


Granulowany żużel wielkopiecowy

składnikiem cementu
i spoiw drogowych



GÓRAŹDŹE[®]
HEIDELBERGCEMENT Group



Informator został opracowany przez
Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju
Produktów Grupy Górażdże

**Granulowany
żużel
wielkopiecowy**
składnikiem cementu
i spoiw drogowych



Granulowany żużel wielkopiecowy składnikiem cementu i spoiw drogowych

W ofercie handlowej **GÓRAŹDŹE CEMENT S.A.** dostępny jest szeroki asortyment cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy, w tym:

→ cementy portlandzkie-żużlowe:

- CEM II/A-S 52,5N,
- CEM II/B-S 32,5R - NA,
- CEM II/B-S 42,5N - NA,

→ cementy hutnicze:

- CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA,
- CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA,
- CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA,

→ cement wieloskładnikowy:

- CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA.

Do oferty handlowej **GÓRAŹDŹE CEMENT S.A.** wprowadzone zostały ponadto nowe produkty dedykowane dla budownictwa geotechnicznego, tj. hydrauliczne spoiwa drogowe:

→ Multicrete

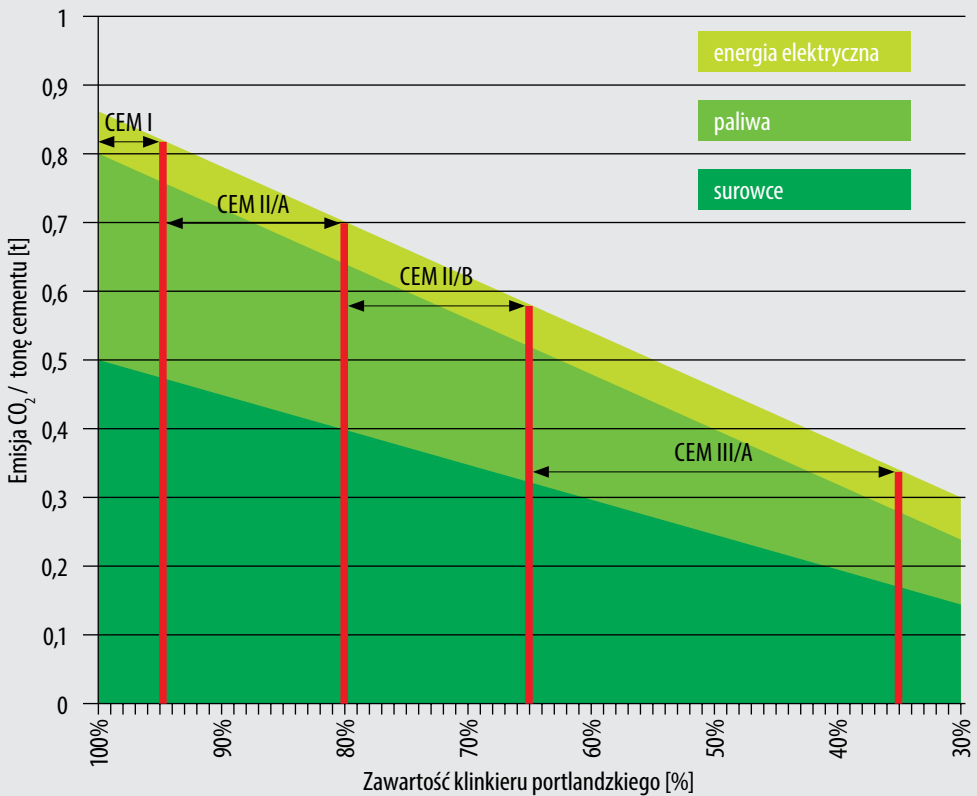
- Multicrete 12,5 R,
- Multicrete 22,5, HRB E3 hydrauliczne spoiwo drogowe szybkowiązące,
- Multicrete 32,5, HRB E4 hydrauliczne spoiwo drogowe szybkowiązące.

Granulowany żużel wielkopiecowy stosowany jako składnik główny cementu i spoiw drogowych modyfikuje szereg ich właściwości. Cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy charakteryzują się:

- wydłużonym czasem wiązania,
- niższym ciepłem hydratacji,
- lepszą urabialnością (utrzymaniem konsystencji w czasie),
- znacznym przyrostem wytrzymałości w dłuższych okresach twardnienia,
- wyższą odpornością na agresję chemiczną (chlorkową, siarczanową, alkaliczną).

Stosowanie granulowanego żużla wielkopiecowego w składzie cementów powszechnego użytku wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju:

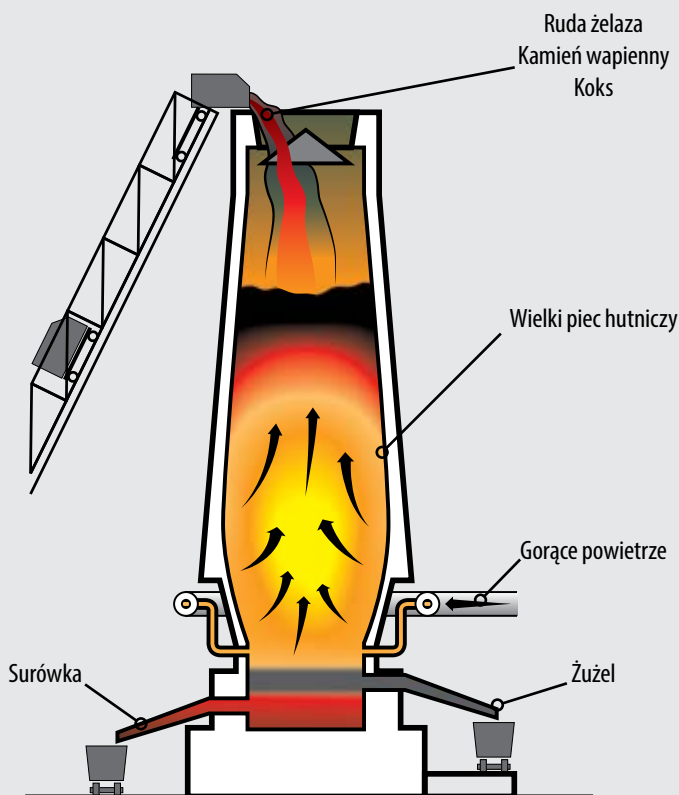
- wykorzystanie ubocznego produktu wytwarzania surowca żelaza, a tym samym ograniczenia zużycia surowców naturalnych w procesie produkcji cementu,
- obniżenie zawartości klinkieru portlandzkiego w składzie cementu, efektem czego jest zmniejszenie zużycia energii i ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery (rys.1) .



Rys. 1. Rodzaj cementu a emisja CO₂

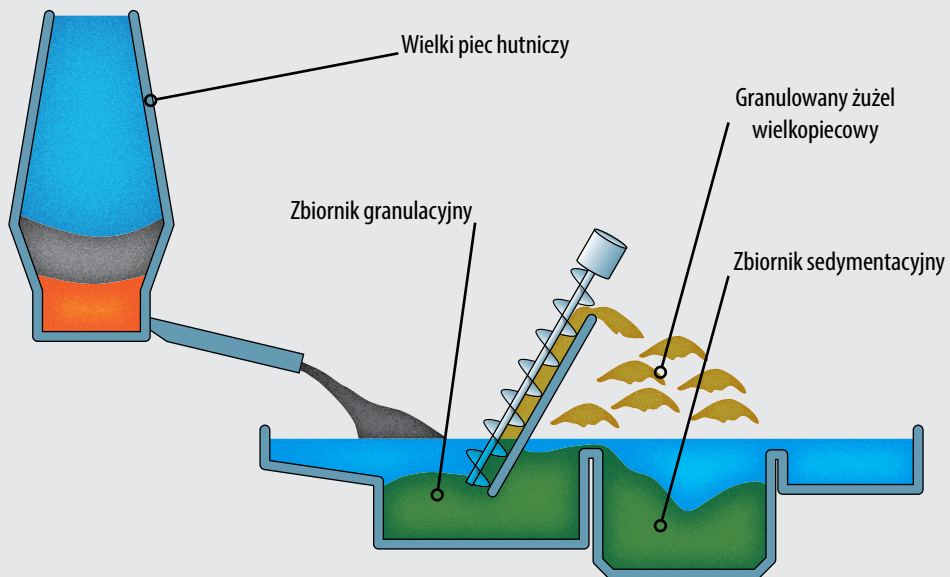
Otrzymywanie granulowanego żużla wielkopiecowego

Żużel wielkopiecowy jest produktem ubocznym otrzymywanym w procesie wytapiania surówki w wielkim piecu hutniczym (rys. 2). W skład surowców wsadowych wprowadzanych do pieca wchodzi ruda żelaza, koks i topniki (najczęściej boksyty i wapień), czyli substancje, które obniżają temperaturę topnienia rud oraz ułatwiają oddzielenie metalu od innych domieszek zawartych w rudzie. Piec jest ogrzewany poprzez spalanie koksu w gorącym powietrzu. Proces wytopu surówki żelaza jest prowadzony w temperaturze 1400÷1600°C. W wyniku wytopu wsadu uzyskuje się stopiony żużel wielkopiecowy na powierzchni surówki.



Rys. 2. Schemat wytwarzania płynnego żużla wielkopiecowego podczas wytapiania surówki w wielkim piecu hutniczym

Po oddzieleniu od surówki, stopiony żużel poddaje się procesowi granulacji poprzez gwałtowne chłodzenie wodą (rys. 3) lub powietrzem. Szybkie chłodzenie płynnego żużla ma na celu wykształcenie mikrostruktury zapewniającej odpowiedni poziom aktywności. Szczególnie istotna jest wysoka zawartość fazy szklistej w żużlu (>90%), która sprawia, że granulowany żużel wielkopiecowy jest bardziej aktywny, a tym samym staje się cennym składnikiem cementu.

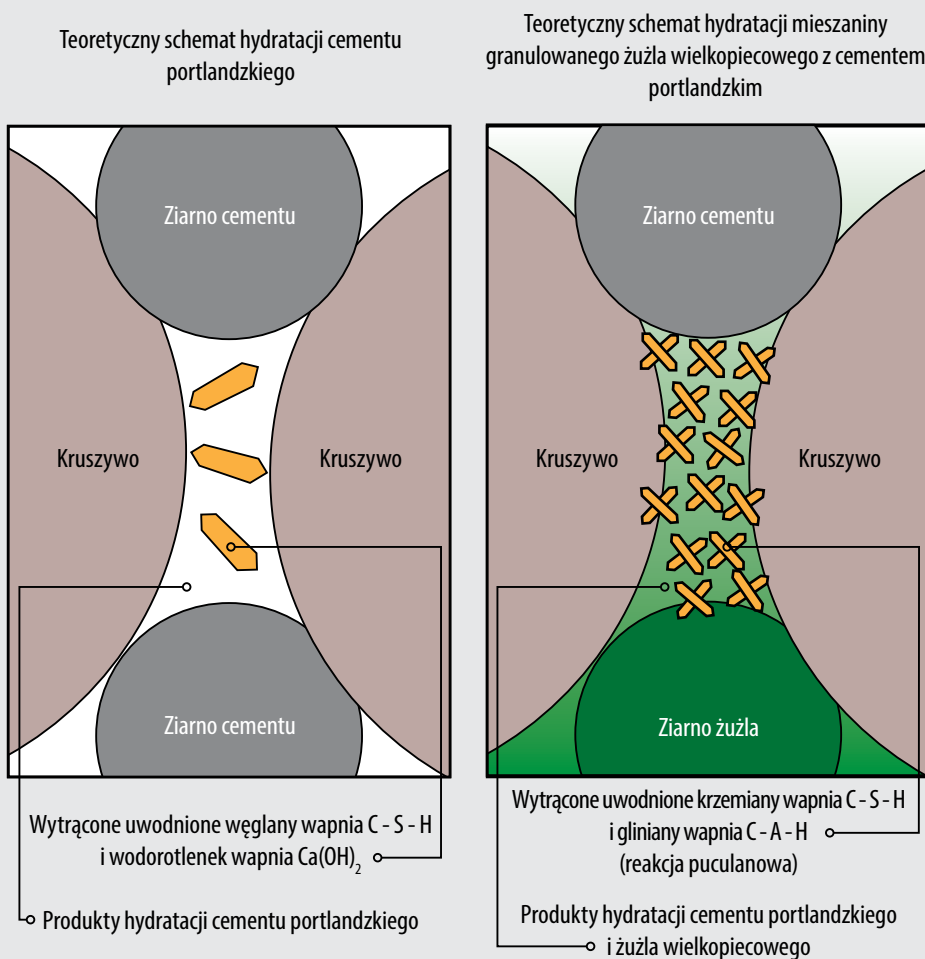


Rys. 3. Schemat procesu granulacji żużla wielkopiecowego



Właściwości granulowanego żużla wielkopieczowego

Granulowany żużel wielkopieczowy jest materiałem o utajonych właściwościach hydraulicznych. Odpowiednio rozdrobniony i aktywowany wykazuje właściwości wiążące, tzn. w połączeniu z wodą wiąże i twardnieje analogicznie jak cement portlandzki. Proces hydratacji cementu w obecności granulowanego żużla wielkopieczowego jest bardziej złożony niż proces hydratacji faz klinkierowych, aczkolwiek produkty reakcji są podobne, głównie uwodnione krzemiany i gliniany wapniowe (faza C-S-H) - rys. 4. Związane to jest ze zbliżonym, głównie pod względem jakościowym, składem chemicznym (tabela 1) oraz podobnym procesem wytwarzania granulowanego żużla wielkopieczowego i klinkieru portlandzkiego na drodze termicznej obróbki surowców (żużel uzyskiwany w wielkim piecu hutniczym, klinkier w piecu obrotowym).

