

Henryk Krause

WPLYW UZIARNIENIA, LOTNYCH POPIOŁÓW ENERGETYCZNYCH
NA PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI ZACZYNÓW CEMENTOWO-POPIOŁOWYCH

Streszczenie. W artykule poddano analizie związek między składem granulometrycznym popiołów lotnych a właściwościami zaczynów cementowo-popiołowych. Wprowadzono pojęcia, które tłumaczą zjawiska fizyko-chemiczne zachodzące w tych zaczynach oraz uzasadniają doniosłą rolę oddziaływań fizycznych, które szczególnie w chudych zaczynach cementowo-popiołowych decydują o ich strukturze.

1. Wstęp

Dotychczasowe badania nad stosowaniem lotnych popiołów energetycznych z węgla kamiennego jako dodatku do betonów wykazały, że jedynie niektóre rodzaje popiołów wpływają dodatnio na podstawowe właściwości mieszanki betonowej i betonu stwardniałego. Wydawać by się mogło, że opracowanie przepisów [1], [2], [3], [4], [5], [6], które określiły podstawowe właściwości popiołów lotnych w tym zakresie, rozwiąże zadowalająco problemy stosowania popiołów lotnych do betonu i ujednocili je. Czy tak jest w istocie?

Jak dotychczas, przydatność popiołów lotnych do betonów określa się w zasadzie na podstawie składu chemicznego, strat prażenia oraz uziarnienia, przy czym uziarnienie popiołów charakteryzuje się bądź procentową zawartością ziarn mniejszych od 60μ [1], [2], bądź powierzchnią właściwą [4], [6], bądź średnią wielkością ziarna [5]. W wyniku tego, w przeważającej większości prac dotyczących stosowania popiołów lotnych do betonów - zarówno przy charakteryzowaniu właściwości popiołów,

jak też przy interpretacji wyników badań - skład ziarnowy popiołów lotnych nie był analizowany w szerszym zakresie, aniżeli wymagają tego wspomniane, obowiązujące w tej dziedzinie przepisy.

Badania własne nad stosowaniem popiołów lotnych do betonów wskazały jednak na celowość zwrócenia większej niż dotąd uwagi na skład ziarnowy popiołów - tym bardziej, że jak dotąd, nie naświetlono wpływu, jaki skład granulometryczny popiołu, a w szczególności najdrobniejsze jego frakcje, wywiera na fizyczne i chemiczne zjawiska, które zachodzą w zaczynach, będących według Powersa [7] podstawowym, strukturotwórczym składnikiem betonów.

2. Badania popiołów lotnych

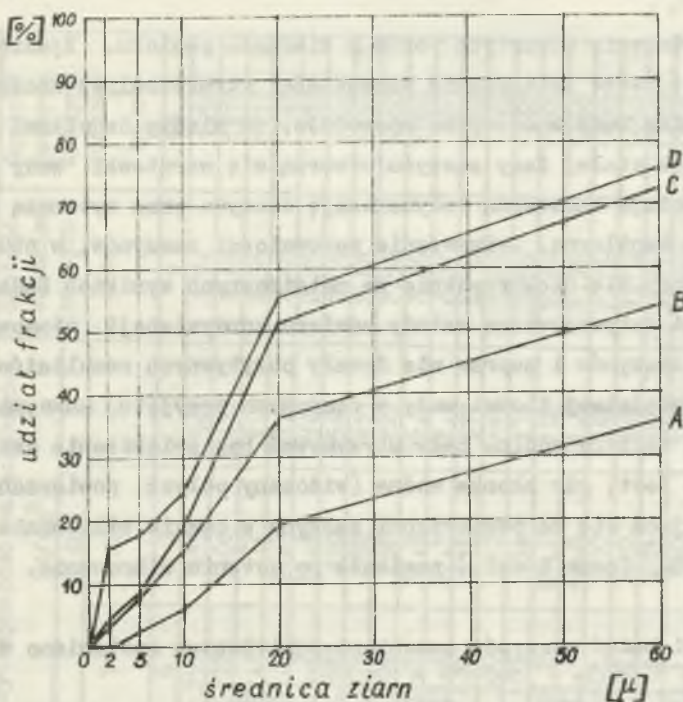
Do badań wykorzystano popioły lotne z elektrowni "Łaziska". Pobierano je z określonych miejsc w urządzeniach odpylających różnych kotłów oraz bloków energetycznych, dzięki czemu uzyskano 10 rodzajów popiołów o znacznie zróżnicowanych własnościach.

