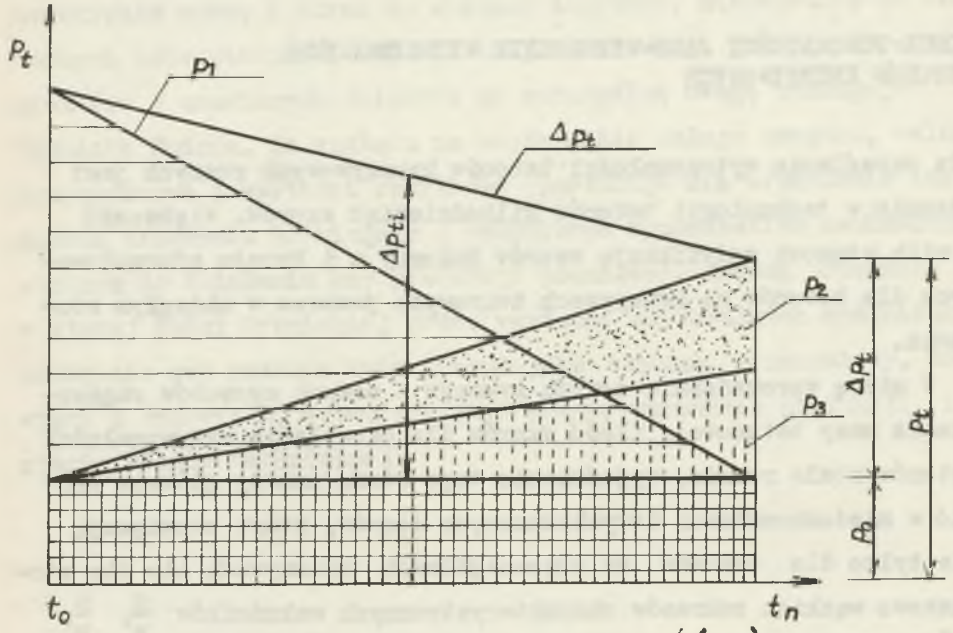
Dla określenia wytrzymałości betonów kruszywowych znanych jest obecnie w technologii betonów kilkadziesiąt wzorów. Większość z nich stanowi modyfikację wzorów Bolomey'a i Fereta sformułowanych dla betonów na kruszywach żwirowych jeszcze w ubiegłym stuleciu.

W miarę wprowadzania nowych kruszyw i nowych sposobów zagęszczania masy betonowej, ilość wzorów dla określania wytrzymałości betonów stale rośnie. Wyjaśnienia tego stanu należy głównie szukać w niedoskonałości dotychczasowych wzorów, które obowiązują nie tylko dla betonów na poszczególnych kruszywach ale dla stosunkowo wązkich zakresów charakterystycznych wskaźników $\frac{c}{w}$, $\frac{c}{p}$, $\frac{c}{w+p}$ lub innych.

Określenie wytrzymałości np. w oparciu o wzory Bolomey'a w betonach żwirowych obarczone jest dużymi błędami w niektórych przypadkach (w betonach wyższych marek i betonach źle uziarnionych) błąd ten dochodzi nieraz do 100%. Wskaźnik $\frac{c}{w}$ ponadto nie jest użyteczny dla określania wytrzymałości betonów lekkich na kruszywach porowatych, lepszy jest wskaźnik $\frac{c}{p}$.
Ważność wzorów z tym wskaźnikiem również jest ograniczona.
Wzory te zostały ustalone w większości przypadków na drodze statystycznej i stanowią regresyjne modele wytrzymałości betonów w postaci równań regresji jednokrotnej $R_w = ax + b$ i wielokrotnej

$$R_w = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \ldots\ldots a_n x_n + b.$$

Na podstawie analizy dotychczasowych oraz prowadzonych własnych badań podjęto próbę znalezienia uogólnionego wyznacznika wytrzymałości betonów. Zauważono że wspólnym mianownikiem wszystkich betonów jest ich porowatość, a ich wyróżnikiem jest jej struktura.