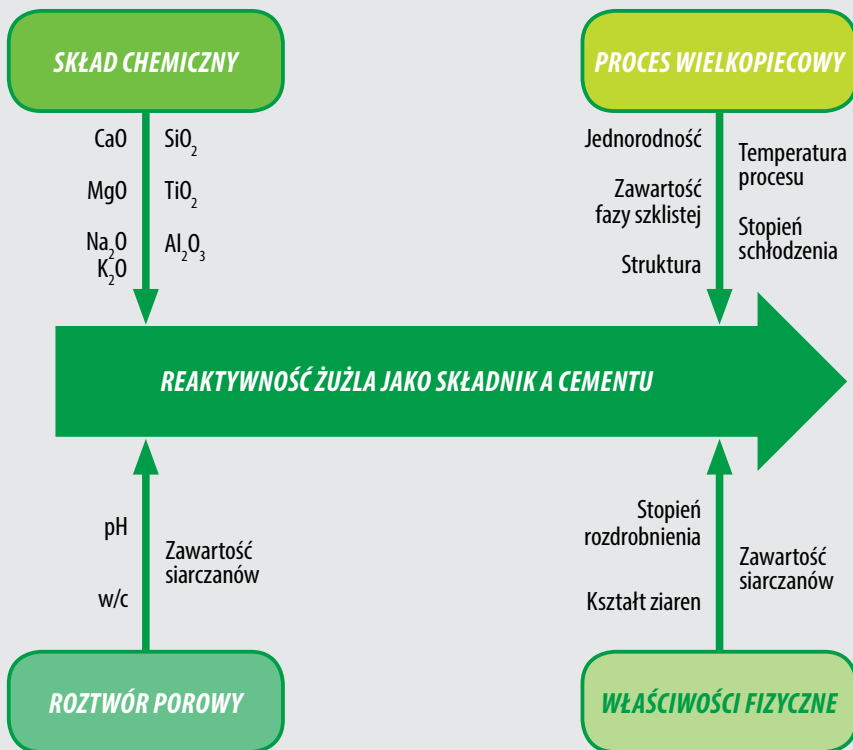


Rys. 4. Schematyczny przebieg reakcji hydratacji cementu portlandzkiego i granulowanego żużla wielkopieczowego

Tabela 1. Skład chemiczny granulowanego żużla wielkopiecowego i klinkieru portlandzkiego

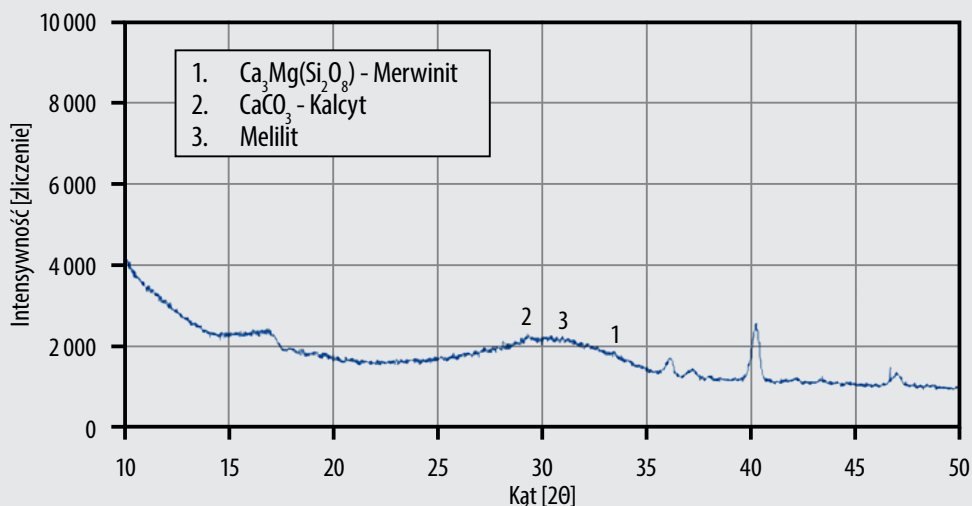
Składnik	Zawartość składnika [% masy]	
	Klinkier portlandzki	Granulowany żużel wielkopiecowy
SiO ₂	21,8	38,5
Fe ₂ O ₃	2,9	1,1
Al ₂ O ₃	5,4	7,6
CaO	66,8	43,0
MgO	1,5	5,9

Reaktywność granulowanego żużla wielkopiecowego, jako składnika cementu, zależy od wielu czynników (rys. 5).



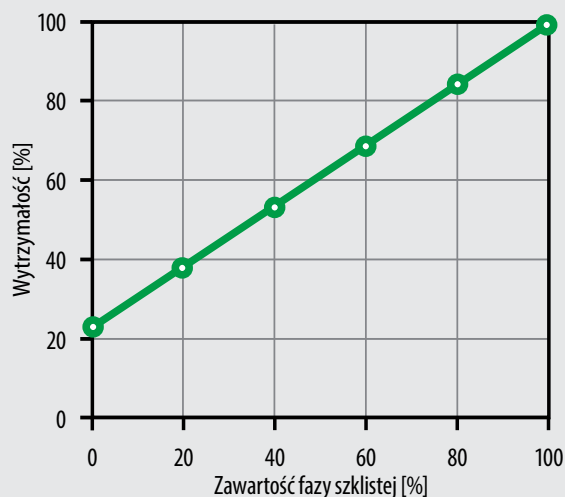
Rys. 5. Czynniki kształtujące reaktywność granulowanego żużla wielkopiecowego

W składzie fazowym granulowanego żużla wielkopiecowego dominuje faza szklista (80÷95%). Można wyróżnić także składniki krystaliczne (rys. 6), takie jak: larnit, monticzelit, melilit; gelenit i akermanit oraz merwinit i rankinit. Udział związków krystalicznych jest jednak ograniczony, zwykle nie przekracza 20%, ponieważ gwałtowne chłodzenie płynnego żużla hamuje formowanie się związków krystalicznych.



Rys. 6. Przykładowy dyfraktogram granulowanego żużla wielkopieczowego

Wysoka zawartość fazy szklistej odgrywa istotną rolę w żużlu wielkopieczowym stosowanym w jako składnik główny cementu, ponieważ szkło żużlowe reaguje z wodą znacznie intensywniej niż związki krystaliczne. Wpływa to korzystnie na rozwój trwałej struktury i wytrzymałość zapraw i betonów z dodatkiem granulowanego żużla wielkopieczowego (rys. 7).



Rys. 7. Wpływ zawartości fazy szklistej na wytrzymałość zaprawy

W tabeli 2 przedstawiono właściwości granulowanego żużla wielkopieczowego w odniesieniu do wymagań normy PN-EN 197-1 „Cement – Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dla cementów powszechnego użytku.”

Tabela 2. Granulowany żużel wielkopiecowy w świetle wymagań normy PN-EN 197-1

Wymagania wg PN-EN 197-1	Właściwości żużla stosowanego w Górażdże Cement S.A.
Zawartość fazy szklistej $\geq 67,0\%$	$> 95,0\%$
$\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 \geq 2/3$	89,7%
$\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 \geq 1,0$	1,31

Granulowany żużel wielkopiecowy to składnik cementu o utajonych właściwościach hydraulicznych, a jego aktywność zależy od zasadowości żużla, która wzrasta wraz ze zwiększającą się zawartością związków wapnia (CaO) w składzie. Zależność między składem chemicznym granulowanego żużla wielkopiecowego, a jego aktywnością opisują tzw. współczynniki aktywności żużla – wzory (1÷5).

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 1,3 \div 1,4 \quad (1)$$

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} > 1,0 \quad (2)$$

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 1,0 \div 1,3 \quad (3)$$

$$\frac{\text{CaO} + 1,4 \text{ MgO} + 0,56 \text{ Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \geq 1,65 \quad (4)$$

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \geq 1,0 \quad (5)$$

Z zależności tych wynika, że podwyższona zawartość SiO_2 w żużlu wielkopiecowym, niekorzystnie wpływa na jego aktywność hydrauliczną. Inaczej jest w przypadku tlenków wapnia (CaO), magnezu (MgO) i glinu (Al_2O_3). Zgodnie z normą PN-EN 197-1 spełnienie warunku wynikającego z wzoru (2), zapewnia wysoką zasadowość żużla i gwarantuje odpowiedni poziom jego aktywności.

Reakcja granulowanego żużla z wodą wykazuje znaczne przyspieszenie pod działaniem aktywatorów, którymi mogą być:

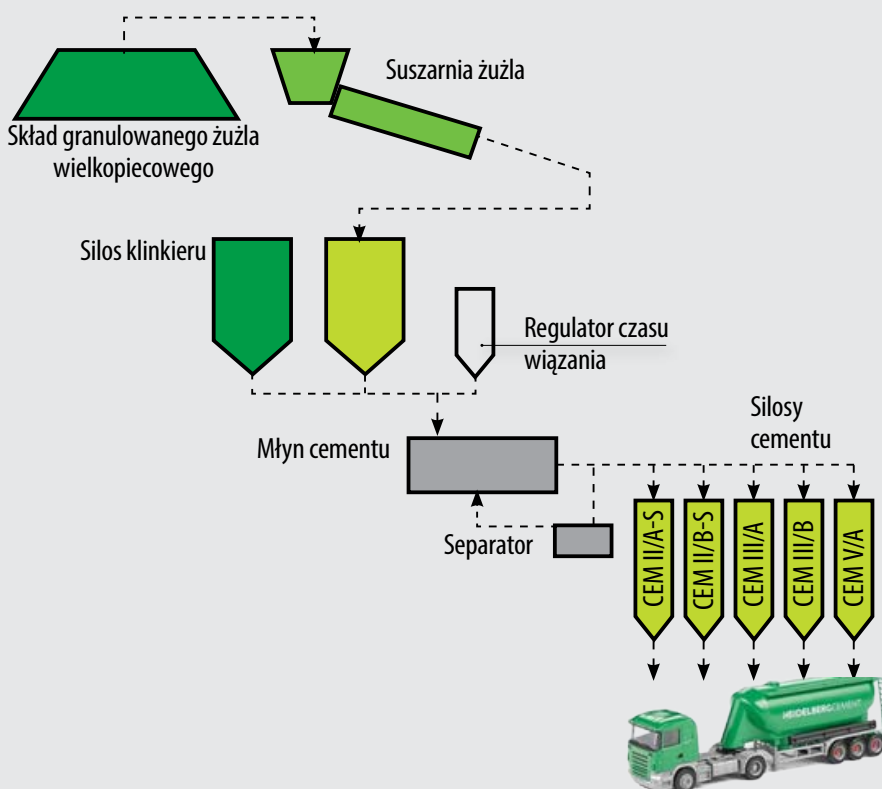
- związki zasadowe (np. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jako produkt hydratacji cementu, NaOH, szkło wodne),
- związki słabo kwaśne (np. CaSO_4),
- czynniki fizyczne (podwyższona temperatura i ciśnienie).