Badania techniczne w zakresie składu chemicznego oraz strat prażenia wykazały, że własności badanych popiołów odpowiadają wymaganiom normowym, a poszczególne wielkości wahały się w granicach: $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 - 76,3 \div 86,3\%$, $\text{CaO} - 3,6 \div 5,1\%$, $\text{MgO} - 2,1 \div 3,1\%$, $\text{SO}_3 - 0,5 \div 0,7\%$ i straty prażenia $3,7 \div 9,5\%$.

Dokładnej analizie poddano uziarnienie popiołów. Już wstępne badania wykazały, że zawartość ziarn mniejszych od 60μ zmieniała się w granicach $35 \div 80\%$, a powierzchnia właściwa - $2220 \div 5670 \text{ cm}^2/\text{g}$. Szczegółowe badania składu ziarnowego tych popiołów przeprowadzono przy użyciu automatycznej wagi sedymentacyjnej "Sartorius" oraz wirówki "Bahco". Na ich podstawie wytypowano 4 popioły A, B, C, D, które ze względu na różny skład ziarnowy posłużyły do dalszych badań. Analizę granulometryczną tych popiołów podaje rysunek 1.

3. Badania zaczynów cementowo-popiołowych

Zaczyny sporządzono przy użyciu cementu portlandzkiego "350" Grodziec i popiołów lotnych A B C D. Wagowy udział popiołów lotnych w



Rys. 1. Skład granulometryczny popiołów lotnych A B C i D

zaczynach był zmienny i wynosił odpowiednio: $N : (N + C) \cdot 100^1 = 15, 30, 50, 70$ i 85% . Badania zaczynów stwardniałych wykonano na beleczkach $4 \times 4 \times 16$ cm, które do 28 dni przechowywano w komorze wilgotnościowej w temperaturze $t = 18 \pm 20^\circ\text{C}$ i wilgotności $\varphi = 90\%$, dalej zaś - w warunkach powietrzno-suchych.

3.1. Ilość wody w zaczynach

Ponieważ wykonywane zaczyny, ze względu na zróżnicowane uziarnienie popiołów oraz zmienny ich udział, posiadały różne wodozadności - ustalenie właściwej ilości wody w zaczynach było dla wyników badań bardzo istotne. W przypadku zbyt małej jej ilości woda błonkowa okalająca ziarna zostanie szybko zużyta, w części do hydratacji cementu, w częś-

¹⁾ N - popiół lotny energetyczny, C - cement.

ci do wypełnienia otwartych porów w ziarnach popiołu. Zjawisko to wywoła niekorzystne zwiększenie porowatości strukturalnej zaczynu. Natomiast nadmiar wody w zaczynie spowoduje, że między cząstkami lub grupami cząstek stałej fazy zaczynu utworzą się warstewki wody ruchomej, które spowodują nadmierną sedymentację zaczynu oraz wytworzą dodatkową porowatość kapilarną. Zwiększenie porowatości zaczynów, w obu przypadkach, odbiłoby się niekorzystnie na ostatecznych wynikach badań.

Ponieważ dotychczasowe metody pomiaru konsystencji stosowane przy badaniach zaczynów i zapraw nie dawały pozytywnych rezultatów - jako kryterium właściwej ilości wody w zaczynach przyjęto maksymalną ilość wody, jaką zaczyny zdolne były utrzymywać bez zwiększenia swej porowatości - to jest, gdy błonka wodna (widoczny połysk powierzchni zaczynu), ukazująca się na powierzchni zaczynu w czasie wibrowania na aparacie Ve-Be (czas 5 sek.) zanikała po ustaniu wibrowania.

3.2. Wyniki badań zaczynów cementowo-popiołowych zestawiono w tabl. 1

4. Analiza wyników badań

W świetle przeprowadzonych badań stwierdzono, że podstawowe właściwości zaczynów cementowo-popiołowych, będących rezultatem zjawisk, które zachodzą w nich podczas wiązania i twardnienia są znacznie zróżnicowane.

Czynnikiem, który decyduje o właściwościach tych zaczynów jest ich struktura, utworzona w wyniku zaistnienia dwóch różnych oddziaływań - oddziaływań typu chemicznego oraz oddziaływań typu fizycznego zachodzących w fazie stałej zaczynów w obecności wody.