Rys. 1. Zmiana porowatości w czasie (Δp_t)

Dla dokładniejszej analizy własności stwardniałego betonu nie wystarcza znajomość końcowej porowatości p_t lub całkowitego przyrostu objętości por Δp_t, ale potrzebna jest znajomość kształtowania się stosunków objętości por różnych rodzajów w poszczególnych fazach przemian betonu. Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń najsilniej na własności zaczynów i betonów wpływa objętość por kapilarnych p_1. W miarę ich wzrostu pogarszają się wszystkie podstawowe cechy betonu tj. wytrzymałość, mrozoodporność, chemoodporność, żaroodporność itd. Natomiast w miarę jak maleje porowatość kapilarna p_1 rośnie porowatość żelu p_2 i porowatość kontrakcyjna p_3 (rys. 1) i wówczas podstawowe cechy wyraźnie się poprawiają.

Znaczny też wpływ na własności betonów ma porowatość masy betonowej (wyjściowa) p_o, która w głównej mierze zależy od składu, sposobu i intensywności jej zagęszczania.

Stosunek więc sumy objętości por żelu p_2 i objętości por kontrakcyjnych p_3 do przyrostu całkowitej objętości por w betonie w czasie jego wiązania i twardnienia nazwano współczynnikiem struktury porowatości betonu

$$\varepsilon_p = \frac{p_2 + p_3}{p_t} = \frac{p_2 + p_3}{p_o + p_1 + p_2 + p_3} \qquad (1)$$

Współczynnik ε_p jest wartością nie mianowaną i zmienia się w przedziale od 0÷1 $\varepsilon_p = 1$ gdy $p_o = 0$ i $p_1 = 0$. Wartość $p_1 = 0$ następuje wówczas gdy zaszła pełna hydratacja cementu, a pory kapilarne p_1 zajęte zostały przez pory kontrakcyjne p_2 i pory żelu p_3. Wartość $p_o = 0$ występuje wówczas gdy masa betonowa jest zupełnie szczelna.

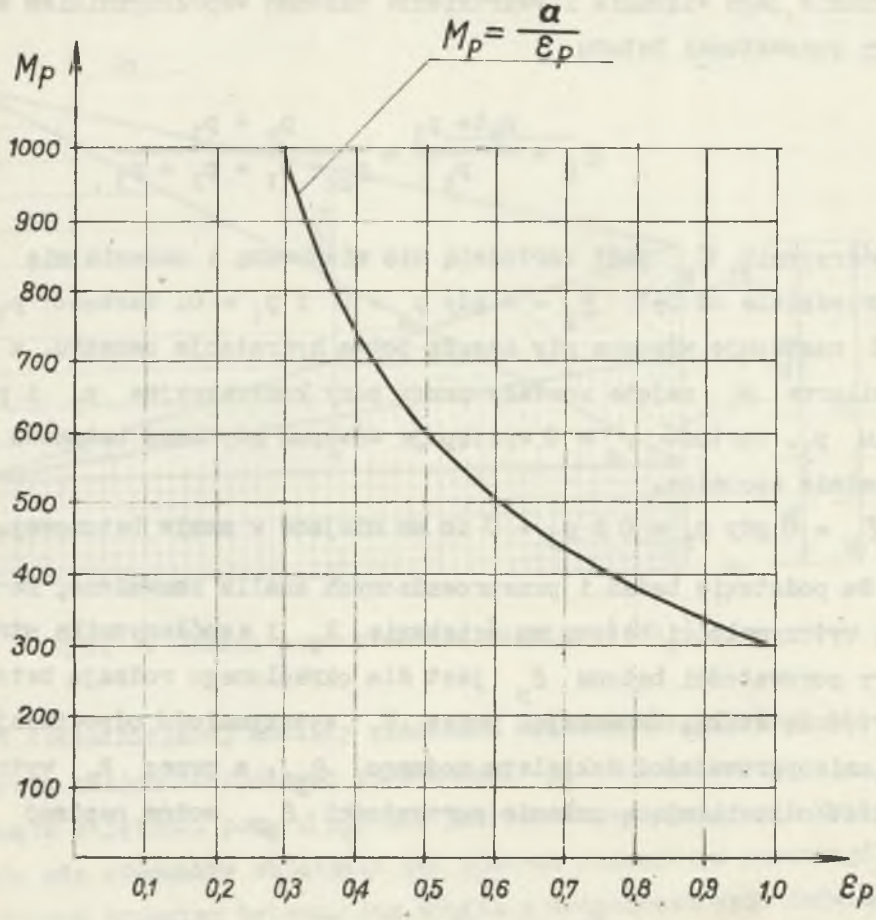
$\varepsilon_p = 0$ gdy $p_2 = 0$ i $p_3 = 0$ co ma miejsce w masie betonowej.

