

Edward PICHOCKI

PRZEWIDYWANIE GĘSTOŚCI SPROWADZONEJ
POLIFRAKCYJNEGO KRUSZYWA ŁUPKOPORYTOWEGO
W OPARCIU O JEGO ZNANĄ POWIERZCHNIĘ STATYCZNA

Streszczenie. Zanalizowano związek między gęstością sprowadzoną a powierzchnią statyczną polifrakcyjnych stosów łupkoporytowych. Podano zależność, przy pomocy której można przewidywać gęstość sprowadzoną kruszywa łupkoporytowego w oparciu o znaną jego powierzchnię statyczną właściwą.

1. Wprowadzenie

Gęstość ziarnowa kruszywa, zwana również gęstością sprowadzoną, jest jedną z podstawowych własności fizycznych kruszywa, które w technologii lekkich betonów na sztucznych kruszywach porowatych znajdują wszechstronne zastosowanie.

Znajomość gęstości ziarnowej kruszywa jest niezbędna między innymi przy wyznaczaniu jamistości stosu okruszowego, porowatości międzyziarnowej lekkiego betonu kruszynowego, a zwłaszcza - przy objętościowym dozowaniu kruszywa lekkiego do betonu.

Stąd ten podstawowy parametr fizyczny kruszywa lekkiego znalazł zastosowanie w wielu opracowanych dotychczas metodach projektowania lekkich betonów na sztucznych kruszywach porowatych, jak np. w metodach Popowa, Szczepietowa, Dowżika, Wielocha, czy Kowalenki - Pietrasa.

Doświadczalne wyznaczanie gęstości ziarnowej polifrakcyjnych stosów okruszowych z kruszyw porowatych - mimo opracowania w tym zakresie metody badawczej [3] - nie znalazło szerszego zastosowania w praktyce laboratoryjnej. Zwykle badania takie wykonuje się oddzielnie dla poszczególnych frakcji wchodzących w skład stosu okruszowego kruszywa, a średnią jego gęstość ziarnową wyznacza się w sposób analityczny.

Wobec dużej pracochłonności badań laboratoryjnych, celowe było poszukiwanie takiej metody, która bez konieczności przeprowadzania doświadczenia pozwalałaby przewidywać gęstość ziarnową polifrakcyjnego stosu okruszowego z kruszywa łupkoporytowego w oparciu o inne, znane parametry stosu - pod warunkiem uzyskania wysokiej dokładności przewidywania.

Ponieważ prowadzone w ostatnich latach, w Instytucie Technologii i Organizacji Budownictwa na Politechnice Śląskiej, badania w zakresie technologii betonu lekkiego podniosły rangę statycznej powierzchni kruszyw porowatych do jednego z głównych wyróżników kruszywa - w rozważeniach opar-

to się na powierzchni statycznej stosu okruszowego z łupkoporytu jako jego wiodącej własności [1].

2. Fizyczna analiza związku między gęstością sprowadzoną a powierzchnią statyczną łupkoporytu

Zarówno gęstość sprowadzona (ziarnowa) łupkoporytu, jak i jego statyczna powierzchnia właściwa, pozostają w ścisłym związku ze stanem rozdrobnienia kruszywa. W miarę rozdrabniania spieku rośnie powierzchnia kinetyczna ziarna, a przy bogatej konfiguracji jego powierzchni rośnie również jego powierzchnia statyczna. Podobnie zmienia się gęstość sprowadzona, definiowana jako stosunek objętości fazy stałej ziarna, wraz z porami niedostępnymi dla zaczynu, do masy ziarna. Ponieważ przekroje ziarna przechodzące przez jego pory powietrzne lub zespoły porów są - w sensie fizyko-mechanicznym - najsłabszymi miejscami struktury spieku, w miarę kruszenia spieku łupkoporytowego zmniejsza się porowatość ziarna. W wyniku tego udział fazy stałej w objętości ziarna rośnie - a więc rośnie jego gęstość sprowadzona.