Produkcja cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy

Produkcja cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy może być prowadzona na dwa sposoby:

- wspólny przemiał składników – metoda tradycyjna (rys. 8),
- oddzielny przemiał składników i ich mieszanie (homogenizacja) – metoda alternatywna (rys. 9).

W metodzie tradycyjnej cement otrzymywany jest poprzez wspólny przemiał wysuszonego żużla z klinkierem portlandzkim i regulatorem czasu wiązania. Granulowany żużel wielkopiecowy jest składnikiem o wyższej twardości w porównaniu do klinkieru portlandzkiego, co przy stosowaniu metody tradycyjnej, obniża efektywność energetyczną i wydajność procesu przemiału, a przy tym uzyskanie cementu o wysokiej powierzchni właściwej jest znacznie utrudnione. W przypadku cementów o dużej zawartości żużla, np. cementy hutnicze CEM III, uzyskanie wysokiej powierzchni właściwej żużla jest bardzo istotne, z uwagi na konieczność zwiększenia jego reaktywności, a tym samym uzyskania pożądanych właściwości mechanicznych cementu (wytrzymałość na ściskanie). Z tego względu preferowana jest metoda alternatywna.



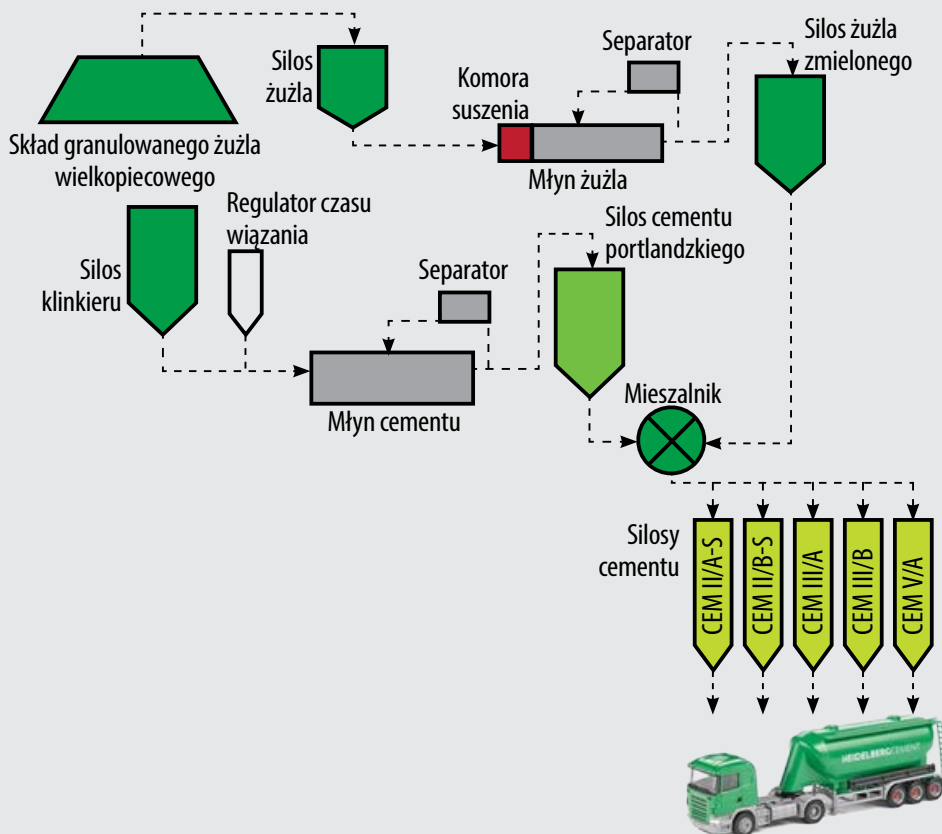
Rys. 8. Schemat produkcji cementu żużlowego metodą wspólnego przemiału

Metodą alternatywną jest rozwiązanie stosowane w nowoczesnych cementowniach wyposażonych w niezależne układy susząco-mielące, które umożliwiają oddzielny przemiał żużla oraz klinkieru portlandzkiego z regulatorem czasu wiązania.

W efekcie otrzymywane są dwa półprodukty:

- wysuszony i zmielony do odpowiedniej powierzchni właściwej granulowany żużel wielkopiecowy,
- cement portlandzki (klinkier portlandzki zmielony z regulatorem czasu wiązania).

W końcowym etapie produkcji, w mieszalniku, przeprowadzana jest homogenizacja składników (półproduktów) wprowadzanych w zoptymalizowanych i ustalonych proporcjach. Główną zaletą tej metody jest efektywniejszy proces przemiału żużla oraz łatwość dozowania półproduktów, a tym samym możliwość produkcji cementów o określonej zawartości żużla i pozostałych składników cementu.



Rys. 9. Schemat produkcji cementu żużlowego w układzie z mieszalnikiem

Właściwości cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy

Norma PN-EN 197-1 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dla cementów powszechnego użytku” wyszczególnia 9 głównych rodzajów cementów, których składnikiem głównym może być granulowany żużel wielkopiecowy (tabela 3).

W normie określone są wymagania w zakresie właściwości fizycznych i mechanicznych, składu chemicznego oraz wymagania dotyczące właściwości specjalnych cementów. Wymagania w zakresie właściwości specjalnych zawarte są ponadto w normie PN-B-19707 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”, stanowiącej krajowe uzupełnienie normy europejskiej PN-EN 197-1.

Tabela 3. Cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 197-1

Nazwa	Rodzaj cementu	Zawartość żużla w składzie cementu [%]
Cement portlandzki żużlowy	CEM II/A-S	6 – 20
	CEM II/B-S	21 – 35
Cement portlandzki wieloskładnikowy*	CEM II/A-M	12 – 20
	CEM II/B-M	21 – 35
Cement hutniczy	CEM III/A	36 – 65
	CEM III/B	66 – 80
	CEM III/C	81 – 95
Cement wieloskładnikowy*	CEM V/A	18 – 30
	CEM V/B	31 – 50

*) w składzie cementów CEM II/A, B-M oraz CEM V/A, B oprócz granulowanego żużla wielkopiecowego stosowane są inne nieklinkierowe składniki główne

Właściwości mechaniczne

Wytrzymałość wczesna i normowa

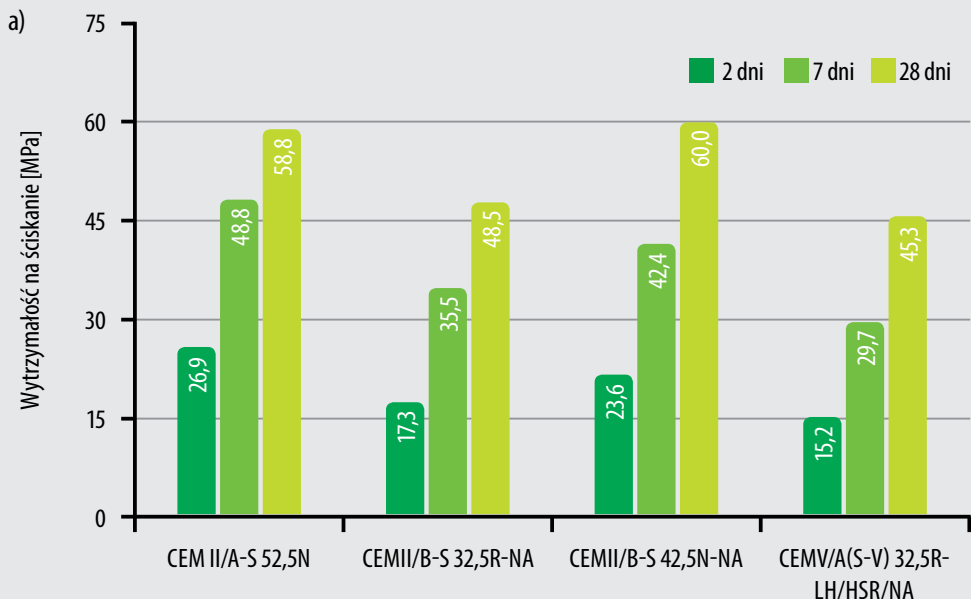
Wytrzymałość wczesna cementu jest to wytrzymałość na ściskanie określana po 2 lub po 7 dniach dojrzewania, wytrzymałość normową oznacza się po 28 dniach. Norma PN-EN 197-1 wyróżnia trzy klasy wytrzymałości wczesnej (niska L, normalna N, wysoka R) oraz trzy klasy wytrzymałości normowej (32,5; 42,5; 52,5) – tabela 4.

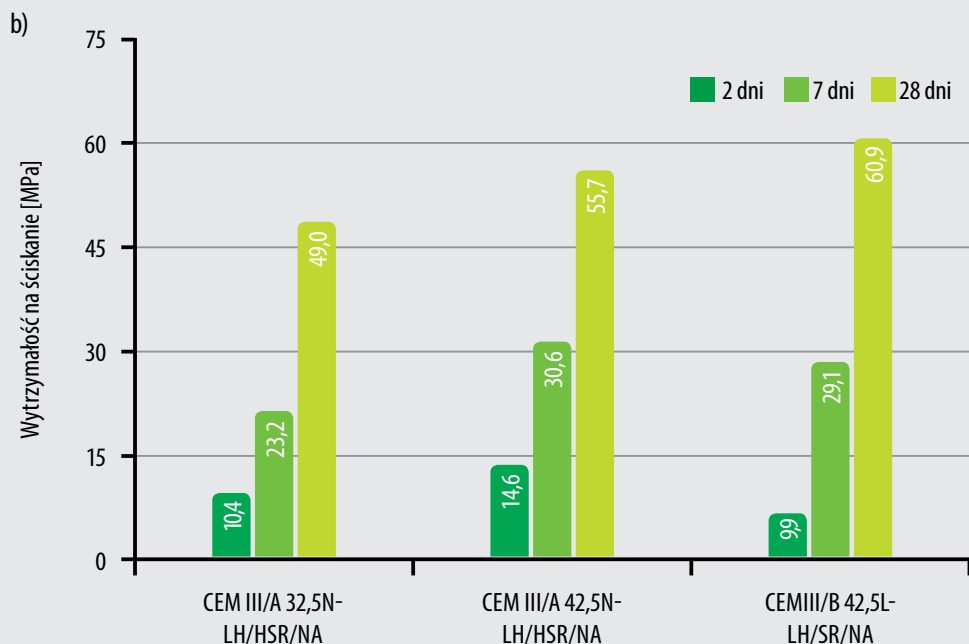
Tabela 4. Wymagania mechaniczne i fizyczne wg PN-EN 197-1

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]				Początek czasu wiązania [min]	Stałość objętości [mm]
	Wytrzymałość wczesna		Wytrzymałość normowa			
	2 dni	7 dni	28 dni			
32,5 L	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	-	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 L	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	-				
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 L	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	-				
52,5 R	≥ 30,0	-				

**KLASA WYTRZYMAŁOŚCI WCZESNEJ „L” ZGODNIE Z PN-EN 197-1
DEFINIOWANA JEST TYLKO DLA CEMENTÓW HUTNICZYCH (CEM III/A, B, C)**

Na rys. 10 przedstawiono właściwości mechaniczne cementów portlandzkich żuźlowych CEM II (rys. 10a), cementów hutniczych CEM III (rys. 10b) oraz cementu wielkoskładnikowego CEM V (rys. 10a) z oferty Górażdże Cement S.A.





