

**Cementy
portlandzki wieloskładnikowy
CEM II/B-M (S-V) 42,5N
wieloskładnikowy
CEM V/A (S-V) 42,5N – LH/HSR/NA
właściwości i zastosowanie
w budownictwie**



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

Chorula 2020

GÓRAŻDŻE®
HEIDELBERGCEMENT Group

**Cementy
portlandzki wieloskładnikowy
CEM II/B-M (S-V) 42,5N
wieloskładnikowy
CEM V/A (S-V) 42,5N – LH/HSR/NA
właściwości i zastosowanie
w budownictwie**

Cementy wieloskładnikowe żużlowo - popiołowe – skład i wymagania

Cementy wieloskładnikowe zawierające, zarówno granulowany żużel wielkopiecowy, jak i popiół lotny, coraz szerzej stosowane są w praktyce budowlanej. Celem takiego rozwiązania jest wykorzystanie efektu synergii, czyli korzystnego kształtowania właściwości kompozytów cementowych poprzez oddziaływanie poszczególnych składników głównych. Nie bez znaczenia pozostaje także aspekt środowiskowy. Z punktu widzenia emisji CO₂ oraz oszczędności zużycia energii i surowców naturalnych stosowanie granulowanego żużla wielkopiecowego i popiołów lotnych daje wymierne korzyści.

Zgodnie z normą PN-EN 197-1 „Cement. – Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dla cementów powszechnego użytku”, możliwe jest równoczesne wprowadzenie do składu cementu dwóch nieklinkowych składników głównych, jak np. granulowanego żużla wielkopiecowego i popiołu lotnego krzemionkowego. Norma dopuszcza takie rozwiązanie, m.in. w cementach portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A,B-M oraz cementach wieloskładnikowych CEM V/A,B (tabela 1).

Tabela 1. Cementy powszechnego użytku zawierające granulowany żużel wielkopiecowy oraz popiół lotny

Rodzaj cementu	Nazwa	Oznaczenie	Składniki główne									Składniki drugorzędne	
			Klinkier portlandzki (K)	Granulowany żużel wielko- piecowy (S)	Pył krzemionkowy (D)	Pucolana		Popiół lotny		Łupek palony (T)	Wapień (L, LL)		
						Naturalna (P)	Przemysłowa (Q)	Krzemionkowy (V)	Wapienny (W)				
CEM II	Cement portlandzki wieloskładnikowy	CEM II/A-M	81÷94	<-----12÷20----->									0÷5
		CEM II/B-M	65÷79	<-----21÷35----->									0÷5
CEM V	Cement wieloskładnikowy	CEM V/A	40÷64	18÷30	-	<-----18÷30----->			-	-	-	0÷5	
		CEM V/B	20÷38	31÷50	-	<-----31÷50----->			-	-	-	0÷5	

W ofercie handlowej **GÓRAŹDŹE CEMENT S.A.** dostępne są cementy wieloskładnikowe zawierające granulowany żużel wielkopiecowy (S) oraz krzemionkowy popiół lotny (V):

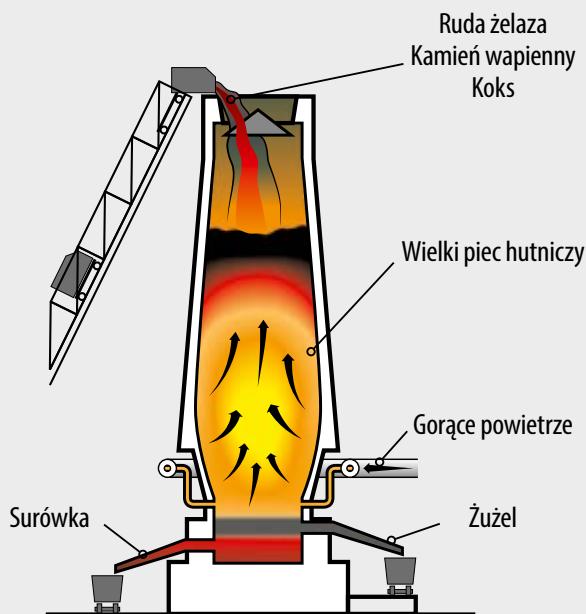
- cement portlandzki wieloskładnikowy **CEM II/B-M (S-V) 42,5N**
- cement wieloskładnikowy o niskim cieple hydratacji, odporny na siarczany niskoalkaliczny **CEM V/A (S-V) 42,5N – LH/HSR/NA** cement o właściwościach specjalnych, dedykowany do stosowania w betonie masywnym i/lub narażonym na agresję chemiczną.

Granulowany żużel wielkopiecowy S

Granulowany żużel wielkopiecowy wykazuje utajone właściwości hydrauliczne, tzn. odpowiednio rozdrobniony i aktywowany w połączeniu z wodą wiąże i twardnieje, analogicznie jak cement portlandzki. Proces hydratacji cementu w obecności granulowanego żużla wielkopiecowego jest bardziej złożony niż proces hydratacji faz klinkierowych, aczkolwiek produkty hydratacji są podobne, są to głównie uwodnione krzemiany i gliniany (glinianosiarczany) wapniowe (faza C-S-H). Związane to jest ze zbliżonym, głównie pod względem jakościowym, składem chemicznym (tabela 2) oraz podobnym procesem wytwarzania granulowanego żużla wielkopiecowego i klinkieru portlandzkiego na drodze termicznej obróbki surowców. Żużel wielkopiecowy jest produktem ubocznym otrzymywanym w procesie wytopienia surowki w wielkim piecu hutniczym (rys. 1) w temperaturze $1400 \div 1600^{\circ}\text{C}$.

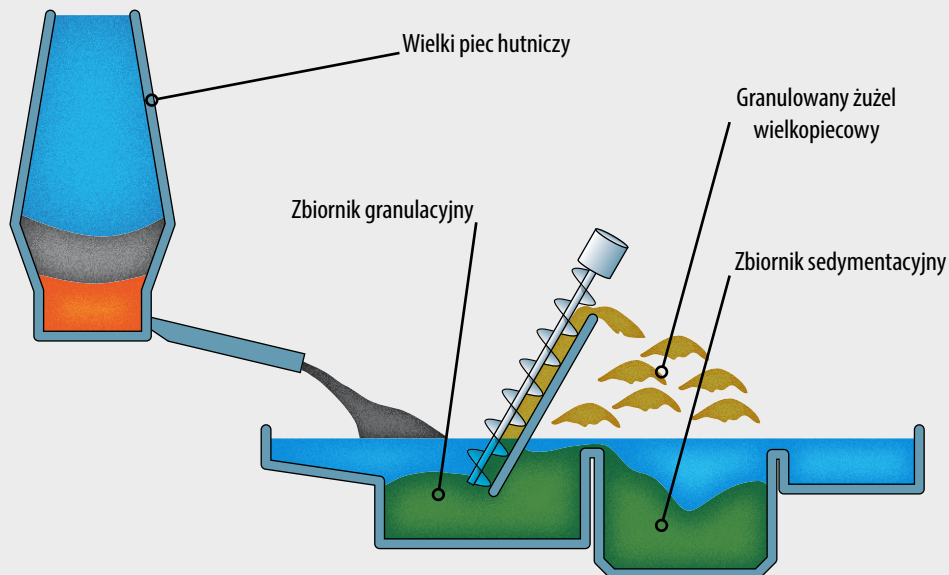
Tabela 2. Skład chemiczny granulowanego żużla wielkopiecowego i klinkieru portlandzkiego