Fizyczny związek między gęstością sprowadzoną ziarna, jego powierzchnią statyczną i wymiarem liniowym zdefiniowano w [1] według formuły

$$S_w = \frac{K}{d \cdot \varrho_s} \quad (1)$$

gdzie:

S_w - statyczna powierzchnia właściwa ziarna, m^2/kg ;

K - współczynnik kształtu ziarna,

d - zastępczy liniowy geometryczny wymiar ziarna, m ,

ϱ_s - gęstość sprowadzona ziarna, kg/m^3 .

Związek między wyżej wymienionymi parametrami kruszywa można analizować w oparciu o zależność [1] przy różnych założeniach:

Założenie I: $K:d = C_1 = \text{const.}$, co odpowiada ziarnom o tym samym wymiarze liniowym i tym samym kształcie.

Wobec tego

$$S_w = C_1 \cdot \frac{1}{\varrho_s}, \quad (2)$$

a więc zmiany statycznej powierzchni właściwej są odwrotnie proporcjonalne do zmian gęstości sprowadzonej kruszywa.

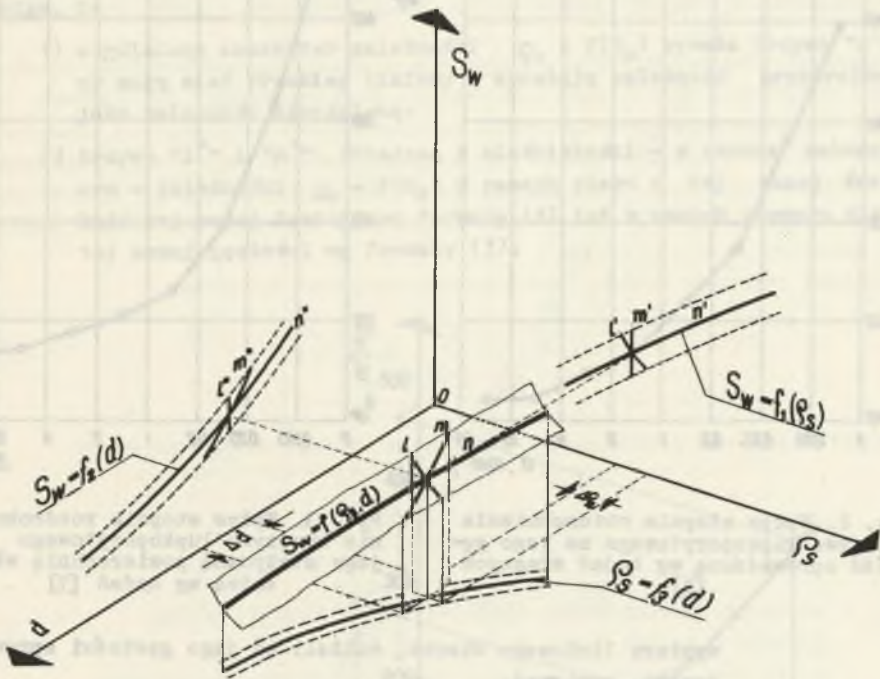
W przestrzeni $D \{S_w, d, \varrho_s\}$, jak na rysunku 1, zmianom tym odpowiada krzywa "1".

Założenie II: $K:\varrho_s = C_2 = \text{const.}$, co odpowiada ziarnom o tej samej gęstości i tym samym kształcie. Wobec tego

$$S_w = C_2 \frac{1}{d}. \quad (3)$$

a więc zmiany statycznej powierzchni właściwej są odwrotnie proporcjonalne do zmian liniowego wymiaru ziarna.

W przestrzeni $D\{S_w, d, \varrho_s\}$ zmianom tym odpowiada na rysunku 1 krzywa "m".