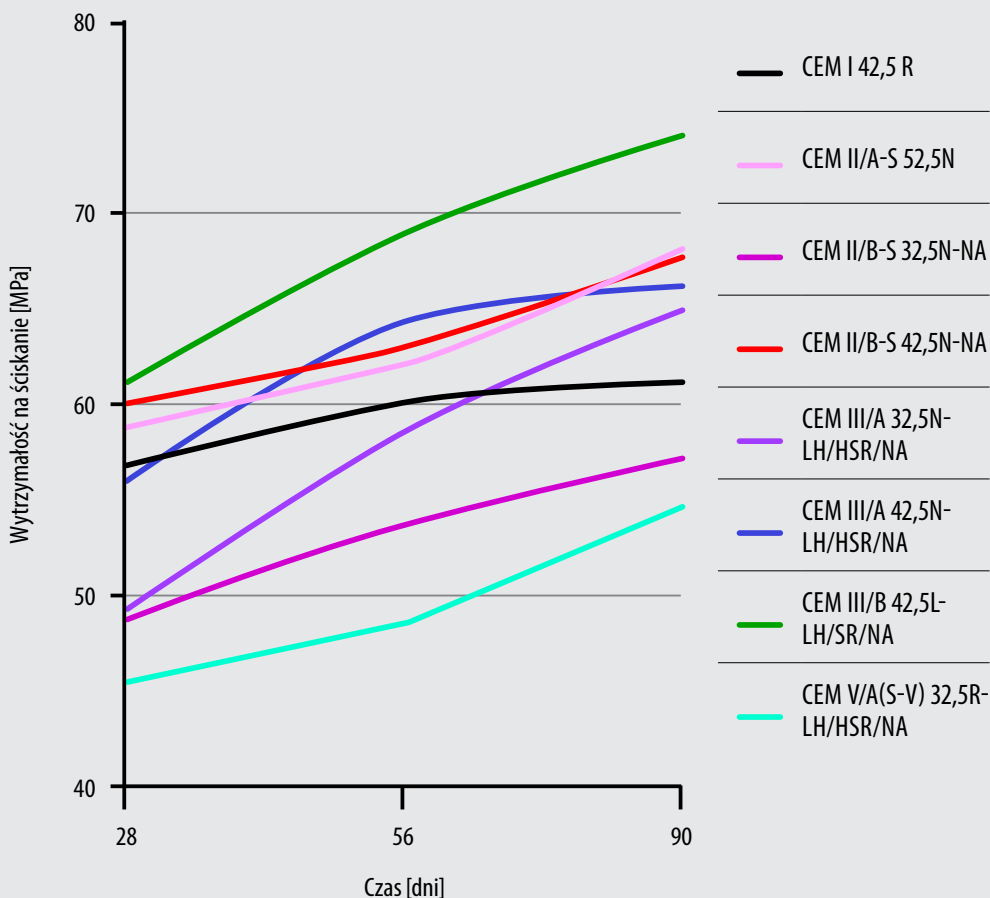
Rys. 10. Wytrzymałość wczesna i normowa cementów Górażdże Cement S.A.

a) cementów portlandzkich żuźlowych CEM II i cementu wieloskładnikowego CEM V, b) cementów hutniczych CEM III

Istotną zaletą cementów zawierających żużel jest znaczący przyrost wytrzymałości w długim okresie twardnienia. Cementy portlandzkie żuźlowe CEM II/A,B, cementy hutnicze CEM III/B oraz cement wieloskładnikowy CEM V charakteryzują się zdecydowanie wyższą wytrzymałością na ściskanie w terminach późniejszych w porównaniu do cementów portlandzkich (rys. 11). Dynamiczny rozwój wytrzymałości związany jest z dłuższym przebiegiem reakcji hydratacji żużla (stopień hydratacji), której produkty uszczelniają mikrostrukturę matrycy betonowej, co w efekcie zapewnia wysoką trwałość obiektom budowlanym. Z tego względu badania właściwości trwałościowych, szczególnie mrozoodporności, przeprowadza się w tzw. czasie równoważnym (tabela 5).

Tabela 5. Czas równoważny wykonywania badań w zależności od rodzaju cementu

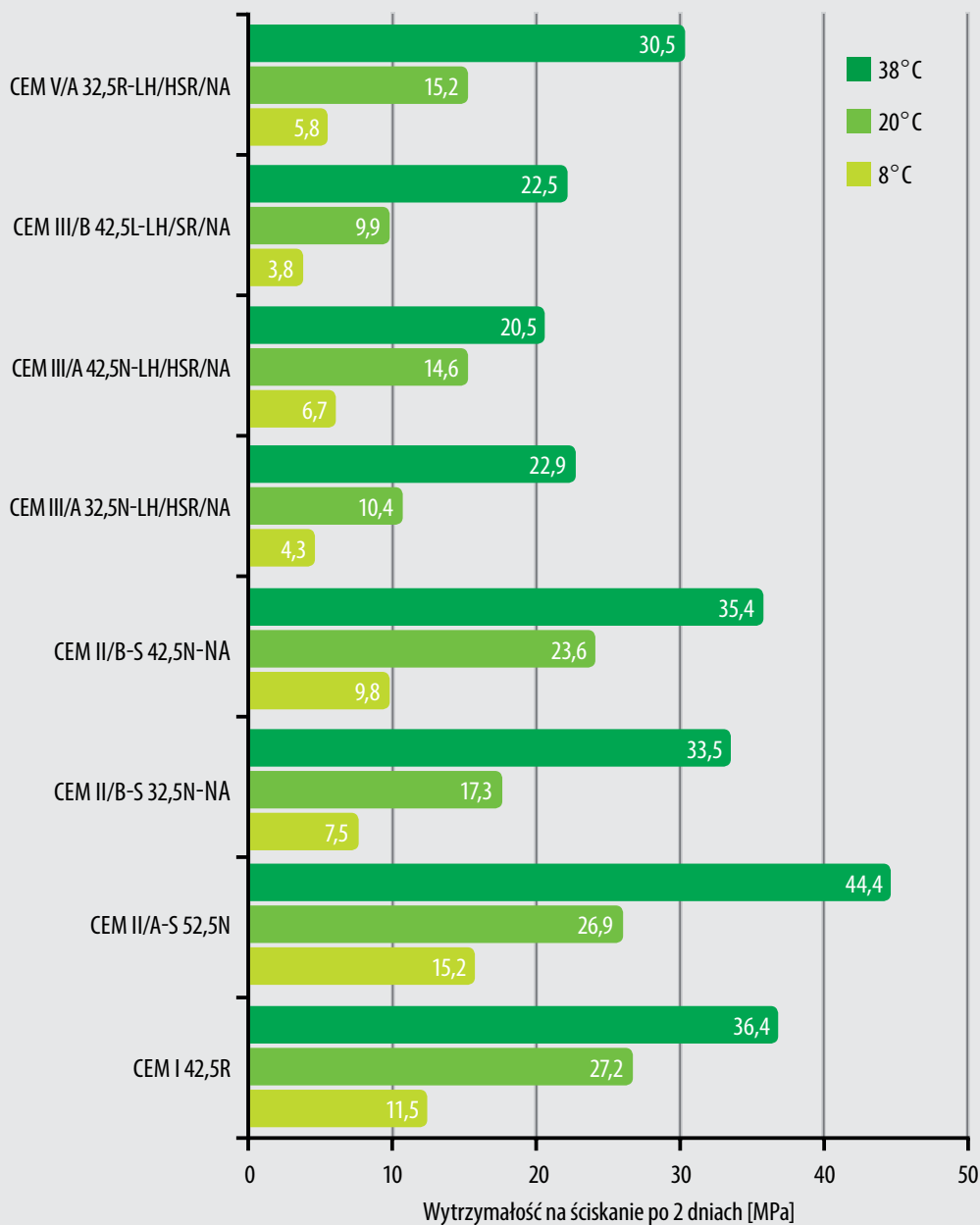
Rodzaj cementu	Czas równoważny
CEM I R CEM II/A R	28 dni
CEM I N CEM II/A N CEM II/B N,R CEM IV/A	56 dni
CEM III/A,B,C CEM IV/B N CEM V/A,B	90 dni



Rys. 11. Dynamika przyrostu wytrzymałości cementów żuźlowych w dłuższym okresie czasu

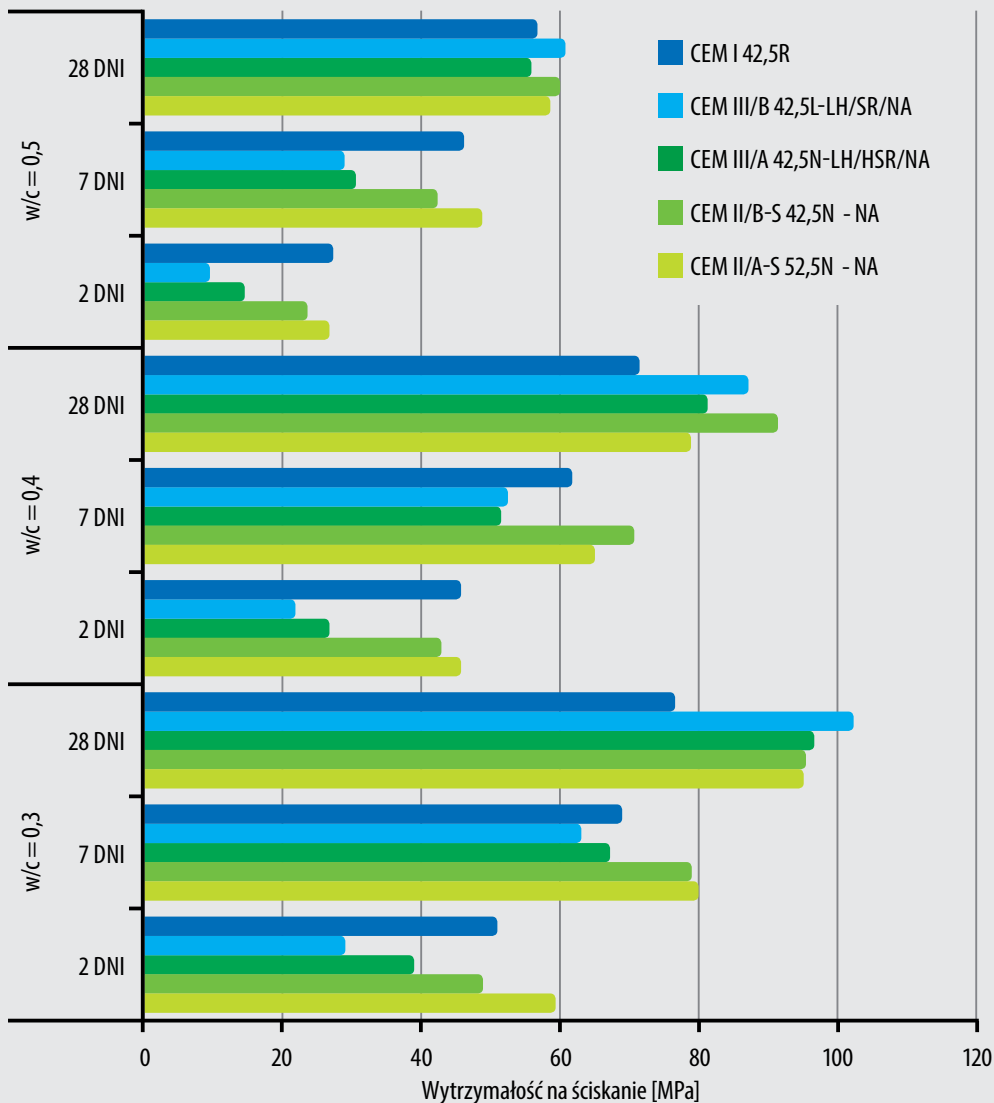
Znaczący wpływ na rozwój wytrzymałości cementów żuźlowych ma temperatura otoczenia. W przypadku podwyższonych temperatur (wiosna - lato), uzasadnione zarówno ekonomicznie, jak i technologicznie, jest stosowanie cementów hutniczych CEM III. W praktyce przyrost wytrzymałości zapraw i betonów wykonanych przy użyciu tych cementów jest wystarczająco intensywny, aby w stosunkowo krótkim czasie rozformować szalunek z wykonywanych elementów konstrukcyjnych (rys. 12).