Składnik	Zawartość [% masy]	
	Klinkier portlandzki	Żużel wielkopiecowy
SiO_2	23,5	38,6
Fe_2O_3	2,9	1,0
Al_2O_3	4,2	8,4
CaO	64,5	44,2
MgO	0,5	6,1
SO_3	3,1	2,0



Rys. 1. Schemat wytwarzania płynnego żużla wielkopiecowego podczas wytopienia surowki w wielkim piecu hutniczym

Po oddzieleniu od surówki, płynny żużel poddaje się procesowi granulacji poprzez gwałtowne chłodzenie wodą (rys. 2) lub powietrzem. Szybkie chłodzenie płynnego żużla ma na celu wykształcenie mikrostruktury zapewniającej odpowiedni poziom aktywności. Szczególnie istotna jest wysoka zawartość fazy szklistej (>90%), która sprawia, że granulowany żużel wielkopiecowy jest bardziej reaktywny.



Rys. 2. Schemat procesu granulacji żużla wielkopiecowego

Udział związków krystalicznych w żużlu wielkopiecowym zwykle nie przekracza 10%, ponieważ gwałtowne chłodzenie płynnego żużla hamuje formowanie się uporządkowanej struktury krystalicznej. Składnikami krystalicznymi w żużlu są gelenit $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)$, akermanit $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$, merwinitt $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$, czasem larnit $\beta\text{Ca}_2\text{SiO}_4$.

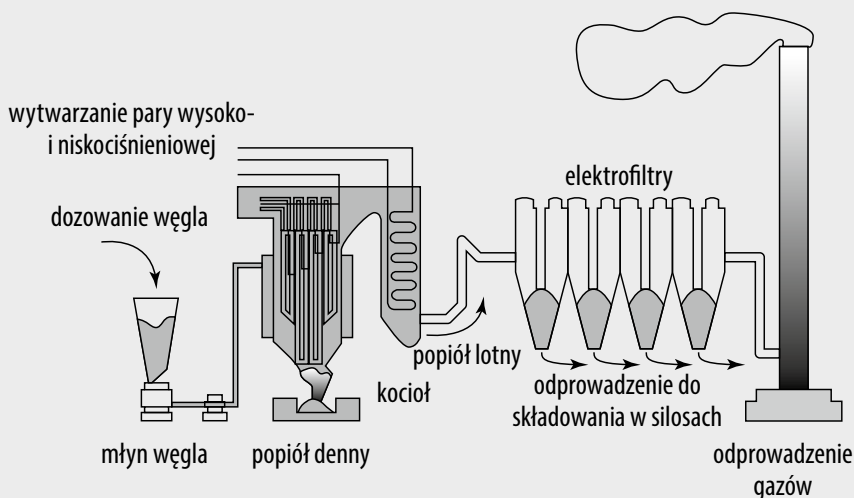
Wymagania jakościowe dla granulowanego żużla wielkopiecowego, jako składnika głównego cementu, określa norma PN-EN 197-1 (tabela 3).

Tabela 3. Wymagania normy PN-EN 197-1 dla granulowanego żużla wielkopiecowego

Kryterium	Wymaganie
Zawartość fazy szklistej	$\geq 2/3$ masy
Zawartość sumy tlenków $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2$	$\geq 2/3$ masy
Stosunek masy $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2)$	≥ 1

Popiół lotny krzemionkowy (V)

Popioły lotne są produktem ubocznym procesu spalania pyłu węglowego w kotłach elektrowni i elektrociepłowni. Proces otrzymywania popiołów lotnych schematycznie przedstawiono na rys. 3. Zgodnie z definicją (PN-EN 450-1) „popiół lotny to drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszkliwionych ziaren otrzymywany przy spalaniu pyłu węglowego przy udziale lub bez udziału materiałów współspalanych, wykazujący właściwości pucolanowe i zawierający przede wszystkim SiO_2 i Al_2O_3 . Otrzymywany przez elektrostatyczne lub mechaniczne wytrącanie pylistych cząstek gazów odlotowych z palenisk elektrowni.”



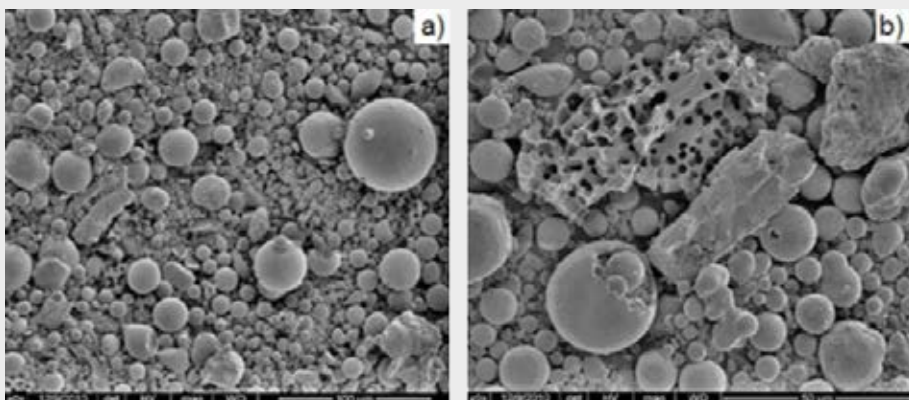
Rys. 3. Schemat otrzymywania popiołów lotnych

Popioły lotne ze spalania pyłu z węgla kamiennego, otrzymywane są w wysokich temperaturach spalania (1450 - 1600 °C). Zaliczane są do materiałów o właściwościach pucolanowych czyli takich, które same nie wykazują właściwości wiążących, ale rozdrobnione, w obecności wilgoci, reagują z wodorotlenkiem wapnia, tworząc hydraty o właściwościach hydraulicznych (głównie uwodnione krzemiany i gliniany wapniowe).

Podstawowym składnikiem fazowym popiołów lotnych krzemionkowych jest amorficzna faza szklista glino-wo - krzemianowa z udziałem jonów sodu i potasu, ponadto stwierdza się obecność składników krystalicznych oraz pozostałości niespalonych cząstek węgla. W dobrej jakości popiołach lotnych zawartość fazy szklistej przekracza 80%, fazami krystalicznymi są kwarc, mullit, hematyt i magnetyt (rys. 4). Głównymi składnikami chemicznymi (w przeliczeniu na tlenki) popiołów lotnych krzemianowych są: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O i K_2O . W tabeli 4 przedstawiono przykładowy skład popiołu lotnego krzemionkowego (V).