Znaczne zróżnicowanie właściwości badanych zaczynów tłumaczy się tym, że oddziaływania chemiczne i fizyczne między cząstkami cementu, cząstkami popiołu oraz między cząstkami cementu i popiołu - w zależności od udziału popiołu lotnego w zaczynach - są różnie nasilone, choć występują w ścisłym ze sobą powiązaniu (rys. 2).

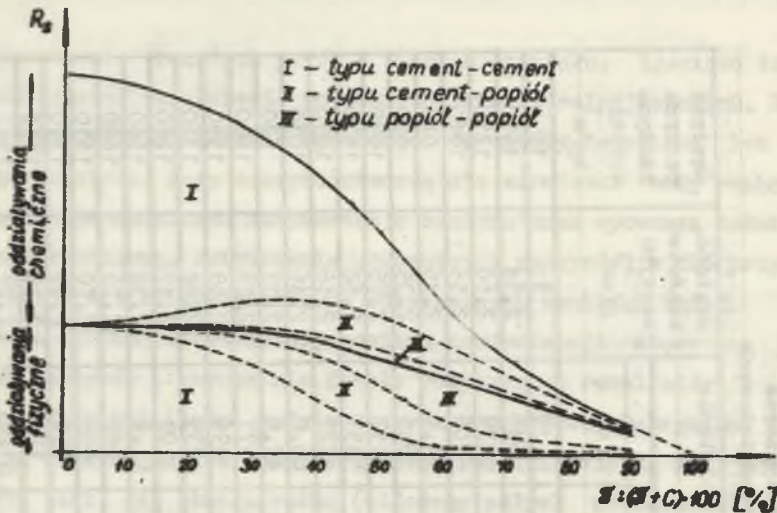
Nieznaczne zmiany właściwości zaczynów tłustych, to jest gdy $X : (X + C) \cdot 100 < 50$ świadczą o tym, że w zaczynach tłustych decydującą rolę odgrywają oddziaływania chemiczne - przy znacznym ich udziale mię-

Tablica 1

Wpływ uziarnienia lotnych popiołów energetycznych na podstawowe właściwości zaczynów cementowo-popiołowych

Rodzaj popiołu lotnego	U _z	$\frac{x}{x+c} \cdot 100$ %	$\frac{w}{w+c}$ 1/kg	Gęstość pozorna zaczynu świeżego kg/m ³	Wytrzymałość na ściskanie kg/cm ²			Gęstość właściwa zaczynu g/cm ³	Gęstość pozorna zaczynu suchego kg/m ³
					dni				
					7	28	90		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		15	0,33	1910	352	495	540	2,74	1590
		30	0,39	1790	272	400	472	2,68	1470
		50	0,47	1590	89,4	172	206	2,56	1210
		70	0,57	1420	26,6	52,2	61,0	2,46	940
A	0,089	85	0,65	1390	6,2	14,2	19,5	2,35	870
		15	0,31	1930	368	490	543	2,75	1620
		30	0,35	1830	279	398	457	2,68	1530
		50	0,41	1610	104	188	222	2,58	1290
		70	0,49	1460	36,1	71,9	86,2	2,46	1070
B	0,183	85	0,55	1410	15,4	33,1	42,6	2,37	930
		15	0,30	1980	402	515	577	2,76	1680
		30	0,33	1900	300	410	496	2,69	1590
		50	0,38	1670	107	194	239	2,58	1360
		70	0,44	1590	46,2	87,2	109	2,47	1220
C	0,238	85	0,50	1540	23,4	47,8	61,6	2,38	1160
		15	0,29	1980	401	500	549	2,76	1680
		30	0,32	1910	302	410	489	2,70	1610
		50	0,36	1700	118	203	256	2,59	1390
		70	0,41	1640	53,1	100	125	2,48	1290
D	0,304	85	0,45	1570	34,2	62,1	81,9	2,39	1190

U_z - umowny wskaźnik uziarnienia popiołu, M - popiół lotny, C - cement, W - woda



Rys. 2. Schemat oddziaływań fizyko-chemicznych w zaczynach cementowo-popiołowych

dzy cząstkami cementu, a mniej znacznym udziale między cząstkami cementu i popiołu oraz samego popiołu. Natomiast w zaczynach chudych, to jest gdy $S : (S + C) \cdot 100 \geq 50\%$, jak wskazuje na to znaczne zróżnicowanie ich właściwości, wraz ze zmniejszeniem się ilości cementu nasilenie oddziaływań chemicznych gwałtownie spada na korzyść oddziaływań fizycznych, które w tego rodzaju zaczynach posiadają decydujące znaczenie i szczególnie intensywnie zachodzą między ziarnami popiołu oraz ziarnami popiołu i cementu, w mniejszym zaś stopniu między ziarnami samego cementu.