W niskich temperaturach cementy zawierające żużel wielkopiecowy, szczególnie w dużych ilościach, hydratyzują wolniej, co przekłada się na spowolnienie tempa przyrostu wytrzymałości w początkowym okresie twardnienia. W warunkach obniżonych temperatur korzystniej jest zatem stosować cementy portlandzkie żuźlowe CEM II/A,B-S i hutnicze CEM III/A klas wytrzymałościowych $\geq 42,5$, ponieważ zapewniają odpowiedni przyrost wytrzymałości zapraw i betonów (rys. 12).



Rys. 12. Przyrost wytrzymałości wczesnej cementu w zależności od temperatury

Istotny wpływ na poziom wytrzymałości ma wielkość współczynnika w/c (rys. 13). Z tego względu, obniżenie współczynnika w/c w recepturach betonu opartych na cementach żuźlowych, pozwala korzystnie kształtować nie tylko urabialność mieszanki, ale także wytrzymałość (rys. 13) i trwałość zapraw i betonów.



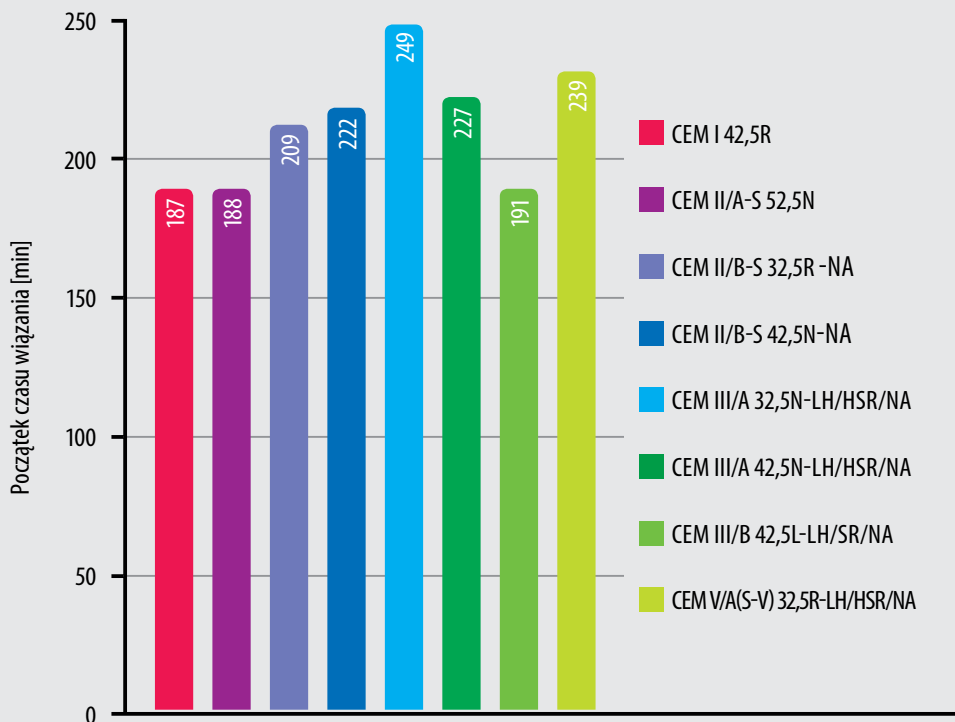
Rys. 13. Wpływ współczynnika w/c na wytrzymałość zapraw cementowych

Właściwości fizyczne

Początek czasu wiązania

Oznaczenie początku czasu wiązania ma zasadnicze znaczenie z punktu widzenia praktyki budowlanej i technologii betonu. Cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy charakteryzują się znacznie dłuższym początkiem czasu wiązania niż cementy portlandzkie tej samej klasy wytrzymałościowej. Wydłużony początek czasu wiązania pozwala korzystnie kształtować właściwości reologiczne (konsystencja, urabialność) mieszanek betonowych i zapraw w dłuższym okresie czasu. Według normy PN-EN 197-1 cement,

w zależności od klasy wytrzymałościowej, powinien charakteryzować się określonym początkiem czasu wiązania (tabela 4). Na rys. 14 przedstawiono wyniki oznaczenia początku czasu wiązania cementów żuźlowych z oferty Górażdże Cement S.A.



Rys. 14. Początek czasu wiązania cementów żuźlowych z oferty Górażdże Cement S.A.

Stalność objętości

Objętość hydratyzującego zaczynu ulega nieznacznym zmianom wskutek zjawisk skurczowych. Szczególnym zagrożeniem dla zaczynu (zaprawy, betonu) są jednak zmiany objętości wywołane pęcznieniem w wyniku opóźnionej hydratacji wolnego CaO lub MgO. Dopuszczalny poziom zmian objętości, zgodnie z normą PN-EN 197-1 wynosi 10mm (tabela 4). Cementy z oferty Górażdże Cement S.A., zawierające granulowany żużel wielkopiecowy, praktycznie nie wykazują zmian objętości – średnie wyniki oznaczeń nie przekraczają 1mm.

Właściwości chemiczne

Właściwości chemiczne cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy, w odniesieniu do wymagań normy PN-EN 197-1, przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Właściwości cementów CEM II i CEM III z oferty Górażdże Cement S.A. w odniesieniu do wymagań normy PN-EN 197-1

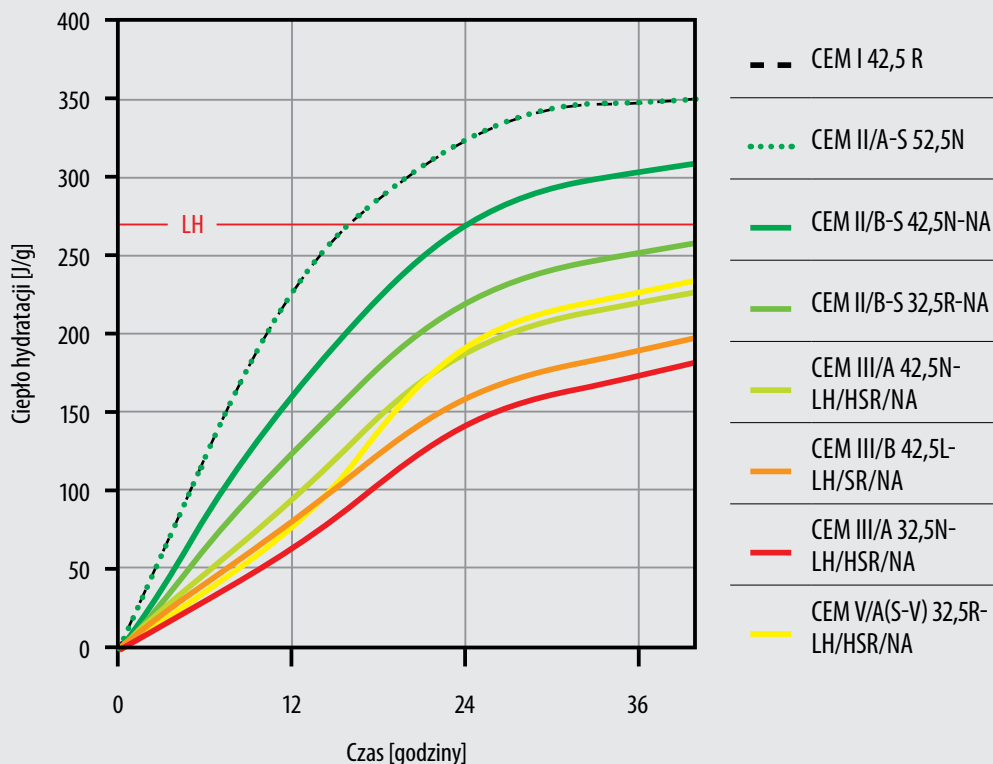
Właściwość	Rodzaj cementu Górażdże Cement S.A.	Wymaganie [%]	Wartość średnia [%]
Starta prażenia	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	≤ 5,0%	0,64
	CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA		1,16
	CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA		0,46
Pozostałość nierozpuszczalna	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	≤ 5,0%	1,20
	CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA		0,30
	CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA		0,25
Zawartość siarczanów (SO ₃)	CEM II/A-S 52,5N	≤ 4,0%	2,82
	CEM II/B-S 32,5R - NA	≤ 3,5%	2,68
	CEM II/B-S 42,5N - NA		2,08
	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	≤ 4,0%	1,70
	CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA		2,32
	CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA		1,63
	CEM V/A (S-V) 32,5R – LH/HSR/NA	≤ 3,5%	2,09
Zawartość chlorków	CEM II/A-S 52,5N	≤ 0,10 %	0,076
	CEM II/B-S 32,5R - NA		0,075
	CEM II/B-S 42,5N - NA		0,070
	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA		0,068
	CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA		0,085
	CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA		0,066
	CEM V/A (S-V) 32,5R – LH/HSR/NA		0,077

Właściwości specjalne

W wielu zastosowaniach, szczególnie w agresywnych warunkach środowiskowych, wybór cementu ma wpływ na trwałość betonu, zapraw i zaczynu. Opis środowisk agresywnych, usystematyzowany w postaci klas ekspozycji, podaje norma PN-EN 206+A1:2016 „Beton. Wymagania, właściwości produkcyjna i zgodność.”

Cementy o niskim ciepłe hydratacji

Reakcja cementu z wodą przebiega z wydzieleniem znacznych ilości ciepła, co powoduje wzrost temperatury hydratyzującego zaczynu (zaprawy, betonu). Całkowita ilość wydzielonego ciepła i szybkość jego wydzielania zależą od wielu czynników, z czego bardzo istotnym jest rodzaj i udział składników głównych w cemencie, zwłaszcza klinkieru portlandzkiego. Cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy charakteryzują się niższym ciepłem hydratacji niż cementy portlandzkie CEM I tej samej klasy wytrzymałościowej, a dynamika wydzielania ciepła jest uzależniona od zawartości żużla w składzie cementu (rys. 15).



Rys. 15. Ciepło hydratacji cementów żuźlowych z oferty Góraźdze Cement S.A.

Norma PN-EN 197-1 definiuje pojęcie cementu o niskim cieple hydratacji LH. W myśl normy wszystkie cementy, dla których ilość wydzielonego ciepła w procesie hydratacji nie przekracza 270 J/g (tabela 7), mogą być oznaczone jako cementy LH. W ofercie Góraźdze Cement S.A. dostępne są 3 cementy hutnicze CEM III i cement wieloskładnikowy CEM V o niskim cieple hydratacji:

- CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA,
- CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA,
- CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA,
- CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA.

Stosowanie cementów o niskim cieple hydratacji LH ogranicza ryzyko powstawania naprężeń i spękań termicznych w młodym betonie, z tego względu cementy LH zalecane są przy wykonywaniu betonowych konstrukcji masywnych, np. fundamentów, przyczółków mostowych, budowli hydrotechnicznych, zbiorników na wodę i ścieki, itp.