Tabela 4. Skład chemiczny popiołu lotnego krzemionkowego (V)

Składnik	Zawartość [% masy]						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
Popiół lotny krzemionkowy (V)	51,5	27,8	7,5	3,7	2,5	1,1	3,0



Rys. 4. Obraz ziaren popiołów lotnych SEM, a) powiększenie x1000, b) powiększenie x2500

Wymagania wobec popiołu lotnego jako składnika głównego cementu określa norma PN-EN 197-1 (tabela 5 i 6). Górną granicę straty prażenia popiołu lotnego (tabela 6) stosowanego jako składnik główny cementu należy podać na opakowaniu i/lub w dokumencie dostawy.

Tabela 5. Wymagania normy PN-EN 197-1 dla popiołu lotnego krzemionkowego (V)

Kryterium	Wymaganie
Zawartość reaktywnego CaO	$\leq 10,0\%$
Zawartość wolnego CaO	$\leq 1,0\%$ *
Zawartość reaktywnego SiO ₂	$\geq 25,0\%$

* dopuszcza się popiół lotny, w którym zawartość wolnego CaO $\geq 1,0\%$ i $\leq 2,5\%$ masy, pod warunkiem, że stałość objętości nie przekracza 10 mm (badanie wg PN-EN 196-3 przy użyciu mieszaniny 30% masy popiołu lotnego krzemionkowego i 70% masy cementu CEM I zgodnego z EN 197-1)

Tabela 6. Podział popiołów lotnych z uwagi na zawartość start prażenia

Zawartość start prażenia [% masy] wg PN-EN 196-2
0,0 ÷ 5,0%
2,0 ÷ 7,0%
4,0 ÷ 9,0%

Właściwości cementów żużlowo - popiołowych

Właściwości chemiczne i fizyczne oferowanych cementów, zawierających granulowany żużel wielkopiecowy oraz popiół lotny, zestawiono w tabelach 7 i 8. Właściwości specjalne cementu wieloskładnikowego CEM V/A (S-V) 42,5N – LH/HSR/NA, w rozumieniu norm PN-EN 197-1 oraz PN-B-19707, przedstawiono w tabeli 9 i na rys. 5.

Tabela 7. Właściwości chemiczne cementów wieloskładnikowych w ofercie Górażdże Cement S.A.

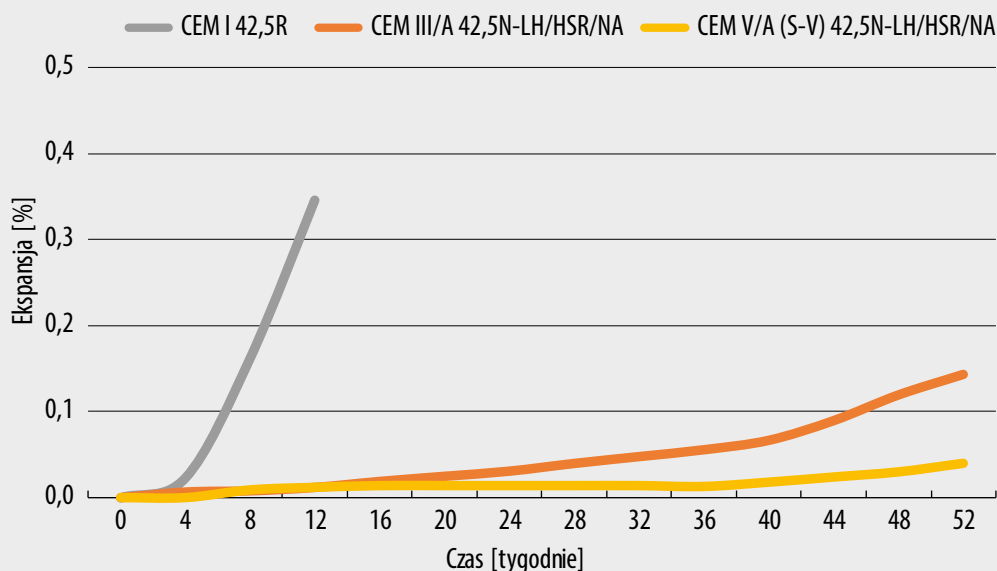
Składnik	Jednostka	Wymaganie wg PN-EN 197-1	CEM II/B-M (S-V) 42,5N	CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA
SO ₃	[%]	≤ 3,5	2,15	2,44
Cl ⁻		≤ 0,10	0,053	0,056

Tabela 8. Właściwości fizyczne cementów wieloskładnikowych w ofercie Górażdże Cement S.A.

Właściwość	Jednostka	Wymaganie wg PN-EN 197-1	CEM II/B-M (S-V) 42,5N	CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA
Właściwa ilość wody	[%]	brak wymagań	29,0	28,0
Początek czasu wiązania	[min.]	≥ 60	220	265
Koniec czasu wiązania		brak wymagań	270	300
Gęstość	[g/cm ³]	brak wymagań	2,97	2,82
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach	[MPa]	≥ 10	17,4	15,3
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach		≥ 42,5 ≤ 62,5	49,0	45,8

Tabela 9. Właściwości specjalne CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA z oferty Górażdże Cement S.A.

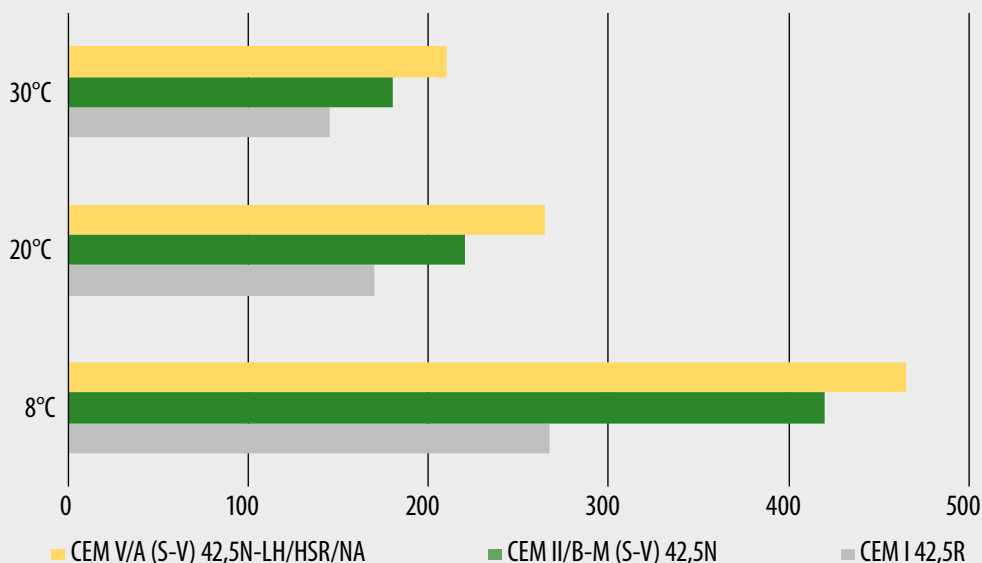
Właściwość	Jednostka	Wymaganie	CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA
Ciepło hydratacji	[J/g]	wg PN-EN 197-1 dla cementów LH ≤ 270	225,9
Zawartość Na ₂ O _{eq}	[% masy]	wg PN-B-19707 dla cementów NA ≤ 1,60*	1,19
Odporność na agresję siarczanową (ekspansja w roztworze Na ₂ SO ₄ po 52 tygodniach)	[%]	wg PN-B-19707 dla cementów HSR Xt ≤ 0,5	0,04
* sumaryczna zawartość popiołu i żużla (S+V) ≤ 49%			