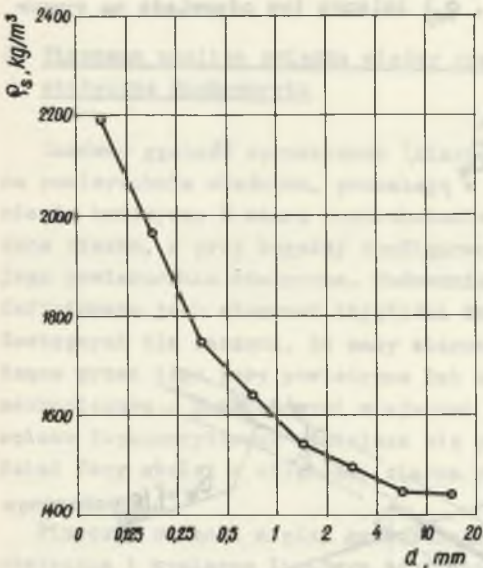


Rys. 1. Ogólna analiza przestrzeni $D\{S_w, d, \varrho_s\}$

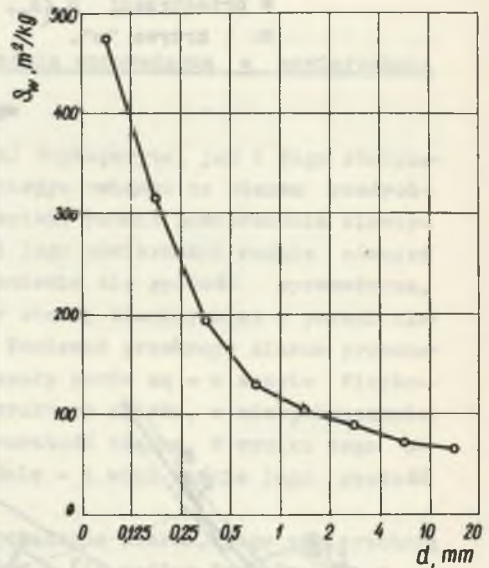
Założenie III: $K = C_3 = \text{const.}$, co odpowiada ziarnom o tym samym kształcie. Wobec tego

$$S_w = C_3 \frac{1}{d \cdot \varrho_s} \quad (4)$$

Analizując wyniki badań J. Mikosia [1] dotyczące statycznej powierzchni właściwej łupkoporytu oraz badania własne [2] dotyczące gęstości sprowadzonej tegoż kruszywa lekkiego, przeprowadzone dla poszczególnych frakcji kruszywa łupkoporytowego (rysunek 2 i 3), a będące podstawą do dalszych rozważań, wyciągnięto wniosek, że zmiany statycznej powierzchni właściwej będą w większej mierze zależały od zmiany



Rys. 2. Wpływ stopnia rozdrobnienia kruszywa łupkoporytowego na jego gęstość sprowadzoną wg badań własnych [2]



Rys. 3. Wpływ stopnia rozdrobnienia kruszywa łupkoporytowego na jego statyczną powierzchnię właściwą wg badań [1]

wymiaru liniowego ziarna, aniżeli od jego gęstości sprowadzonej, ponieważ:

z rys. 2 wynika, że zmiany gęstości ziarn w zakresie sąsiednich frakcji kruszywa nie przekraczają wartości $\rho_{n+1} : \rho_n = 1,1$, przy czym ogólna średnia zmiana gęstości $\rho_{f1/2} : \rho_{f8} \leq 1,5$; natomiast zmiany liniowego wymiaru ziarna są znacznie większe, albowiem wynoszą $d_n : d_{n-1} = 2$, ogólnie - dla $i > j$ - wyniosą $d_{fi} : d_{fj} = 2^{(i-j)}$. Wynika stąd, że dla $i > j$ może - w skrajnym przypadku - zachodzić nierówność