Tabela 7. Wymagania dla cementu o niskim ciepłe hydratacji – LH, wg PN-EN 197-1

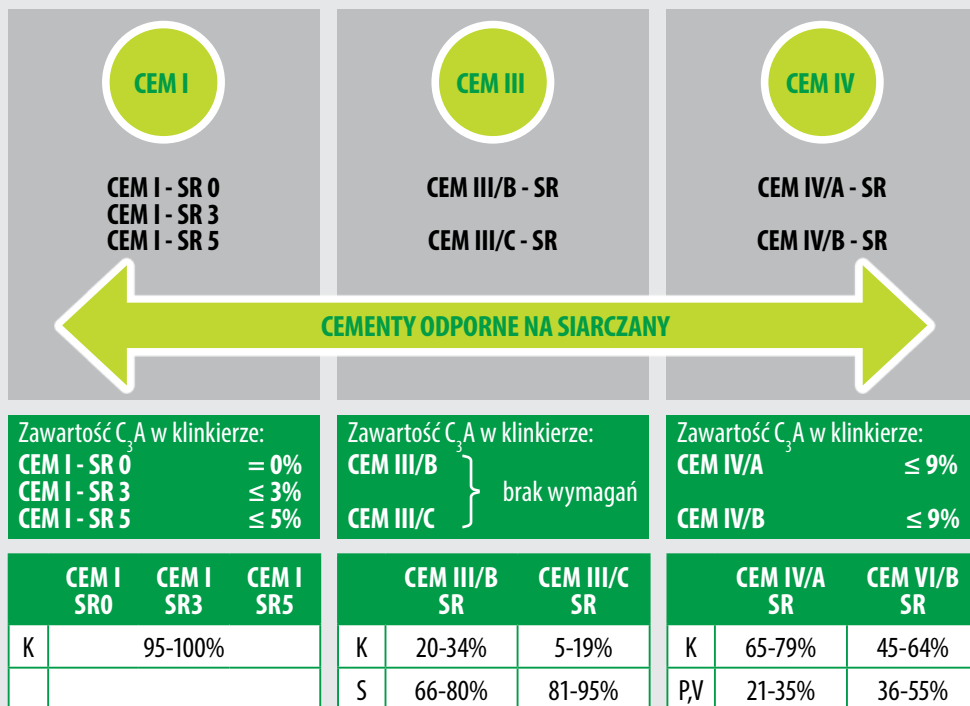
Rodzaj cementu	Wymagania
CEM I do CEM V	Ciepło hydratacji po 41 godzinach poniżej 270 J/g (metoda semiadiabatyczna wg PN-EN 196-9)
	Ciepło hydratacji po 7 dniach poniżej 270 J/g (metoda ciepła rozpuszczania wg PN-EN 196-8)

Wprowadzenie granulowanego żużla wielkopiecowego do składu cementu wpływa korzystnie na jego odporność na oddziaływanie środowisk agresywnych chemicznie. O podwyższonej odporności na agresję chemiczną cementów hutniczych decydują następujące czynniki:

- ograniczenie zawartości faz klinkierowych podatnych na korozję, tj. glinianu trójwapniowego C_3A w składzie cementu,
- zmniejszenie zawartości portlandytu $Ca(OH)_2$ w stwardniałym zaczynie cementowym w wyniku jego reakcji ze składnikami żużla,
- zmiana mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego – zmniejszenie zawartości porów kapilarnych,
- szczelna struktura betonu wskutek utworzenia dodatkowej ilości produktów hydratacji, głównie fazy C-S-H.

Cementy odporne na siarczany (SR, HSR)

W aspekcie trwałości szczególnie istotna jest odporność na korozję chemiczną betonu, opisaną w PN-EN 206+A1:2016 jako klasa ekspozycji XA. Jeżeli stężenie siarczanów w gruntach lub wodzie gruntowej wskazuje na klasy XA2 lub XA3 zalecane jest stosowanie cementów odpornych na siarczany (SR lub HSR). Z tego względu norma PN-EN 197-1 wyróżniając cementy odporne na siarczany wprowadza ograniczenie zawartości C_3A w klinkierze cementu portlandzkiego SR (rys. 16). Zgodnie z normą PN-EN 197-1, spośród cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy, do grupy cementów odpornych na siarczany SR zaliczyć można jedynie cementy hutnicze CEM III/B i CEM III/C (rys. 16). Wśród cementów oferowanych przez Górażdże Cement S.A. jest to cement hutniczy CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA.



Składniki drugorzędne - zawartość w cementach SR 0-5%

Rys. 16. Cementy odporne na siarczany SR wg PN-EN 197-1

Krajowa norma PN-B 19707 dodatkowo klasyfikuje cementy z uwagi na odporność na siarczany, jako cementy HSR (tabela 8). Są to pełnowartościowe cementy do stosowania w klasach ekspozycji XA2 i XA3 w przypadku korozji siarczanowej. W ofercie Górażdże Cement S.A. spośród cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy dostępne są cementy:

- CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA,
- CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA,
- CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA.

Tabela 8. Skład i wymagania dla cementu odpornego na siarczany HSR wg PN-B-19707

Rodzaj cementu HSR	Skład cementu specjalnego	Odporność na siarczany	Klinkier
	Wymagania dodatkowe	Wymagania	Wymagania
CEM II/A-V CEM II/A-S CEM II/A-M (S-V) CEM II/B-S	brak	Wartość ekspansji w roztworze Na_2SO_4 po 52 tygodniach $\leq 0,5\%$	Zawartość glinianu trójwapniowego $\text{C}_3\text{A} \leq 5\%$
CEM II/B-V	popiół lotny krzemionkowy $V \geq 25\%$		-
CEM II/B-M (S-V)	popiół lotny krzemionkowy $V \geq 20\%$		-
CEM III/A	granulowany żużel wielkopiecowy $S \leq 49\%$		Zawartość glinianu trójwapniowego $\text{C}_3\text{A} \leq 9\%$
CEM III/A	granulowany żużel wielkopiecowy $S \geq 50\%$		-
CEM V/A (S-V) CEM V/B (S-V)	brak		-

Cementy niskoalkaliczne (NA)

Z uwagi na trwałość betonu, w przypadku stosowania kruszyw potencjalnie reaktywnych (zawierających reaktywne formy krzemionki), należy stosować cementy niskoalkaliczne NA, które spełniają wymagania normy PN-B 19707 (tabela 9). W wyniku chemicznego oddziaływania alkaliów zawartych w zacznym cementowym z reaktywnymi formami krzemionki w kruszywie (opal, chalcedon, trydymit) powstają związki, które mają zdolność do wchłaniania wody, a w efekcie pęcznienia i zwiększania swojej objętości, co skutkować może całkowitą destrukcją betonu, najczęściej po wielu latach eksploatacji.

Tabela 9. Skład i wymagania dla cementu niskoalkalicznego NA wg PN-B-19707 oraz zawartość alkaliów czynnych w cementach

Rodzaj cementu NA	Skład cementu specjalnego	Całkowita zawartość alkaliów wyrażona jako $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$	Alkalia czynne* $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$
	Wymagania dodatkowe	Wymagania [%]	Zawartość [%]
CEM I CEM II/A-LL	-	$\leq 0,60$	0,30-0,47
CEM II/A-V	popiół lotny krzemionkowy $V \geq 14 \%$	$\leq 1,20$	0,51
CEM II/A-S	granulowany żużel wielkopiecowy $S \geq 14 \%$	$\leq 0,70$	0,48
CEM II/A-M (S-V)	suma popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \geq 14 \%$	$\leq 1,20$	0,47
CEM II/B-V	popiół lotny krzemionkowy $V \geq 25 \%$	$\leq 1,50$	0,52
CEM II/B-S	-	$\leq 0,80$	0,48
CEM II/B-M (S-V)	popiół lotny krzemionkowy $V \geq 20 \%$	$\leq 1,30$	0,51
CEM III/A	granulowany żużel wielkopiecowy $S \leq 49 \%$	$\leq 0,95$	0,28
	granulowany żużel wielkopiecowy $S \geq 50 \%$	$\leq 1,10$	0,34
CEM III/B CEM III/C	-	$\leq 2,00$	0,18-0,25
CEM IV/A (V)	popiół lotny krzemionkowy $V \geq 25 \%$	$\leq 1,50$	0,48
CEM IV/B (V)	-	$\leq 2,00$	0,36
CEM V/A (S-V)	suma popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \leq 49 \%$	$\leq 1,60$	0,28
	suma popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \geq 50 \%$	$\leq 2,00$	0,16
CEM V/B (S-V)	-	$\leq 2,00$	0,16-0,21

* oznaczenie wg metody ASTM C114-04

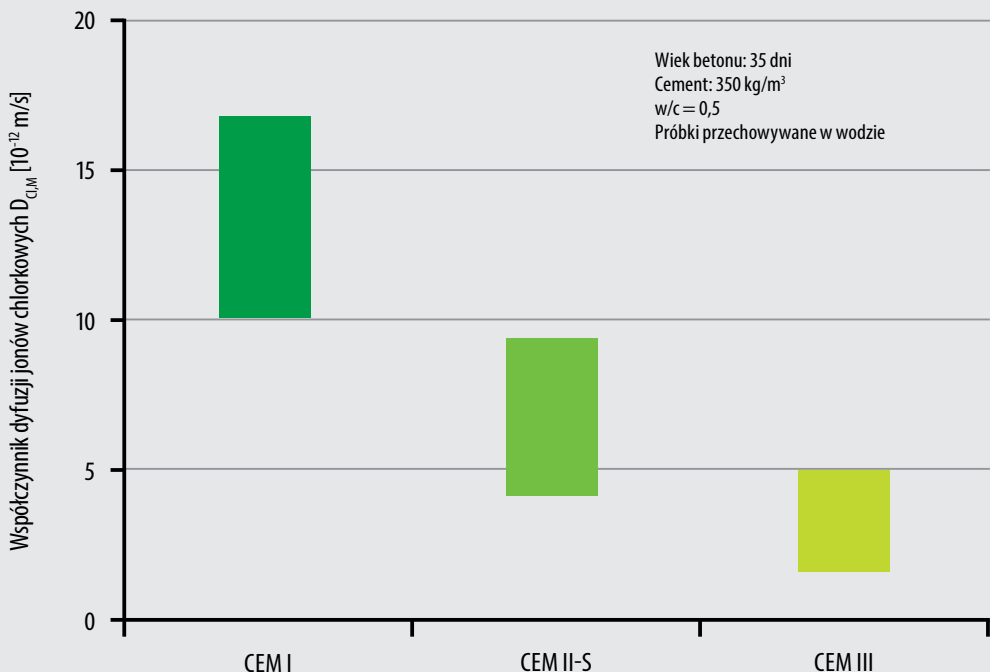
Oferowane przez Górażdże Cement S.A. cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy, tj. cementy portlandzkie żużlowe i cementy hutnicze spełniają wymagania normy PN-B-19707 dla cementu niskoalkalicznego NA (tabela 9):

- CEM II/B-S 32,5R-NA ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,67\%$),
- CEM II/B-S 42,5R-NA ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,64\%$),
- CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,75\%$),
- CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,79\%$),
- CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,72\%$),
- CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 1,10\%$).

Inne właściwości cementów żużlowych (nienormowe)

Odporność na korozję chlorkową

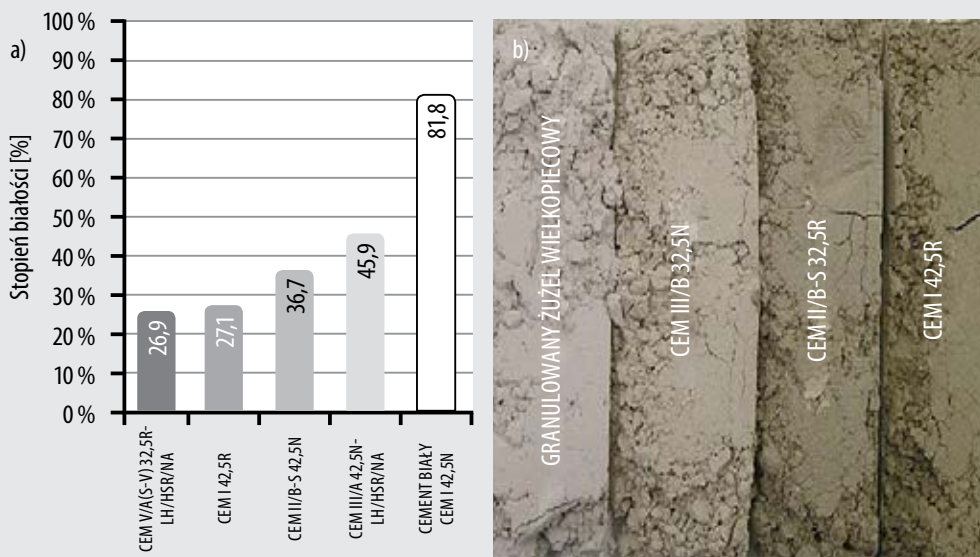
Kompozyty cementowe zawierające w składzie granulowany żużel wielkopiecowy charakteryzują się dobrą odpornością na przenikanie jonów chlorkowych, co jest efektem szczelnej matrycy cementowej. Ponadto, przepuszczalność jonów chlorkowych zmniejsza się proporcjonalnie do zwiększającej się zawartości żużla w cemencie (rys. 17) i zależy od jego aktywności. Z punktu widzenia kształtowania mikrostruktury matrycy cementowej, istotna jest także wielkość współczynnika w/c.