Rys. 5. Odporność na agresję siarczanową wyrażona jako ekspansja zapraw cementowych w roztworze Na_2SO_4

Czas wiązania

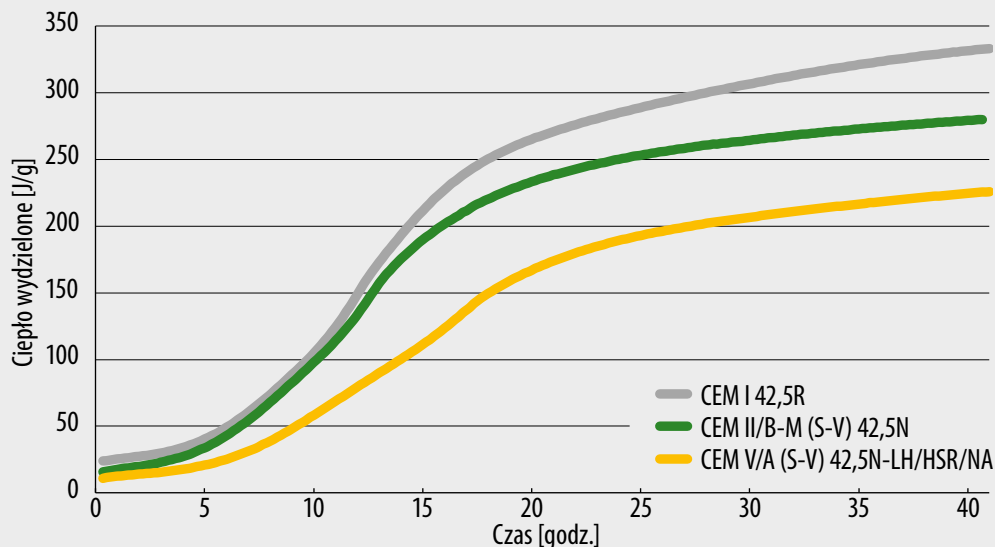
Cementy zawierające granulowany żużel wielkopiecowy oraz popiół lotny, tj. CEM II/B-M (S-V) 42,5N i CEM V/A (S-V) 42,5N - LH/HSR/NA, charakteryzują się wydłużonym czasem wiązania w porównaniu do cementu portlandzkiego CEM I tej samej klasy wytrzymałości (rys. 6). Szczególnie istotne znaczenie ma ilość i jakość stosowanych składników nielinkierowych (granulowanego żużla wielkopiecowego i popiołu lotnego). Należy zaznaczyć, że czas wiązania ulega wydłużeniu wraz z obniżeniem temperatury otoczenia (rys. 6).



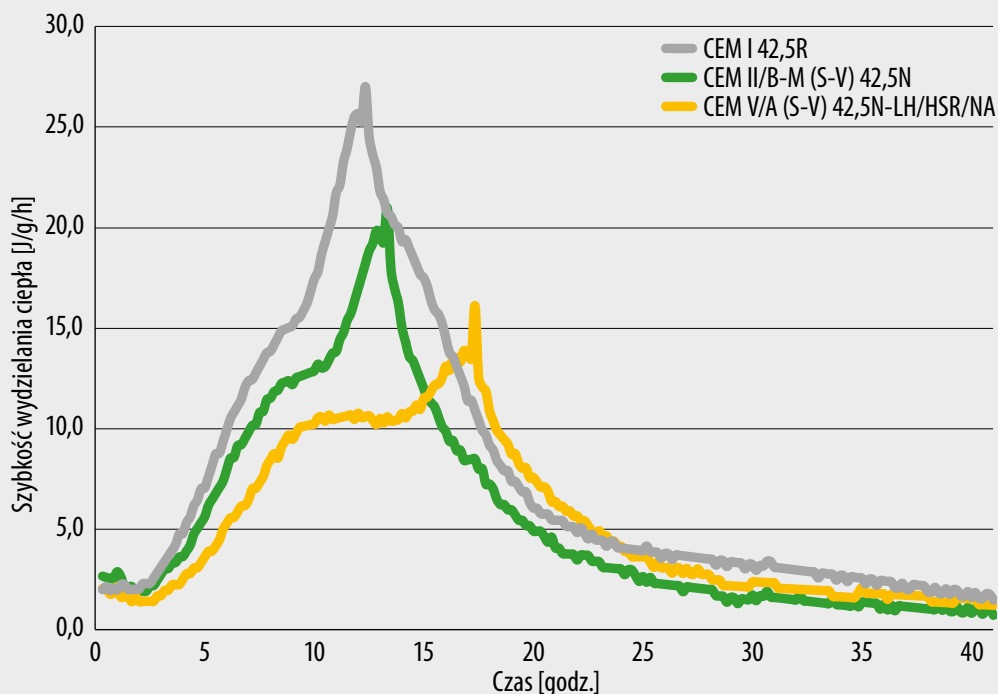
Rys. 6. Wpływ temperatury na czas wiązania cementu

Ciepło hydratacji

Proces hydratacji cementu ma charakter egzotermiczny, tzn. przebiega z wydzielaniem ciepła. Ilość wydzielonego ciepła jest uzależniona, m.in. od składu cementu, głównie zawartości i składu mineralnego klinkieru portlandzkiego. Cementy zawierające granulowany żużel wielopieczowy oraz popiół lotny charakteryzują się niższym ciepłem hydratacji niż cementy portlandzkie CEM I tej samej klasy wytrzymałości (rys. 7, 8).