Na podstawie badań i przeprowadzonych analiz zauważono, że iloraz wytrzymałości betonu na ściskanie R_w i współczynnika struktury porowatości betonu ε_p jest dla określonego rodzaju betonu wartością stałą. Oznaczając przez R_1 wytrzymałość odpowiadającą zmianie porowatości szkieletu nośnego ε_{p1}, a przez R_2 wytrzymałość odpowiadającą zmianie porowatości ε_{p2} można napisać

$$\frac{R_1}{\varepsilon_{p1}} = \frac{R_2}{\varepsilon_{p2}} = \text{const.} \qquad (2)$$

Wartość tę zaproponowano nazwać modułem porowatości betonu M_p i wyrażono ją w kG/cm^2. M_p wyraża wytrzymałość jaką uzyskuje beton przy pełnej hydratacji cementu.

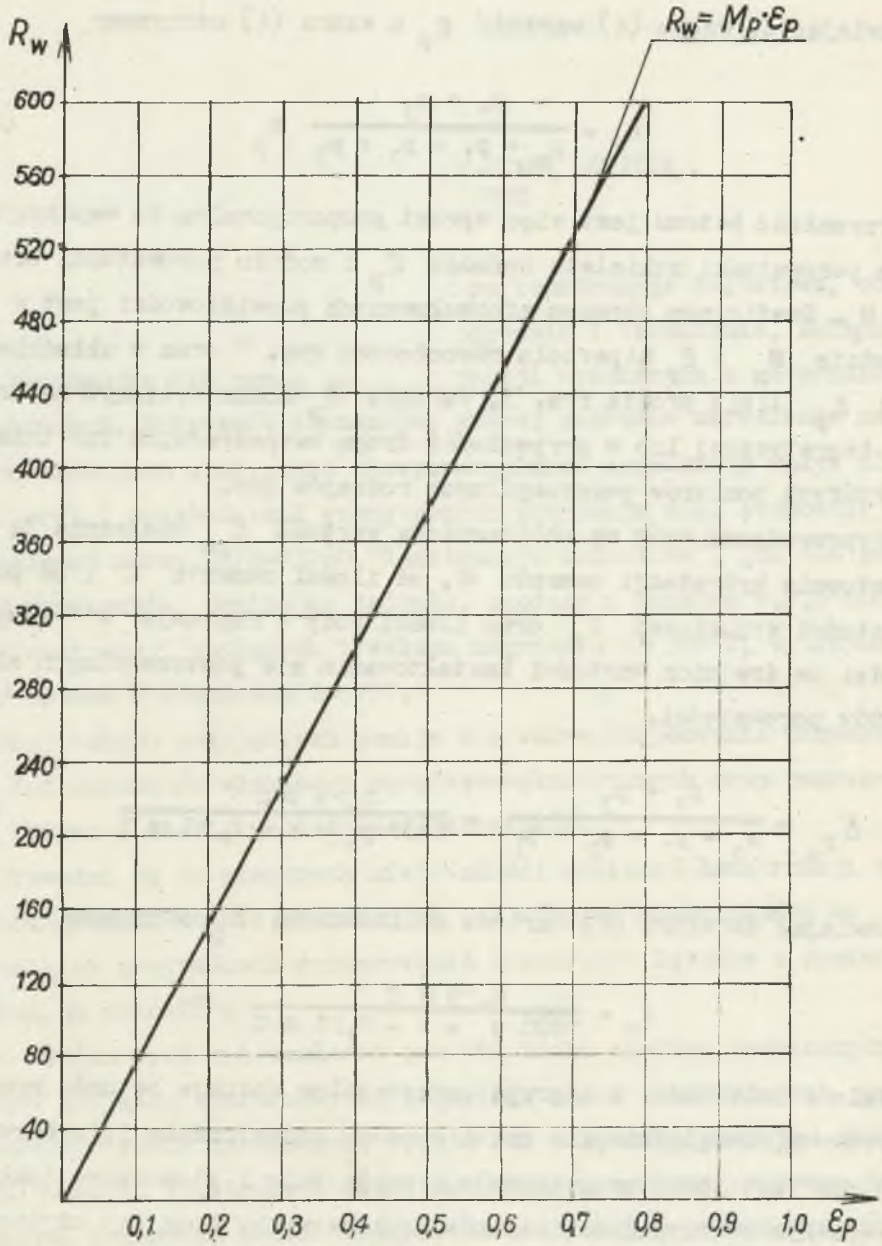
$$M_p = \frac{R_w}{\varepsilon_p} \quad \ldots\ldots \quad (kG/cm^2) \tag{3}$$