Wyniki badań zaczynów cementowo-popiołowych wykonanych przy użyciu popiołów o różnorodnych uziarnieniach pozwalają wysnuć wniosek, że podstawowym czynnikiem, który wpływa na proporcje między oddziaływaniami chemicznymi a oddziaływaniami fizycznymi jest skład granulometryczny popiołów lotnych, który przy spełnieniu warunku właściwej ilości wody decyduje o porowatości strukturalnej zaczynów - a więc także o ich właściwościach. Najmniejszą porowatość strukturalną w zaczynach chudych można uzyskać przy zastosowaniu popiołu lotnego o takim składzie cząstkowym, który przeciwdziała niekorzystnemu dla struktury zaczynu zjawisku "interferencji cząstek" w stosie cementowo-popiołowym. Szczególnie w tym względzie znaczenie w zaczynach cementowo-popiołowych przypisuje

się najdrobniejszym frakcjom popiołu lotnego, to jest ziarnom o średnicy mniejszej od 10μ , które decydują o "efekcie mikrocząstkowym" powodującym znaczny wzrost oddziaływań fizycznych dzięki zwiększeniu szczelności stosu cementowo-popiołowego.

W tym zakresie proponuje się wprowadzenie dla popiołów lotnych "umownego wskaźnika uziarnienia" U_{Σ} , który wyraża się wzorem

$$U_{\Sigma} = \alpha \sum_{i=1}^n p_i \left(\frac{D}{d_i}\right)^{\phi}, \quad (1)$$

w którym

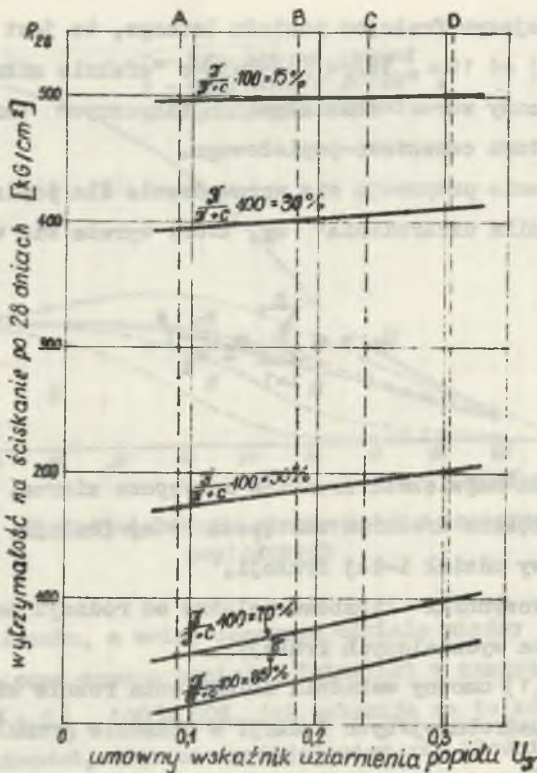
- D - umowna największa średnica zastępcza ziarna,
- d_i - największa średnica zastępcza i-tej frakcji,
- p_i - wagowy udział i-tej frakcji,
- α, ϕ - współczynniki liczbowe zależne od rodzaju popiołu lotnego,
- n - liczba wydzielonych frakcji.

Według wzoru (1) umowny wskaźnik uziarnienia rośnie więc wraz ze wzrostem udziału nadrobniejszych frakcji w składzie granulometrycznym popiołu lotnego.

W świetle zastosowania wzoru (1) stwierdzono, że między wytrzymałością na ściskanie zaczynów cementowo-popiołowych a umownym wskaźnikiem uziarnienia popiołów wchodzących w skład tych zaczynów istnieje związek przedstawiony na rysunku 3. Zmienne nachylenie prostych tłumaczy się tu wzrostem oddziaływań typu fizycznego w zaczynach, a miarą tego wzrostu jest tangens kąta nachylenia

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta R_B}{\Delta U_{\Sigma}}, \quad (2)$$

który zmienia się wraz ze zmianą stosunku \mathbb{H} : ($\mathbb{H} + C$). Badanie zależności (1) i (2) pozwoli na lepsze rozpoznanie właściwości popiołów lotnych.