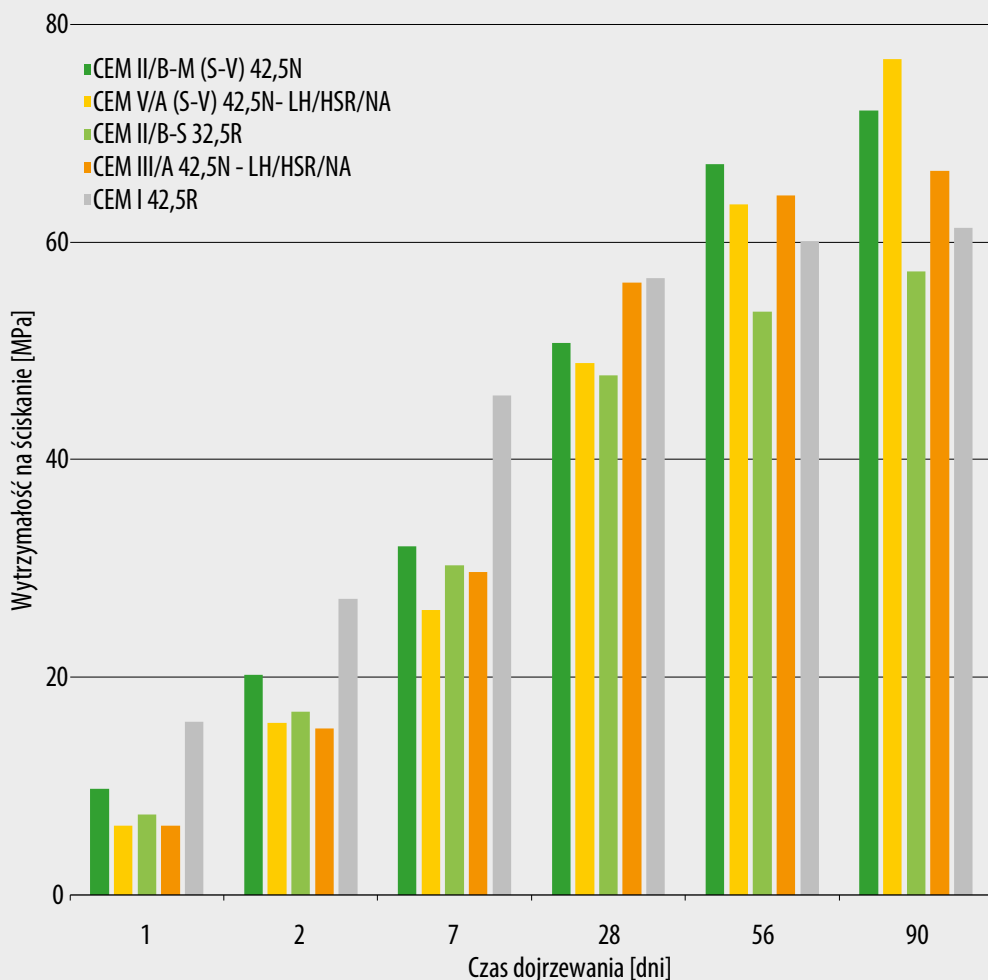
Rys. 7. Ciepło hydratacji cementów CEM II/B-M (S-V) 42,5N i CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA



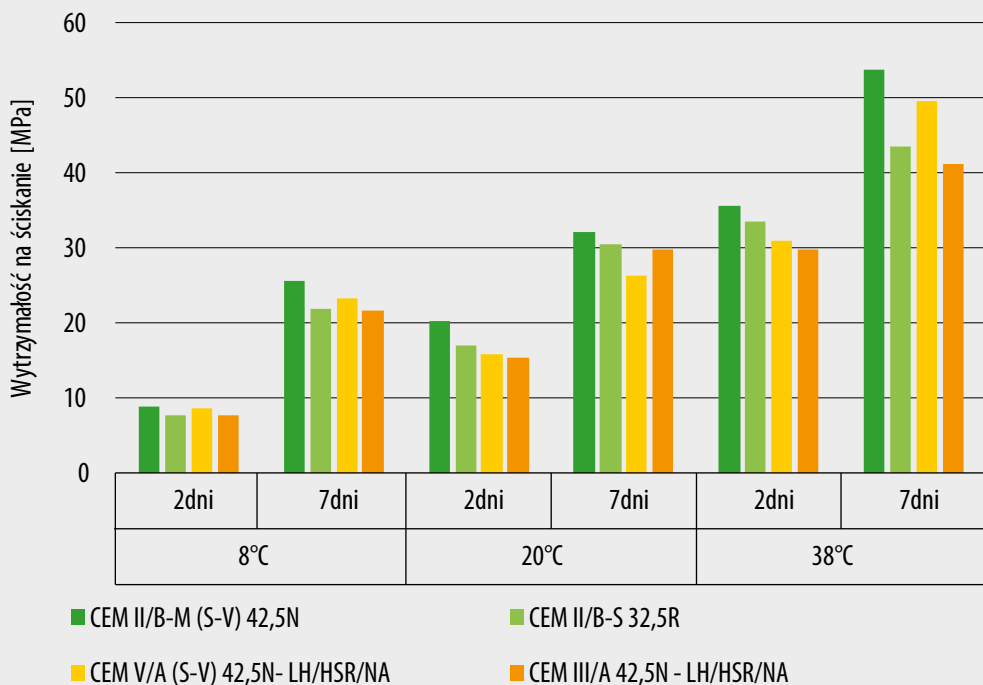
Rys. 8. Szybkość wydzielania ciepła cementów CEM II/B-M (S-V) 42,5N i CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA

Wytrzymałość na ściskanie

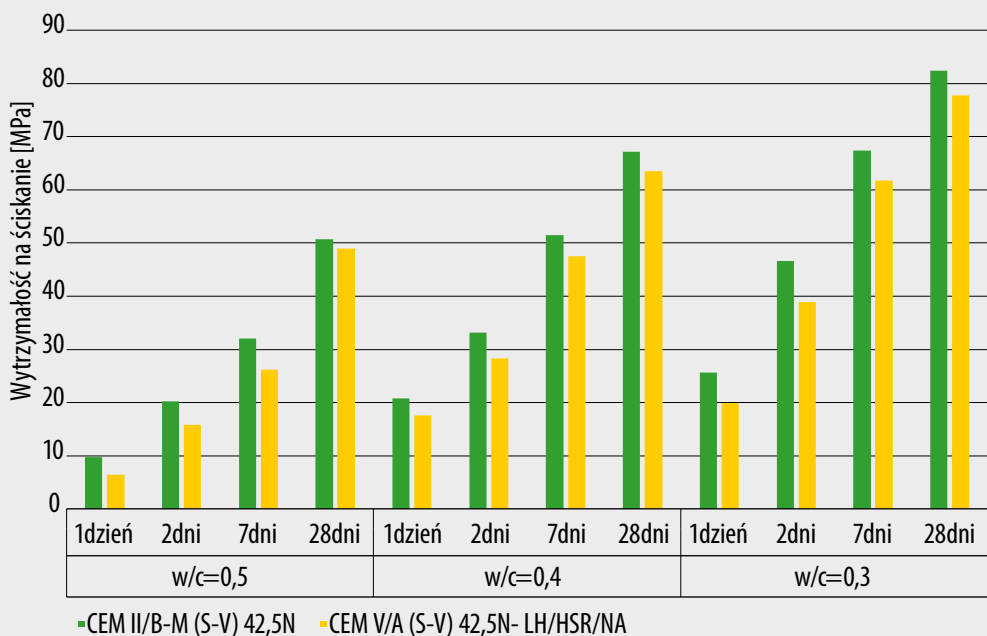
Cechą charakterystyczną cementów zawierających popiół lotny krzemionkowy i granulowany żużel wielkopiecowy jest spowolniony przebieg hydratacji, co przekłada się na niższą wytrzymałość na ściskanie cementu w początkowym okresie twardnienia (po 2, 7 dniach). Najniższą wytrzymałością charakteryzuje się cement wieloskładnikowy CEM V z wysoką zawartością popiołu lotnego i żużla wielkopiecowego (rys. 9). Wytrzymałość na ściskanie cementów wieloskładnikowych określona po dłuższym okresie dojrzewania (powyżej 28 dni) jest na poziomie zbliżonym do wytrzymałości cementów zawierających jeden składnik nieklinkierowy (popiół lotny lub żużel wielkopiecowy), tj. cementów CEM II, CEM III, a także cementu portlandzkiego CEM I tej samej klasy wytrzymałości (rys. 9). Wytrzymałość na ściskanie cementów zawierających popiół lotny oraz granulowany żużel wielkopiecowy, szczególnie w początkowym okresie dojrzewania (po 2, 7 dniach), zależy od temperatury otoczenia w okresie dojrzewania (twardnienia) i współczynnika w/c w zaprawie (betonie). Zależności te przedstawiono na rys. 10,11.



