

2.7. Przykład projektowania optymalnego układu ziaren kruszywa w betonie konstrukcyjnym

Jako kryterium najszczelniejszego układu ziaren kruszywa w betonie przyjęto zależność (2.6). Z rysunku 2.2 oraz wyrażenia (2.7) wynika, iż kryterium to spełnia kompozycja kruszywa, w której objętość piasku jest równa objętości odpowiadającej przestrzeni jam żwiru $V_{p1} = j_z V_z$.

Do betonu zostanie zastosowana kompozycja utworzona z mieszanki żwiru otoczkowego i piasku naturalnego. Charakterystyki granulometryczne poszczególnych składników kompozycji kruszywa zestawiono w tabeli 2.1, kolumny 2 i 3. Gęstość objętościowa ziaren piasku $\rho_p = 2,65 \text{ kg/dm}^3$, a żwiru $\rho_z = 2,65 \text{ kg/m}^3$. W kompozycji stosu okrucowego zostały zastosowane następujące kruszywa:

– żwir charakteryzujący się jamistością w stanie zagęszczonym

$$j_z = 1 - \frac{\rho_{nz}}{\rho_z} = 1 - \frac{1,78}{2,65} = 0,33,$$

– piasek o jamistości

$$j_p = 1 - \frac{\rho_{pz}}{\rho_p} = 1 - \frac{1,82}{2,65} = 0,31.$$

Tabela 2.1. Wyniki pierwszej iteracji w procedurze doboru najszczelniejszego układu ziaren kruszywa w betonie konstrukcyjnym

Fracja [mm]	Procentowy udział frakcji składników stosu okrucowego [%]		Udział frakcji w 1 m ³ kompozycji mieszanki o składzie: $m_p = 600 \text{ kg}$, $m_z = 1780 \text{ kg}$
	piasek $\rho_{np} = 1820 \text{ kg/m}^3$	żwir $\rho_{nz} = 1780 \text{ kg/m}^3$	
1	2	3	4
0,0÷0,5	17	0	4,3
0,5÷1	36	0	9,1
1÷2	47	0	11,8
2÷4	0	16	12,0
4÷8	0	30	22,4
8÷16	0	54	40,4
$\sum p_{ik}$	100%	100%	100%
S_k	$S_p = 0,69$	$S_z = 0,67$	$S_{kb} = 0,90$

Maksymalną szczelność układu ziaren kruszywa w mieszance betonowej uzyskuje się, dodając do objętości żwiru o $V_{z1} = 1 \text{ m}^3$ piasku w ilości $V_{p1} = j_z V_z = 0,33 \cdot 1,00 \text{ m}^3$. W pierwszym przybliżeniu masa żwiru jest równa $m_z = 1,00 \rho_{nz} = 1,00 \cdot 1780 \text{ kg}$, a piasku dodanego do żwiru,

$$m_p = 0,33 \rho_{np} = 0,33 \cdot 1820 = 600 \text{ kg}.$$

Gęstość objętościowa tak skomponowanej mieszanki kruszywa jest równa

$$\rho_{nk1} = 1,00 \rho_{nz} + j_z \rho_{np} = 1 \cdot 1780 + 0,33 \cdot 1820 = 2380 \text{ kg/m}^3.$$

Minimalna jamistość układu ziaren kruszywa w betonie wyznaczona z wyrażenia (2.1) wynosi

$$j_{kmin} = j_z j_p = 0,33 \cdot 1,82/2,65 = 0,33 \cdot 0,31 = 0,10,$$

natomiast szczelność jest równa $S_{kb} = 0,90$.

Przy tak dobranym stosie okruchowym obliczony z zależności (2.13) procentowy udział frakcji piasku #0,00÷0,50 mm w mieszance kruszywa wynosi $p_1 = j_p m_p/m_{k1} = 17,0 \cdot 600/2380 = 4,3\%$. Wykorzystując zależność (2.13), w analogiczny sposób wyznaczono udziały pozostałych frakcji kruszywa. Wyniki obliczeń zostały zestawione w tabelicy 2.1, kolumna 4.

2.8. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiony model stwarza możliwość analitycznego doboru uziarnienia kruszywa do mieszanki betonowej, na podstawie doświadczalnie określonych charakterystyk składników.

Istotnym zagadnieniem wyjaśnionym w przeprowadzonych rozważaniach, a dotychczas niedostrzeżanym w technologii betonu, jest zjawisko wzrostu szczelności układu ziaren kruszywa w zagęszczonej mieszance betonowej.

Wyprowadzone zależności stwarzają możliwość modelowania struktury betonu przez optymalny dobór i rozmieszczenie ziaren kruszywa w mieszance betonowej. Ma to ścisły związek z nasiąkliwością, mrozoodpornością i trwałością projektowanych betonów. Sposób doboru uziarnienia kruszywa, praktycznie zweryfikowany w projektowaniu napowietrzonych, konstrukcyjnych betonów architektonicznych, pozwolił na uzyskanie kompozytu, którego ubytek masy po 100 cyklach zamrażania i rozmrażania w 3% roztworze NaCl jest równy zeru.

Zbudowany na podstawie ogólnych praw mechaniki ośrodków dyspersyjnych model doboru uziarnienia kruszywa z dużym powodzeniem może być wykorzystany w projektowaniu betonów szczelnych i kompozytów betonowych, zwłaszcza przy zastosowaniu komputerowych metod projektowania i dozowania mieszanki.