Rys. 2. Związek pomiędzy modułem i współczynnikiem porowatości betonu

stąd

$$R_w = \varepsilon_p M_p \quad (kG/cm^2) \tag{4}$$



Rys. 3. Zależność wytrzymałości betonu od współczynnika porowatości

Wstawiając do wzoru (4) wartość ε_p z wzoru (1) otrzymamy

$$R_w = \frac{p_2 + p_3}{p_o + p_1 + p_2 + p_3} M_p \qquad (4')$$

Wytrzymałość betonu jest więc wprost proporcjonalna do współczynnika porowatości szkieletu nośnego ε_p i modułu porowatości betonu M_p. Graficznym obrazem sformułowanych prawidłowości jest w układzie M_p i ε_p hiperbola równoboczna rys. 2 oraz w układzie R_w i ε_p linia prosta rys. 3. Wartość ε_p można wyliczyć na drodze teoretycznej lub w przyszłości drogą bezpośrednich lub tylko niektórych pomiarów poszczególnych rodzajów por.

Wyprowadzony wzór na obliczeniową wartość ε_{po} uzależnia ją od stopnia hydratacji cementu α, od ilości cementu C i od porowatości wyjściowej P_o oraz ilości wody w zaprawie W i wychodzi ze średnich wartości kształtowania się poszczególnych elementów porowatości.

$$\varepsilon_{p_o} = \frac{p_2 + p_3}{p_o + p_1 + p_2 + p_3} = \frac{0{,}29\ \alpha C}{1000\ p_o + W - 0{,}21\ \alpha C} \qquad (5)$$

Wstawiając do wzoru (4) wartość obliczeniową ε_p otrzymamy

$$R_w = \frac{0{,}29\ \alpha C}{1000\ p_o + W - 0{,}21\ \alpha C} \cdot M_p \qquad (6)$$

Ustalone zależności integrują poszczególne rodzaje betonów kruszywowych, uwzględniają w pełni sposób zagęszczania i dojrzewania masy betonowej oraz zezwalają na szybkie i stosunkowo dokładne określenia wytrzymałości betonów kruszywowych. Mogą być użyteczne w projektowaniu betonów i technologii ich wykonania.

W referacie podane zostaną dane obliczeniowe, doświadczalne i kształtowanie się wielkości ε_p i M_p dla niektórych rodzajów betonów.