Rys. 9. Wytrzymałość na ściskanie cementów zawierających popiół lotny i granulowany żużel wielkopiecowy



Rys. 10. Wpływ temperatury na wytrzymałość na ściskanie cementów zawierających popiół lotny i granulowany żużel wielkopiecowy



Rys. 11. Wpływ współczynnika w/c na wytrzymałość na ściskanie cementów zawierających popiół lotny i granulowany żużel wielkopiecowy

Odporność na agresję chemiczną

Cementy wieloskładnikowe (żużlowo-popiołowe) charakteryzują się podwyższoną odpornością na korozyjne działanie środowisk agresywnych chemicznie. Odporność na korozję chemiczną kompozytów cementowych żużlowo-popiołowych jest wynikiem zmian zachodzących w mikrostrukturze, tj.:

- ograniczeniem zawartości faz klinkierowych podatnych na korozję, głównie glinianu trójwapniowego (C_3A), poprzez zmniejszenie udziału klinkieru na rzecz popiołu lotnego i granulowanego żużla wielkopieczowego,
- zmniejszeniem zawartości portlandytu $Ca(OH)_2$ w stwardniałej matrycy, który jest podatny na korozję chemiczną pod wpływem różnych czynników agresywnych, zwłaszcza, gdy tworzy skupienia kryształów o znacznych rozmiarach lub otoczki na ziarnach kruszywa,
- przebiegiem reakcji pucolanowej popiołu lotnego i hydratacji żużla wielkopieczowego, z utworzeniem produktu szczelnie wypełniającego dostępną przestrzeń w strukturze matrycy, o dobrej przyczepności do kruszywa i zbrojenia, odznaczającego się niewielką własną porowatością, przez co dostęp wody czy mediów agresywnych do wnętrza betonu jest ograniczony,
- doszczelnienie struktury przez niezhydratyzowane cząstki popiołu lub drobno zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego, co również utrudnia dyfuzję jonów agresywnych.

Właściwości betonów z cementów żużlowo - popiołowych CEM II/B-M (S-V) 42,5N i CEM V/A (S-V) 42,5N - LH/HSR/NA

Cementy portlandzkie wieloskładnikowe (CEM II) są powszechnie stosowane w technologii betonu. Coraz częściej, szczególnie w okresach podwyższonych temperatur, zastosowanie znajdują również cementy wieloskładnikowe (CEM V).

Stosowanie cementów wieloskładnikowych (żużlowo - popiołowych) w technologii betonu ma na celu zapewnienie trwałości kompozytów cementowych, przy zapewnieniu odpowiedniej urabialności mieszanki betonowej i wytrzymałości betonu. Projektując beton z cementem zawierającym popiół lotny i granulowany żużel wielkopiecowy należy mieć na uwadze, że w celu uzyskania pożądanych właściwości betonu, istotne jest zapewnienie właściwości reologicznych mieszanki betonowej (dobór domieszek chemicznych, współczynnika w/c), a kluczowe znaczenia ma właściwie prowadzona pielęgnacja betonu. Jednocześnie z uwagi na spowolniony przebieg hydratacji, korzystna jest ocena właściwości stwardniałego betonu po dłuższym okresie twardnienia, np. 56 lub 90 dniach dojrzewania. Obszary zastosowań cementów popiołowo – żużlowych w betonie poszczególnych klasach ekspozycji przedstawiono w tabeli 10.

Z uwagi, że najczęściej występującym agresywnym środowiskiem pracy betonu w konstrukcji, jest korozja spowodowana karbonatyzacją (XC) i/lub zamrażanie/rozmarzanie (XF), opracowano receptury betonu (tabela 11) dla najbardziej niekorzystnych warunków środowiska w tych klasach ekspozycji, tj. XC4 i XF4.

Tabela 10. Zakres stosowania cementu ze względu na klasę ekspozycji betonu

Obszary zastosowań cementów zgodnych z EN 197-1 lub PN-B 19707 do produkcji betonu w poszczególnych klasach ekspozycji (+ - akceptowany zakres stosowania, - - brak możliwości stosowania, ● - dopuszczalny zakres stosowania, wymaga uwagi)																						
Rodzaj cementu	Klasy ekspozycji																					
	Brak zagrożenia agresją środowiska lub zagrożenia korozją	Korozja zbrojenia											Agresja wobec betonu									
		Korozja spowodowana karbonatyzacją					Korozja wywołana chlorkami						Zamrażanie/rozmarzanie				Środowisko chemicznie agresywne			Agresja wywołana ścieraniem		
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ¹⁾	XA3 ¹⁾	XM1	XM2	XM3
CEM II/B-S 32,5R-NA		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-M (S-V) 42,5N		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	● ³⁾	+	+	+	+	+	+
CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA ⁴⁾		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-

¹⁾ W klasach ekspozycji XA2 i XA3 – w przypadku agresji chemicznej wywołanej siarczanami (z wyjątkiem pochodzenia morskiego) – stosuje się cement odporny na siarczany (SR) zgodny z wymaganiami normy EN 197-1 lub cement odporny na siarczany (HSR) zgodny z wymaganiami normy PN-B 19707.
²⁾ Klasa wytrzymałości cementu $\geq 42,5$ lub klasa wytrzymałości cementu $\geq 32,5$ R z zawartością granulowanego żużla wielkopiecowego $\leq 50\%$ (masowo), wymagane napowietrzenie
³⁾ Dopuszcza się stosowanie cementu hutniczego CEM III/B wyłącznie w przypadku elementów konstrukcji budowlanych narażonych na działanie wody morskiej, wymagane napowietrzenie, przy: w/c $\leq 0,45$; minimalna klasa wytrzymałości betonu C35/45 i zawartość cementu ≥ 340 kg/m³.
⁴⁾ Cementy do wytwarzania betonu według niniejszej normy mogą zawierać w swoim składzie tylko popioły lotne z maksymalnie 5,0 % stratą prażenia (LOI).