$$1,5 (i-j) < 2^{(i-j)}, \text{ a więc}$$

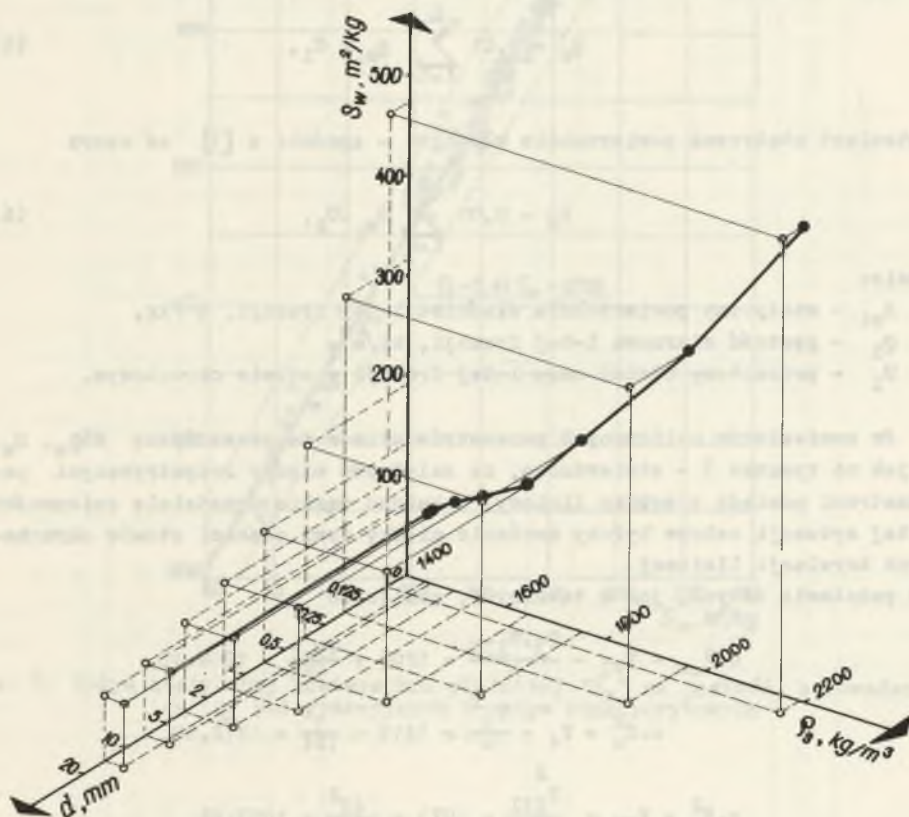
$$\begin{aligned} S_{wj} &= C_3 \frac{1}{d_j \cdot \rho_j} = C_3 \frac{1}{d_j \cdot 1,5^{(i-j)} \rho_i} > C_3 \frac{1}{2^{(i-j)} d_j \rho_i} = \\ &= C_3 \frac{1}{d_i \cdot \rho_i} = S_{wi} \end{aligned}$$

W przestrzeni D $\{S_w, d, \rho_s\}$ zmianom tym odpowiada na rysunku 1 krzywa "n".

O przebiegu zmian gęstości sprowadzonej kruszyw monofrakcyjnych w zależności od ich statycznej powierzchni właściwej - dla ziarn o różnych średnicach - wnioskowano w oparciu o rzut krzywych "l" "m" i "n" na płaszczyznę $\pi(S_w, \rho_s)$.

Z analizy przebiegu uzyskanych w ten sposób krzywych "l", "m", "n" wynika, że

- 1) uogólniony charakter zależności $\rho_s = f(S_w)$ wyraża krzywa "n", zmiany mogą mieć przebieg liniowy i wyrażają zależność proporcjonalną jako zależność uśrednioną;
- 2) krzywe "l" i "m" świadczą o nieściśłości - w sensie matematycznym - zależności $\rho_s = f(S_w)$ w ramach ziarn o tej samej średnicy bądź tej samej frakcji wg formuły (2) lub w ramach zespołu ziarn o tej samej gęstości wg formuły (3).



Rys. 4. Zależność statycznej powierzchni właściwej "S" od wymiaru liniowego ziarna "d" i gęstości sprowadzonej " ρ_s " w monofrakcyjnych kruszywach żużlowych

Wyniki badań w zakresie kruszyw monofrakcyjnych, zanalizowane w przestrzeni $D \{S_w, d, \rho_s\}$ jak na rysunku 4, potwierdzają słuszność takiego rozumowania.