Rys. 17. Zależność współczynnika dyfuzji jonów chlorkowych od zawartości granulowanego żużla wielkopiecowego w cemencie

Barwa cementu

Barwa cementów żuźlowych związana jest z jasną barwą mielonego żuźla wielkopieczowego. Im większa zawartość żuźla, tym jaśniejszy odcień cementu (rys. 18). Stosowanie cementów zawierających granulowany żużel wielkopieczowy do produkcji zapraw i betonów barwionych w masie (kostka brukowa, dachówka, elementy małej architektury, beton architektoniczny), pozwala uzyskać intensywniejszy odcień koloru lub ograniczyć dozowanie pigmentów.



Rys. 18. Barwa cementu a) stopień białości, b) wpływ zawartości granulowanego żuźla wielkopieczowego

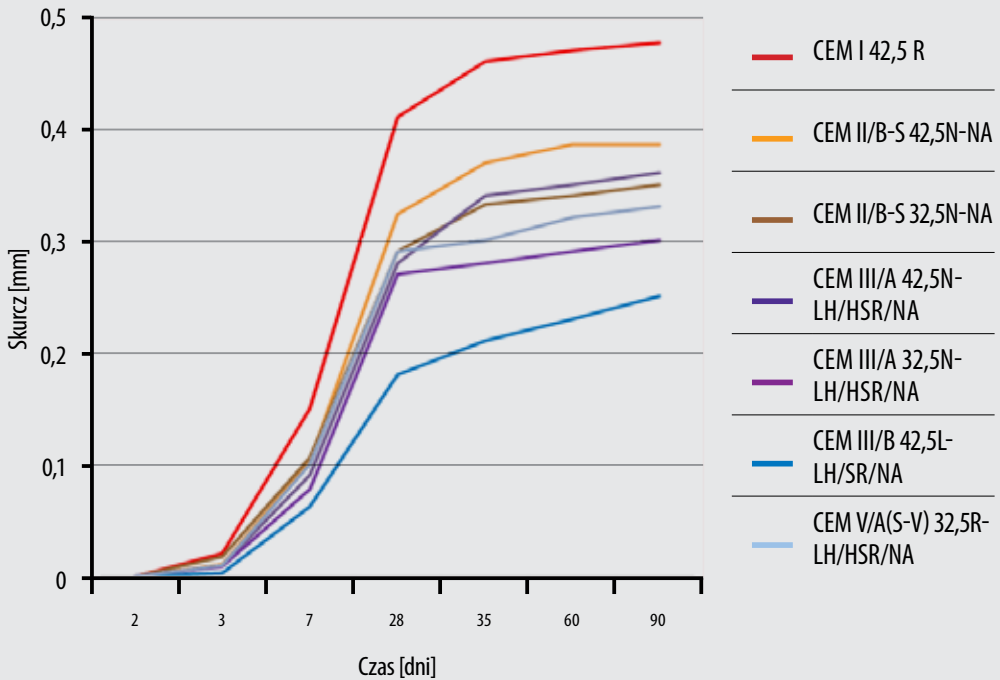
Skurcz

Zmiany objętości betonu spowodowane przeobrażaniem się struktury zaczynu cementowego na skutek fizyko-chemicznych procesów utraty wody w wyniku wiązania, twardnienia i wysychania betonu określane są jako skurcz. Skurcz betonu jest istotny z punktu widzenia trwałości, nie jest jednak wadą jakościową cementu, a raczej wynikiem błędów wykonawczych. Spękania betonu wskutek skurczu znacznie obniżają szczelność, co ułatwia dostęp mediów agresywnych (gazów, cieczy) do wnętrza betonu.

Skurcz betonu nie jest tożsamy ze skurczem zaczynu cementowego, o tym samym współczynniku w/c i analogicznych warunkach dojrzewania. Skurcz betonu jest mniejszy niż skurcz zaczynu, jednakże wraz ze wzrostem objętości zaczynu w 1m³ betonu wzrasta jego skurcz. Wielkość odształceń skurczowych, zależy od wielu czynników:

- wielkości współczynnika w/c,
- ilości i uziarnienia kruszywa (szczególnie istotna jest zawartość frakcji piaskowej),
- ilości i rodzaju cementu,
- ilości i rodzaju dodatku do betonu,
- warunków termiczno-wilgotnościowych,
- metody i czasu pielęgnacji.

Na rys. 19 przedstawiono skurcz zapraw normowych wykonanych z cementów oferowanych przez Górażdże Cement S.A. Najmniejszym skurczem charakteryzują się zaprawy wykonane z cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy, im większy jest udział żużla w składzie cementu, tym mniejszy skurcz wykazuje zaprawa cementowa. Z tego względu cementy portlandzkie żużlowe oraz cementy hutnicze znajdują zastosowanie w budowie obiektów o dużej powierzchni (np. nawierzchnie drogowe, place, posadzki) i/lub kubaturze (betony masywne).



Rys. 19. Skurcz normowych zapraw cementowych

Pielęgnacja betonu

Zapewnienie trwałości elementów betonowych konstrukcji uwarunkowane jest odpowiednim przeprowadzeniem każdego etapu robót monolitycznych, począwszy od etapu doboru technologii wykonania konstrukcji i projektowania składu mieszanki betonowej. Norma PN-EN 13670 „Wykonywanie konstrukcji betonowych” w wytycznych odnośnie pielęgnacji i ochrony betonu zaleca, aby po zagęszczeniu i wykończeniu powierzchni betonu, bezzwłocznie poddać ją pielęgnacji.

Pielęgnacja betonu ma na celu:

- zapewnienie optymalnych warunków ciepło-wilgotnościowych w dojrzewającym betonie (wspomaganie przebiegu procesu hydratacji cementu),
- ochronę wykonanego betonu przed szkodliwym wpływem promieni słonecznych, wiatru, opadów atmosferycznych,
- przeciwdziałanie skurczowi spowodowanemu wysychaniem betonu,
- redukcję różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią betonu a jego rdzeniem (ograniczenie naprężeń termicznych i ryzyka spękań betonu),
- zapobieganie zamarzaniu wody zarobowej i prawidłowy rozwój wytrzymałości betonu w obniżonych temperaturach otoczenia.

Pielęgnację powierzchni betonu należy rozpocząć bezzwłocznie po zakończeniu operacji zagęszczania i wykańczania powierzchni betonu, tam gdzie jest to konieczne. W razie konieczności ochrony powierzchni betonu przed nadaniem jej ostatecznej tekstury, należy stosować pielęgnację tymczasową.

Beton wykonywany z cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy wymaga prowadzenia pielęgnacji w dłuższym okresie czasu niż beton z cementu portlandzkiego (tabela 10).

Tabela 10. Minimalny czas pielęgnacji mokrej młodego betonu

Warunki atmosferyczne	Minimalny czas pielęgnacji		
	cement portlandzki CEM I	cement portlandzki żużlowy CEM II/A, B-S	cement hutniczy CEM III
silne nasłonecznienie silny wiatr wilgotność względna powietrza <50%	2 dni	4 dni	5 dni
średnie nasłonecznienie średni wiatr wilgotność względna powietrza 50–80%	1 dzień	3 dni	4 dni
słabe nasłonecznienie słaby wiatr wilgotność względna powietrza >80%	1 dzień	2 dni	3 dni

Wytyczne dotyczące pielęgnacji elementów betonowych wg normy PN-EN 13670:

- metody pielęgnacji powinny zapewnić niski stopień odparowania wody z powierzchni betonu lub utrzymywać powierzchnie w stanie całkowicie nasyconym,
- w przypadku niebezpieczeństwa wystąpienia skurczu plastycznego, pielęgnację należy rozpocząć przed ukończeniem procesu zagęszczania mieszanki betonowej oraz wykańczania powierzchni elementu,
- jeżeli istnieje niebezpieczeństwo, że beton we wczesnym stadium dojrzewania będzie narażony na agresywne oddziaływanie środowiska, sposoby pielęgnacji muszą być opisane w specyfikacji wykonawczej,
- w przypadku betonów wysokich wytrzymałości oraz betonów samozagęszczalnych należy przedsięwziąć specjalne środki w celu zapobieżenia spękanom w wyniku skurczu plastycznego,
- czas trwania pielęgnacji elementu jest powiązany z rozwojem wytrzymałości w strefie powierzchniowej betonu; określony został poprzez klasy pielęgnacji zdefiniowane jako czas bądź procent wytrzymałości charakterystycznej 28-dniowej, przy którym możliwe jest zakończenie procesu pielęgnacji (tabela 11),
- klasy pielęgnacji powinny być określone w specyfikacji technicznej wykonawczej,
- specjalne wymagania dotyczące pielęgnacji mogą być podane w specyfikacji wykonawczej,
- środki chemiczne do pielęgnacji nie powinny być stosowane na powierzchniach betonowych o specjalnych wymaganiach, chyba że zostanie udowodnione, iż nie mają negatywnego wpływu na proces wykończenia powierzchni,
- temperatura powierzchni betonu nie może być niższa niż 0°C, do momentu gdy strefa powierzchniowa osiągnie wytrzymałość min. 5 MPa,
- temperatura wnętrza elementu betonowego nie może przekroczyć 70°C, chyba że zostanie udowodnione, iż dobór składników zabezpiecza przed wpływem wysokiej temperatury,
- specyfikacja wykonawcza powinna zawierać zasady dotyczące redukcji niebezpieczeństwa wystąpienia naprężeń termicznych w młodym betonie, np. stosowanie cementów o niskim ciepłe hydratacji (LH), stosowanie instalacji chłodzących, itp.

Tabela 11. Klasy pielęgnacji

Czas [h]	Klasa 1.	Klasa 2.	Klasa 3.	Klasa 4.
	12 ^{a)}	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Specyfikowana charakterystyczna wytrzymałość 28-dniowa [%]	nie dotyczy	35	50	70
^{a)} jeżeli czas początku wiązania ≤ 5 godz. i temperatura powierzchni betonu jest ≥ niż 5°C				

Pielęgnację młodego betonu przeprowadza się w celu:

- ➔ minimalizacji skurczu plastycznego,
- ➔ zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej,
- ➔ zapewnienia odpowiedniej trwałości strefy powierzchniowej,
- ➔ zabezpieczenia przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych i zamarzaniem,
- ➔ zabezpieczenia przed drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Doбір właściwej metody jest uzależniony od warunków pogodowych i możliwości technicznych. Do najczęściej stosowanych sposobów należą:

- pielęgnacja na mokro – zraszanie betonu wodą, okrywanie wilgotnymi matami jutowymi lub geowłókniną,
- stosowanie osłon – okrywanie folią lub płytami z materiałów izolacyjnych (wełny mineralnej lub styropianu), wykonanie namiotu ochronnego w miejscu wbudowania betonu,
- stosowanie preparatów do pielęgnacji betonu – pokrycie powierzchni świeżego betonu filmem ochronnym preparatu.

W praktyce najprostszą i najdokładniejszą metodą jest pomiar temperatury powierzchni betonu w odniesieniu do wytycznych zawartych w normie PN-EN 13670 – tabele 12÷14.

Tabela 12. Minimalny okres pielęgnacji dla 2. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 35% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} ($f_{cm_2} / f_{cm_{28}} = r$)		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	2,0	5	11

^{a)} W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
^{b)} W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
^{c)} Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
^{d)} Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Tabela 13. Minimalny okres pielęgnacji dla 3. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 50% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} $(f_{cm_2} / f_{cm_{28}}) = r$		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	3,5	9	18

a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Tabela 14. Minimalny okres pielęgnacji dla 4. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 70% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} $(f_{cm_2} / f_{cm_{28}}) = r$		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	9	18	30

a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Zastosowanie cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy

Stosowanie cementów portlandzkich żużlowych CEM II/A,B-S, cementów hutniczych CEM III oraz cementu wieloskładnikowego CEM V jest rozwiązaniem efektywnym i uzasadnionym technicznie.