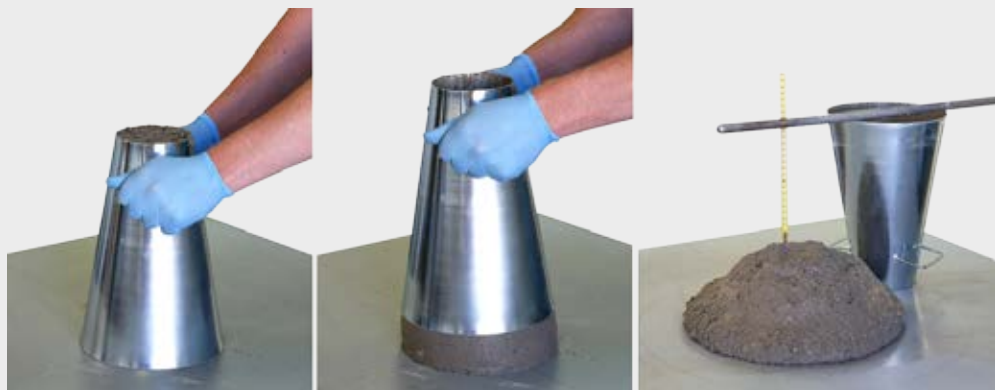
Zgodnie z dopuszczonymi obszarami zastosowań (tabela 10) recepturę betonu w klasie ekspozycji XF4 przygotowano dla cementu CEM II/B-M (S-V) 42,5N, natomiast w klasie ekspozycji XC4 dla cementu CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA

(tabela 11). W betonie zaprojektowanym do klasy ekspozycji XF4, przewidziano zastosowanie domieszki napowietrzającej (tabela 11), tak aby zapewnić właściwe napowietrzenie mieszanki betonowej, a w efekcie stwardniałego betonu. Jest to warunek konieczny dla uzyskania betonu mrozoodpornego.

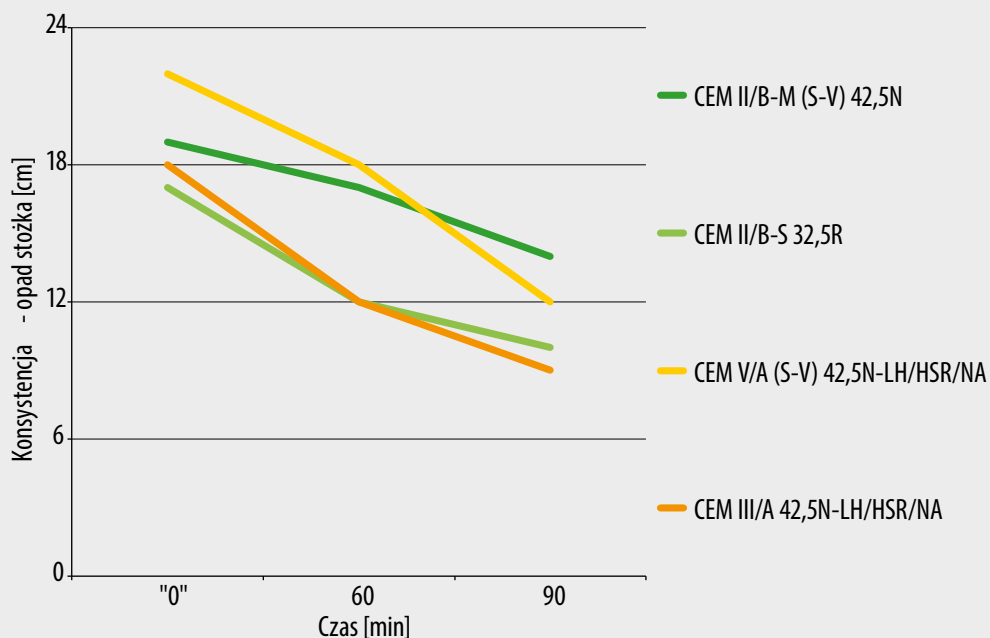
Tabela 11. Receptury betonu

Składnik	Zawartość składników [kg/m ³]	
	XF4	XC4
Cement	CEM II/B-M (S-V) 42,5N	CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA
	350	300
Piasek 0-2mm	655	695
Żwir 2-8mm	455	480
Żwir 8-16mm	645	680
Woda	158	165
Superplastyfikator	dozowanie do uzyskania konsystencji S3-S4	
Domieszka napowietrzająca	zawartość powietrza $\geq 4,5\%$	----
Współczynnik w/c	0,45	0,55

Mieszanka betonowa zaprojektowana dla klasy ekspozycji XF4, zawierająca cement CEM II/B-M (S-V) 42,5N, charakteryzowała się zawartością powietrza zmierzoną bezpośrednio po wymieszaniu składników na poziomie 6,0%, po 60 minutach napowietrzenie wyniosło 5,5%. Norma PN-EN 206+A21:2016 dla betonu na kruszywie o uziarnieniu do 16mm w klasie ekspozycji XF4, wymaga minimalnego poziomu napowietrzenia $\geq 4,5\%$ obj. Dla uzyskania założonej klasy konsystencji mieszanki betonowej (S3-S4) mierzonej metodą opadu stożka (rys. 11), dozowano domieszkę upłynniającą (superplastyfikator). Określono zachowanie konsystencji w czasie, przeprowadzając pomiar po 60 i 90 minutach (rys. 12). Uzyskane wyniki (rys. 13) zestawiono z wynikami dla betonów przygotowanych według założonych receptur (tabela 11) stosując cement portlandzki żużlowy CEM II/B-S 32,5R (klasa ekspozycji XF4) i cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA (klasa ekspozycji XC4).

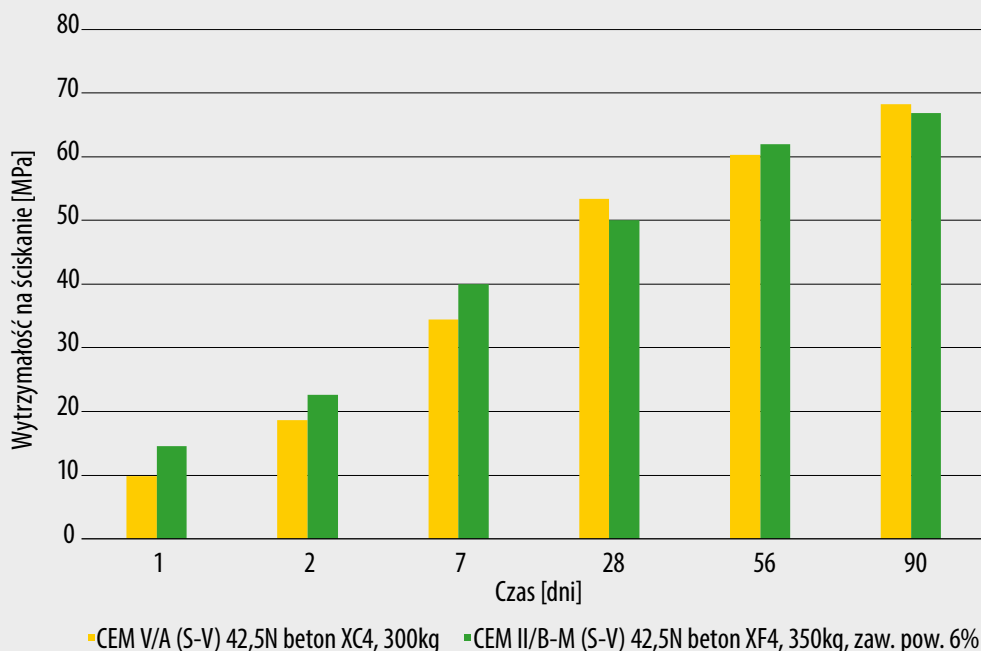


Rys. 12. Pomiar konsystencji mieszanki betonowej metodą opadu stożka



Rys. 13. Zachowanie konsystencji mieszanki betonowej w czasie

Jedną z ważniejszych cech jakościowych betonu jest wytrzymałość na ściskanie. Na rys. 14 zaprezentowano wyniki wytrzymałości na ściskanie betonu wykonane po 1, 2, 7, 28, 56 i 90 dniach dojrzewania.