Rys. 3. Kształtowanie się wytrzymałości na ściskanie zaczynów cementowo-popiołowych w zależności od "umownego wskaźnika uziarnienia" popiołów lotnych

5. Wnioski końcowe

Powyższe rozważania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- W stosowaniu chudych zaczynów cementowo-popiołowych $F : (F + C) \cdot 100 \geq 50\%$ tkwią znaczne możliwości w zakresie kierowania właściwościami betonów zwartych.
- Kluczową rolę w kształtowaniu oddziaływań fizycznych oraz zwiększeniu udziału tych oddziaływań w procesach zachodzących w zaczynach cementowo-popiołowych odgrywa skład granulometryczny popiołów lotnych; właściwość ta - jak wynika z obowiązujących w tym zakresie

- przepisów - nie jest należycie doceniana i obecnie wymaga nowego spojrzenia.
- Zwrócenie większej niż dotąd uwagi na zjawiska typu fizycznego, które zachodzą szczególnie w chudych zaczynach cementowo-popiołowych oraz pełne wyjaśnienie tych zjawisk, pozwoli na racjonalne projektowanie zwartych betonów izolacyjno-konstrukcyjnych w szerszym niż dotąd zakresie.
 - Pełne poznanie i kierowanie oddziaływaniami typu fizycznego w zaczynach cementowo-popiołowych może być drogą do uzyskania poważnych oszczędności cementu, a także drogą do zmniejszenia gęstości pozornej oraz współczynnika przewodności cieplnej w zwartych betonach izolacyjno-konstrukcyjnych, co ma istotne znaczenie dla projektowania tych betonów.

LITERATURA

1. ASTM C - 350 - 64T Tentative Specifications for fly ash for use as an admixture in portland concrete.
2. GOST 6263-63 Aktywne mineralne dodatki do wiązuscizim wieszczestwam.
3. Tymczasowe wytyczne wykonywania betonu z agloporytu z żupków przywęglowych, pumeksu i keramzytu, ITB, Warszawa 1966.
4. BN-63/6713-02 Popioły lotne z węgla kamiennego do produkcji betonów komórkowych.
5. Lehr H.P.; Derzeitiger Stand des Zulassungsverfahrens für Steinkohlenflugasche als Bindemittelkomponente im Beton und Stahlbeton in der BRD "Betonstein - Zeitung" 1/1971.
6. Hinst M.D.; Fly - ash concrete. "Concrete Construction" 6/1969.
7. Powers T.C.; Ćwierć wieku podstawowych badań betonu. "Cement Wapno Gips" 7/1961.

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛЯЦИИ ЛЕГУЧЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗОЛЫ НА ОСНОВЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОЙ СМЕСИ

Резюме

В статье проанализирована связь между гранулометрическим составом ле-
гучих зол и свойствами цемента-зольных смесей. Введены понятия "микрочас-
тотного эффекта", а также "условного гранулометрического фактора", которые
объясняют физико-химические явления происходящие в этих смесях, а также
объясняют большую роль физических влияний, которые особенно в бедных це-
ментно-зольных смесях релакт их структуру. Управление физическими влияни-
ми в этих смесях позволяет на более рациональное проектирование плотных
теплоизоляционно-конструкционных бетонов.

DER EINFLUSS DER KÖRNUNG ENERGETISCHER FLUGASCHEN AUF DIE GRUNDSÄTZLICHEN EIGENSCHAFTEN DER ASCHEN-ZEMENTLEIME

Zusammenfassung

Im Artikel wurde das Verhältnis zwischen der granulometrischen Zu-
sammensetzung der Flugasche und den Eigenschaften des Asche-Zement-
leimes analysiert. Es wurden die Begriffe "mikromolekulären Effektes"
und "vereinbarten Körnungrichtwertes" eingeführt, die die physikoche-
mischen Erscheinungen in diesen Leimen begründen - besonders in denen
mit wenigem Zementgehalt - und einen grossen Einfluss auf ihre Struk-
tur haben. Der Einfluss auf die physikalischen Einwirkungen in diesen
Zementleimen ermöglicht eine noch grössere Rationalisierung dichter i-
solierender Konstruktionsbetone.