3. Przewidywanie gęstości sprowadzonej polifrakcyjnych stosów okruschowych

Zależność między gęstością sprowadzoną a statyczną powierzchnią właściwą dla polifrakcyjnych stosów okruschowych kłupoporzytowych analizowano w oparciu o wyniki badań przedstawione na rysunkach 2 i 3. Analizę przeprowadzono dla 124 dowolnych stosów okruschowych o statycznej powierzchni właściwej zmieniającej się w przedziale od $68 \text{ m}^2/\text{kg}$ do $135 \text{ m}^2/\text{kg}$, co praktycznie obejmuje wszystkie uziarnienia kruszyw stosowanych do betonów zwartych, półzwartych i jamistych.

Gęstości ziarnowe stosów okruschowych wyznaczono ze wzoru

$$\rho_s = 0,01 \sum_{i=1}^B \rho_{s_i} \cdot U_i, \quad (5)$$

natomiast statyczne powierzchnie właściwe - zgodnie z [1] ze wzoru

$$S_w = 0,01 \sum_{i=1}^B S_{w_i} \cdot U_i, \quad (6)$$

gdzie:

- S_{w_i} - statyczna powierzchnia właściwa i-tej frakcji, m^2/kg ,
- ρ_{s_i} - gęstość ziarnowa i-tej frakcji, kg/m^3 ,
- U_i - procentowy udział masy i-tej frakcji w stosie okruschowym.

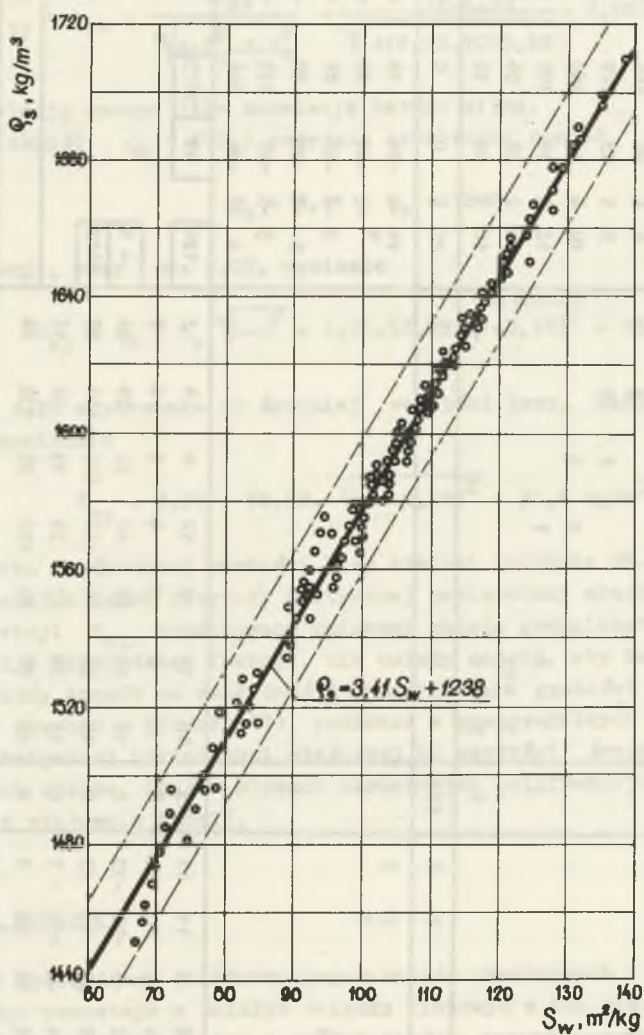
Po naniesieniu obliczonych parametrów stosów na płaszczyznę $\pi(\rho_s, S_w)$ - jak na rysunku 5 - stwierdzono, że zależność między rozpatrywanymi parametrami posiada przebieg liniowy, w bardzo wąskim przedziale zmienności. W tej sytuacji celowe byłoby szukanie między tymi cechami stosów okruschowych korelacji liniowej.