Rys.13. Wytrzymałość na ściskanie betonu z cementów CEM II/B-M (S-V) 42,5N i CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA

Wytrzymałość na ściskanie betonu wykonanego według receptury projektowanej dla klasy ekspozycji XC4 powinna spełniać kryteria dla klasy wytrzymałości betonu C25/30, analogicznie dla klasy ekspozycji XF4 – C30/37. Badane betony spełniły wymaganie minimalnej klasy wytrzymałości wynikającej z projektowanej klasy ekspozycji po 28 dniach dojrzewania. Warto jednak pamiętać, że norma PN-EN 206+A21:2016 dopuszcza określanie wytrzymałości betonu w terminach wcześniejszych lub późniejszych niż 28 dni, w zależności od ustaleń między producentem betonu a zamawiającym. Właściwości stwardniałego betonu, inne niż wytrzymałość, poddaje się ocenie (badaniu) w czasie równoważnym dojrzewania betonu, zależnym od rodzaju użytego cementu (tabela 12).

Tabela 12. Czas równoważny badania właściwości betonu w zależności od rodzaju cementu

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

Pielęgnacja betonu

Zapewnienie trwałości betonu w konstrukcji uwarunkowane jest odpowiednim przeprowadzeniem każdego etapu robót monolitycznych, począwszy od etapu doboru technologii wykonania konstrukcji i projektowania składu mieszanki betonowej. Każdy wbudowany beton wymaga pielęgnacji, a szczególnie beton wykonany z cementów zawierających nieklinkierowe składniki główne.

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, tak aby:

- zapewnić optymalne warunki cieplno-wilgotnościowe w dojrzewającym betonie,
- ochronić beton przed szkodliwym wpływem czynników atmosferycznych (nasłonecznienie, wiatr, opady),
- przeciwdziałać skurczowi spowodowanemu wysychaniem betonu,
- zredukować różnicę temperatur między powierzchnią i wnętrzem betonu (ograniczyć naprężenia termiczne i ryzyko spękania betonu),
- zapobiegać zamarzaniu wody zarobowej i zapewnić prawidłowy rozwój wytrzymałości betonu w obniżonych temperaturach otoczenia.

Dobór metody pielęgnacji jest uzależniony od warunków pogodowych i możliwości technicznych. Długość okresu pielęgnacji uzależniona jest również od panujących warunków atmosferycznych i rodzaju zastosowanego cementu (tabela 13), może być określana za pomocą następujących metod:

- pomiaru temperatury z sondy umieszczonej maksymalnie 10 mm pod powierzchnią betonu,
- pomiaru temperatury na podstawie średniej dziennej temperatury,
- pomiaru za pomocą sklerometru (młotka) Schmidta (po kalibracji na reprezentatywnych próbkach betonu).

Tabela 13. Minimalny czas pielęgnacji mokrej młodego betonu z uwagi na rodzaj cementu

Warunki atmosferyczne	Minimalny czas pielęgnacji		
	cement portlandzki CEM I	cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A, B	cement wieloskładnikowy CEM V
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

W praktyce najdokładniejszą metodą jest pomiar temperatury powierzchni betonu w odniesieniu do wytycznych zawartych w normie PN-EN 13670 – tabele 14÷16.

Tabela 14. 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)} $(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	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

Tabela 15. 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)} $(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	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

Tabela 16. 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)} $(f_{cm2} / f_{cm28}) = r$		
	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)} Jeżeli czasu początku wiązania przekracza 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.

Możliwości stosowania cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/B-M (S-V) 42,5N i wieloskładnikowych CEM V/A (S-V) 42,5N-LH/HSR/NA

Cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A,B oraz cementy wieloskładnikowe CEM V/A mogą być stosowane do produkcji i wykonywania:

- betonu towarowego klas C 8/10 – C 40/50 i wyższych,
- betonu samozagęszczalnego SCC,
- betonów narażonych na działanie środowisk agresywnych chemicznie,
- konstrukcji i elementów prefabrykowanych dojrzewających w warunkach otoczenia i/lub podwyższonej temperatury,
- stabilizacji gruntu w budownictwie drogowym,
- betonowych konstrukcji i elementów masywnych (CEM V).

W tabeli 17 przedstawiono wybrane obszary stosowania cementów portlandzkich wieloskładnikowych i wieloskładnikowych z oferty Górażdże Cement S.A.

Cechą charakterystyczną cementów zawierających składniki nieklinkierowe (CEM II÷CEM V) jest niska gęstość (w porównaniu do cementu portlandzkiego CEM I), co przy dozowaniu wagowym i stałym współczynnikiem w/c, skutkuje zwiększeniem objętości zaczynu. Więcej zaczynu w mieszance betonowej skutkuje ograniczeniem sił tarcia między ziarnami kruszywa, co przekłada się na poprawę urabialności i pompowalności mieszanki betonowej.

Tabela 17. Wybrane zastosowania cementów wieloskładnikowych z oferty Górażdże Cement S.A.

Zastosowanie	CEM II/B-M (S-V) 42,5N	CEM V/A (S-V) 42,5N – LH/HSR/NA
Fundamenty (domy jednorodzinne i obiekty inwentarskie)	+	+
Jastrychy wewnątrz budynków	+	-
Wylewki na zewnątrz budynków	+	-
Wylewki w obiektach inwentarskich	-	+
Szamba, płyty pod obornik, itp.	-	+
Zaprawy murarskie i tynkarskie	+	+
Drobne prefabrykaty (błoczki ściennie i fundamentowe)	+	+
Elementy monolityczne (wieńce, słupy, nadproża, płyty i żebra stropowe)	+	+
+ – tak, - - ostrożnie		

INFORMACJE

GÓRAŹDŹE CEMENT S.A.
ul. Cementowa 1, Chorula
47-316 Góraźdże
e-mail: gorazdze@gorazdze.pl
www.gorazdze.pl

Informacji dotyczących właściwości
i zastosowania produktu udziela:
Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań
i Rozwoju Produktów Grupy Góraźdże

Badania kruszyw, betonu i betonowych
wyrobów budowlanych prowadzi:
Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o
ul. Roździeńskiego 14
41-306 Dąbrowa Górnicza

GÓRAŹDŹE®
HEIDELBERGCEMENT Group