Kierunki stosowania cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy:

- produkcja betonu towarowego,
- produkcja betonów samozagęszczalnych (SCC),
- produkcja prefabrykatów i galanterii betonowej (kostka brukowa, krawężniki, itp.), zalecane cementy wyższych klas wytrzymałościowych – CEM II/A-S 52,5N, CEM II/B-S 42,5N-NA, CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA,
- produkcja dachówki cementowej – zalecany cement CEM II/A-S 52,5N,
- produkcja zapraw i betonów barwionych w masie,
- betonowanie w warunkach podwyższonych temperatur, zalecane cementy o niskim ciepłe hydratacji LH – CEM III/A 32,5N - LH/HSR/NA, CEM III/A 42,5N - LH/HSR/NA, CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA,
- produkcja elementów poddanych niskociśnieniowej obróbce cieplnej,
- wykonywanie posadzek betonowych – zalecany cement CEM II/B-S 32,5R-NA, CEM II/B-S 42,5N - NA,
- produkcja betonów odpornych na agresję chemiczną (obiekty oczyszczalni ścieków, składowiska odpadów) – klasy ekspozycji XA2 i XA3 wg PN-EN 206,
- wykonywanie obiektów w budownictwie hydrotechnicznym i morskim (jazy, zapory, nabrzeża),
- wykonywanie nawierzchni drogowych, parkingowych, chodnikowych, itp.,
- produkcja zapraw murarskich i tynkarskich.



Przykłady obiektów zrealizowanych z zastosowaniem cementów żużlowych

W ostatnich latach z zastosowaniem cementów żużlowych i hutniczych oferowanych przez Górażdże Cement S.A. wykonano szereg obiektów budowlanych i konstrukcji inżynierskich. Realizacje te potwierdzają, że cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy są pełnowartościowym składnikiem trwałego betonu wysokiej jakości.

- ➔ Elektrownia Opole – fundamenty obiektów bloków nr 5 i 6
Fundament obiektów bloku 5 – cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA
Fundament obiektów bloku 6 – cement hutniczy CEM III/B 42,5L-LH/SR/NA





→ Elektrownia Jaworzno III – chłodnia kominowa
Cement hutniczy CEM III/A 42,5N – LH/HSR/NA



- Marina III na Wyspie Pomorskiej we Wrocławiu
Cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA + barwnik grafitowy



- Prefabrykowane elementy systemów kanalizacyjnych
Rury Witros - cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S 52,5N



Rura przeciskowa – cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA



Studnia styczna – cement portlandzki żuźłowy CEM II/A-S 52,5N



→ Hala Stulecia we Wrocławiu (wybudowana w latach 1911÷1913)
Odpowiednik cementu CEM II/B-S wg PN-EN 197-1



Zapamiętaj!

Stosowanie cementów żuźlowych umożliwia wykonanie wysokiej jakości betonów o odpowiednim poziomie wytrzymałości, mrozoodpornych, szczelnych i odpornych na korozję chemiczną, jeżeli:

- skład mieszanki betonowej został dobrany w sposób prawidłowy - szczególną uwagę należy zwrócić na ilość wody w betonie - współczynnik w/c,
- warunki techniczne produkcji, transportu i zabudowy mieszanki betonowej (układania i zagęszczania) zostały zapewnione na odpowiednim poziomie z zachowaniem reżimu technologicznego i zasad sztuki budowlanej, zastosowano odpowiednią metodę i długość okresu pielęgnacji młodego betonu.

**BETON Z CEMENTÓW ZAWIERAJĄCYCH GRANULOWANY ŻUŻEL
WIELKOPIECOWY TO BETON TRWAŁY I PRZYJAZNY ŚRODOWISKU!**



Właściwości spoiw drogowych zawierających granulowany żużel wielkopiecowy

Hydrauliczne spoiwa drogowe Multicrete produkowane są w oparciu o dwa składniki główne, tj. klinkier cementu portlandzkiego oraz granulowany żużel wielkopiecowy. Stosowanie granulowanego żużla wielkopiecowego do produkcji spoiw drogowych modyfikuje szereg cech użytkowych spoiw, w szczególności zwiększa odporność stwardniałego kompozytu na czynniki korozyjne, wydłuża czas wiązania, obniża ciepło hydratacji oraz zwiększa przyrost wytrzymałości na ściskanie w dłuższych okresach twardnienia (nawet do 180 dni), analogicznie jak w przypadku cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy.

Hydrauliczne spoiwa drogowe szybkowiązące Multicrete spełniają wymagania w zakresie właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych (tabela 15, rys. 20) wyspecyfikowane w dokumentach odniesienia:

- PN-EN 13282-1 „Hydrauliczne spoiwa drogowe. Część 1: Hydrauliczne spoiwa drogowe szybkowiązące. Skład, wymagania i kryteria zgodności”,
- Aprobata Techniczna IBDiM Nr AT/2008-03-1593/2 „Hydrauliczne spoiwo drogowe Multicrete”.

W dokumentach tych zdefiniowano wymagania dotyczące:

→ **składników:**

- głównych (których udział przekracza 10% masy),
- drugorzędnych (których udział łącznie, nie przekracza 10% masy),
- dodatków (których całkowita ilość nie przekracza 1 % masy spoiwa),

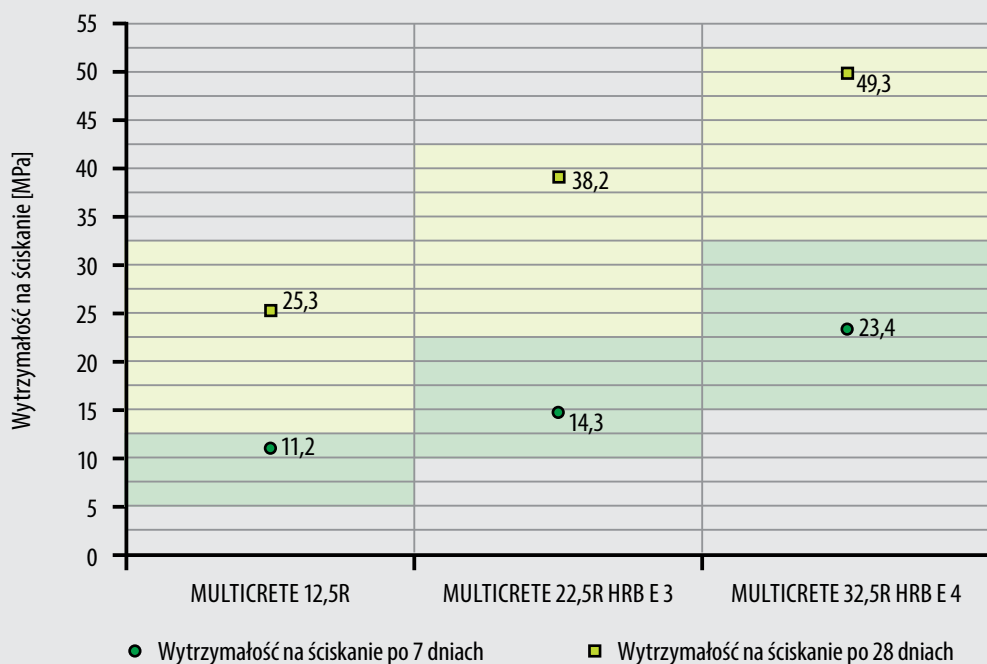
→ **właściwości mechanicznych**, tj. wytrzymałości na ściskanie po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania,

→ **właściwości fizycznych**, tj. stopnia zmielenia, początku czasu wiązania, stałości objętości,

→ **właściwości chemicznych**, tj. zawartości siarczanów wyrażonych jako SO_3 .

Tabela 15. Właściwości hydraulicznych spoiw drogowych MULTICRETE

Właściwość	MULTICRETE 12,5 R		MULTICRETE 22,5 HRB E 3		MULTICRETE 32,5 HRB E 4	
	właściwość	wymaganie	właściwość	wymaganie	właściwość	wymaganie
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]: - po 7 dniach - po 28 dniach	11,2 25,3	$\geq 5,0$ 12,5 ÷ 32,5	14,3 38,2	$\geq 10,0$ 22,5 ÷ 42,5	23,4 49,3	$\geq 16,0$ 32,5 ÷ 52,5
Początek czasu wiązania [min]	320	≥ 90	280	≥ 90	264	≥ 75
Staość objętości [mm]	0,5	≤ 10	1	≤ 10	0,8	≤ 10
Zawartość SO ₃ [%]	0,87	$\leq 4,0$	1,07	$\leq 4,0$	1,26	$\leq 4,0$



Rys. 20. Wytrzymałość na ściskanie spoiw MULTICRETE na tle wymagań dokumentów odniesienia

Hydrauliczne spoiwo drogowe Multicrete przeznaczone jest do stosowania w inżynierii komunikacyjnej, z przeznaczeniem do:

- ulepszenia gruntów słabych i gruntów przydatnych,
- wzmacniania podłoża nawierzchni,
- wykonania nawierzchni twardej, nieulepszonej w technologii nawierzchni stabilizowanej mechanicznie, jako materiał ulepszający właściwości mieszanki z zabezpieczeniem górnej powierzchni natryskiem emulsją asfaltową,
- do wykonywania podbudowy pomocniczej i zasadniczej, jako materiał do ulepszania właściwości mieszanek, dla kategorii obciążenia ruchem KR1÷KR7 według „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych”.

Spoiwa Multicrete mogą być ponadto stosowane jako materiały do podbudowy zasadniczej i podbudowy pomocniczej, warstwy odcinającej oraz w robotach ziemnych, budowie dróg, trakcji kolejowych, lotnisk i innych rodzajach infrastruktury, np. do stabilizacji gruntów pod obiekty kubaturowe.

Produkowane przez Górażdże Cement S.A. hydrauliczne spoiwa Multicrete są wysokiej jakości produktem stanowiącym ekonomicznie uzasadnioną alternatywą dla wymiany gruntów w budownictwie inżynierskim. Spoiwa Multicrete łączą w sobie cechy charakterystyczne dla cementu i wapna, więc mogą być z powodzeniem stosowane w szerokim zakresie gruntów. Wybrane przykłady realizacji robót z wykorzystaniem hydraulicznych spoiw drogowych MULTICRETE przedstawiono na rys. 21÷23.



Rys. 21. Stabilizacja warstwy nasypu w ciągu obwodnicy Miechowa.



Rys. 22. Budowa podbudowy drogi S7 w Brzegach k/Kielc.



Rys. 23. Stabilizacja podłoża pod halę produkcyjno-magazynową w Siemianowicach Śląskich

Dane kontaktowe

Internet

Informacje dotyczące oferty handlowej oraz właściwości oferowanych produktów można znaleźć na stronie internetowej www.gorazdze.pl

Adresy i telefony

Górażdże Cement S.A.

ul. Cementowa 1, Chorula

47-316 Górażdże

e-mail: gorazdze@gorazdze.pl

www.gorazdze.pl

Informacji na temat cen, warunków sprzedaży oraz dostaw udziela:

Dział Sprzedaży Cementu

tel.: 77 777 88 20 – 26

fax: 77 777 88 03

Dział Sprzedaży Produktów Geotechnicznych

tel. 77 777 94 15

Informacji dotyczących realizacji dostaw oraz organizacji przewozu cementu udziela:

Dział Centralnej Logistyki

Przyjmowanie zamówień

tel.: 77 777 9010 – transport samochodowy

tel.: 77 777 8858 – transport kolejowy

e-mail: logistyka.samochod@gorazdze.pl

Dyspozytorzy (realizacja zamówień)

tel.: 77 777 9011 – cement luzem

tel.: 77 777 9012 – cement workowany

tel.: 77 777 8858 – transport kolejowy

e-mail: logistyka.flota@gorazdze.pl

fax: 77 777 88 49

Informacji dotyczących właściwości i zastosowania produktów Górażdże Cement S.A. udziela:

Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju Produktów Grupy Górażdże

tel.: 77 777 88 14,-15, -16, -18

fax: 77 777 88 03

Dział Sprzedaży Produktów Geotechnicznych

tel. 77 777 94 15



GÓRAŹDŹE[®]
HEIDELBERGCEMENT Group




Granulowany żużel wielkopiecowy

składnikiem cementu
i spoiw drogowych



GÓRAŹDŹE[®]
HEIDELBERGCEMENT Group



Informator został opracowany przez
Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju
Produktów Grupy Górażdże