Na podstawie danych, jak w tabelicy 1, obliczono

$$n \cdot S_{uw} = T_{VI} - \frac{T_3 \cdot T_{III}}{n} = 1206 + \frac{49 \cdot 1}{124} = 1206,40,$$

$$n \cdot S_u^2 = T_4 - \frac{T_3^2}{n} = 1413 - \frac{1^2}{124} = 1412,99,$$

$$n \cdot S_w^2 = T_{IV} - \frac{T_{III}^2}{n} = 1073 - \frac{49^2}{124} = 1053,62,$$



Rys. 5. Wpływ statycznej powierzchni właściwej " S_w " na gęstość sprowadzoną ρ_s polifrakcyjnych kruszyw łupkoporytowych

skąd obliczono

$$r_{xy} = r_{uw} = \frac{n \cdot S_{uw}}{\sqrt{n \cdot S_u^2 \cdot n \cdot S_w^2}} = \frac{1206,40}{\sqrt{1412,99 \cdot 1053,62}} = 0,987,$$

a więc korelację uznano jako korelację bardzo silną.

Szukana zależność $\rho_B = f(S_w)$ przyjęła ostateczną postać

$$\rho_B = 3,41 \cdot S_w + 1238 \quad (7)$$

Błąd korelacji, przy $\alpha = 0,05$, wyniesie

$$\epsilon_{ky} = t_{\alpha} \cdot S_y \sqrt{1-r^2} = 1,96 \cdot 58,28 \sqrt{1-0,987^2} = 18,8 \text{ kg/m}^3$$

co stanowi 1,2% w stosunku do średniej wartości bazy, natomiast przy $\alpha = 0,001$ odpowiednio

$$\epsilon_{ky} = 3,29 \cdot 58,28 \cdot \sqrt{1-0,987^2} = 31,6 \text{ kg/m}^3,$$

co w stosunku do średniej wartości bazy stanowi zaledwie 2%.

Uwzględniając nawet rozrzuty statycznej powierzchni właściwej poszczególnych frakcji S_{wi} , spowodowane zmianami składu granulometrycznego ziarn wchodzących w skład danej frakcji, nie należy sądzić, aby te zmiany zaważyły w istotny sposób na dokładności przewidywania gęstości sprowadzonej kruszywa w oparciu o formułę (7), ponieważ w poszczególnych frakcjach odchylenia statycznej powierzchni właściwej od wartości średniej mogą być dodatnie lub ujemne. Stąd w stosach okrucowych polifrakcyjnych odchyłki te mogą się wzajemnie znosić.

4. Wnioski końcowe

Gęstość sprowadzona polifrakcyjnych stosów okrucowych z kruszywa łupkoporytowego pozostaje w ścisłym związku liniowym z ich statyczną powierzchnią właściwą. Współczynniki regresji między rozpatrzonymi parametrami stosów okrucowych podano w formule (7). Zależność ta może być wykorzystana do przewidywania gęstości sprowadzonej kruszyw łupkoporytowych stosowanych jako wypełniacz do betonów lekkich.

LITERATURA

- [1] Mikoś J., Szwabowski J.: Powierzchnie właściwe lekkich kruszyw porowatych. Inżynieria i Budownictwo 11/1972.
- [2] Pichocki E.: Kształtowanie podstawowych własności zwartych izolacyjno-konstrukcyjnych betonów żupkoporytowych metodą chudego zaczynu cementowo-popiołowego. Praca doktorska. Gliwice 1974.
- [3] Roszak W.: Technologia betonów z kruszyw lekkich. Arkady. Warszawa, 1970.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОВЕРЕННОЙ ПЛОТНОСТИ
ПОЛИФРАКЦИОННОГО АГЛОМЕРИРОВАННОГО УГЛИСТОГО СЛАНЦА
НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Р е з ю м е

В статье доказано, что при помощи известной статической поверхности агломерированного углистого сланца можно - по формуле (7) - определять проверенную плотность полифракционного заполнителя этого вида.

PREDICTION OF THE REDUCED DENSITY OF POLIFRACTIONAL COAL SHALE
AGGREGATE ON THE BASIS OF ITS KNOWN STATIC SURFACE

S u m m a r y

In the paper it is demonstrated that with the use of the formula no (7) it is possible to predict the reduced density of coal shale aggregate on the basis of its known static specific surface.