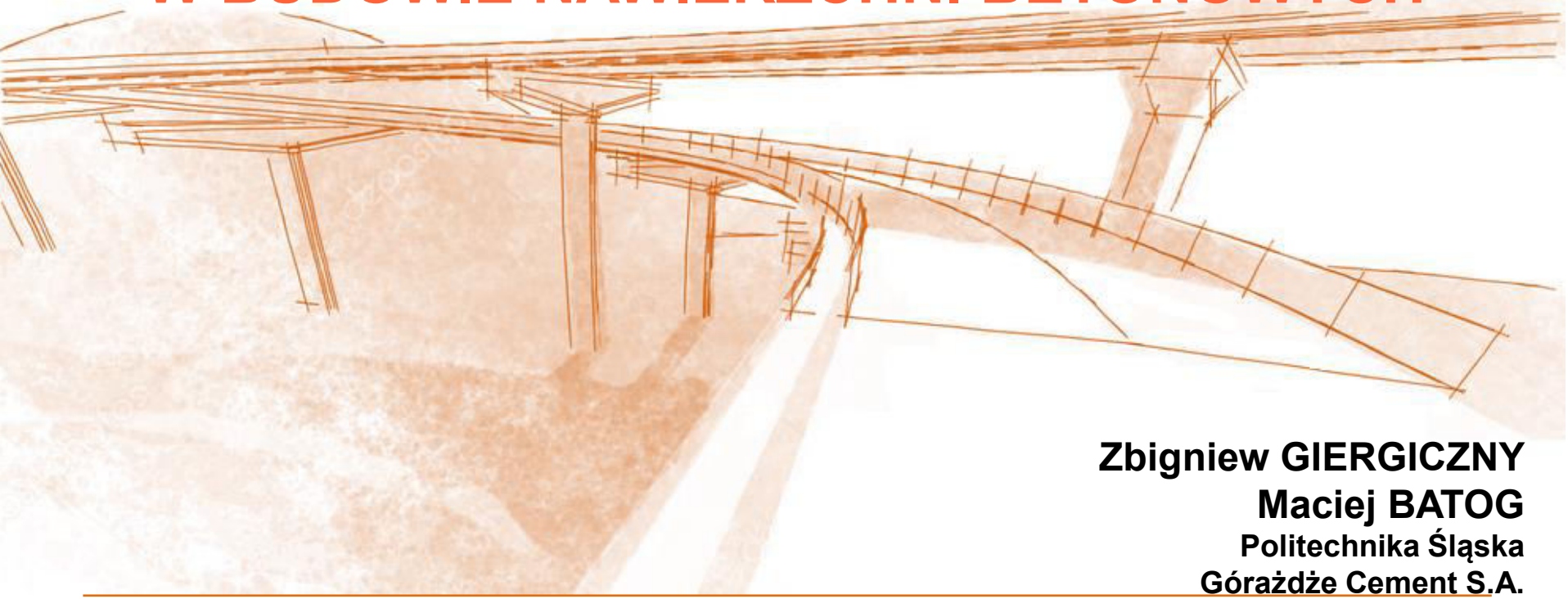
DOŚWIADCZENIA W STOSOWANIU CEMENTU PORTLANDZKIEGO ŻUŻLOWEGO CEMII/B-S 42,5N W BUDOWIE NAWIERZCHNI BETONOWYCH



Zbigniew GIERGICZNY
Maciej BATOG
Politechnika Śląska
Górażdże Cement S.A.

KRAKÓW, 14-16 listopada 2018r.

Wymagania dotyczące składników

OST D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego

Rodzaje nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania normowe	Wymagania specjalne	Kategorie ruchu
Nawierzchnia dwuwarstwowa, gdy górna i dolna warstwa są z różnych mieszanek, a górna warstwa jest z kruszywem odkrytym. Nawierzchnia dwuwarstwowa, gdy górna i dolna warstwa są z tej samej mieszanki. Nawierzchnia jednowarstwowa	Cement portlandzki: ▪ CEM I 32,5 N ▪ CEM I 32,5 R	PN-EN 197-1	▪ Początek wiązania ≥120 min (wg PN-EN 196-3) ▪ Stopień zmielenia ≤ 3500 cm^2/g (wg PN-EN 196-6) ▪ Zawartość alkaliów Na_2O_{eq}≤0,80 % (wg PN-EN 196-2)	KR5÷KR7
	Cement portlandzki: ▪ CEM I 42,5 N ▪ CEM I 42,5 R		▪ Początek wiązania ≥ 90 minut (wg PN-EN 196-3) ▪ Stopień zmielenia ≤ 3800 cm^2/g (wg PN-EN 196-6) ▪ Zawartość alkaliów Na_2O_{eq} ≤0,80 % (wg PN-EN 196-2)	
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/A-S		▪ Początek wiązania ≥120 minut (wg PN-EN 196-3) ▪ Zawartość alkaliów Na_2O_{eq}≤0,80 % (wg PN-EN 196-2)	
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/B-S			

Wymagania dotyczące składników

OST D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego

Rodzaje nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania normowe	Wymagania specjalne	Kategorie ruchu
Nawierzchnia dwuwarstwowa, gdy górna i dolna warstwa są z tej samej mieszanki. Nawierzchnia jednowarstwowa	Cement portlandzki: ▪ CEM I 32,5 N ▪ CEM I 32,5 R	PN-EN 197-1	▪ Początek wiązania ≥120 minut (wg PN-EN 196-3) ▪ Stopień zmielenia ≤ 3500 cm^2/g (wg PN-EN 196-6) ▪ Zawartość alkaliów Na_2O_{eq}≤0,80 % (wg PN-EN 196-2)	KR1÷KR4
	Cement portlandzki: ▪ CEM I 42,5 N ▪ CEM I 42,5 R		▪ Początek wiązania ≥ 90 minut (wg PN-EN 196-3) ▪ Stopień zmielenia ≤ 3800 cm^2/g (wg PN-EN 196-6) ▪ Zawartość alkaliów Na_2O_{eq}≤0,80 % (wg PN-EN 196-2)	
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/A-S		▪ Zawartość alkaliów Na_2O_{eq}≤0,80 % (wg PN-EN 196-2)	

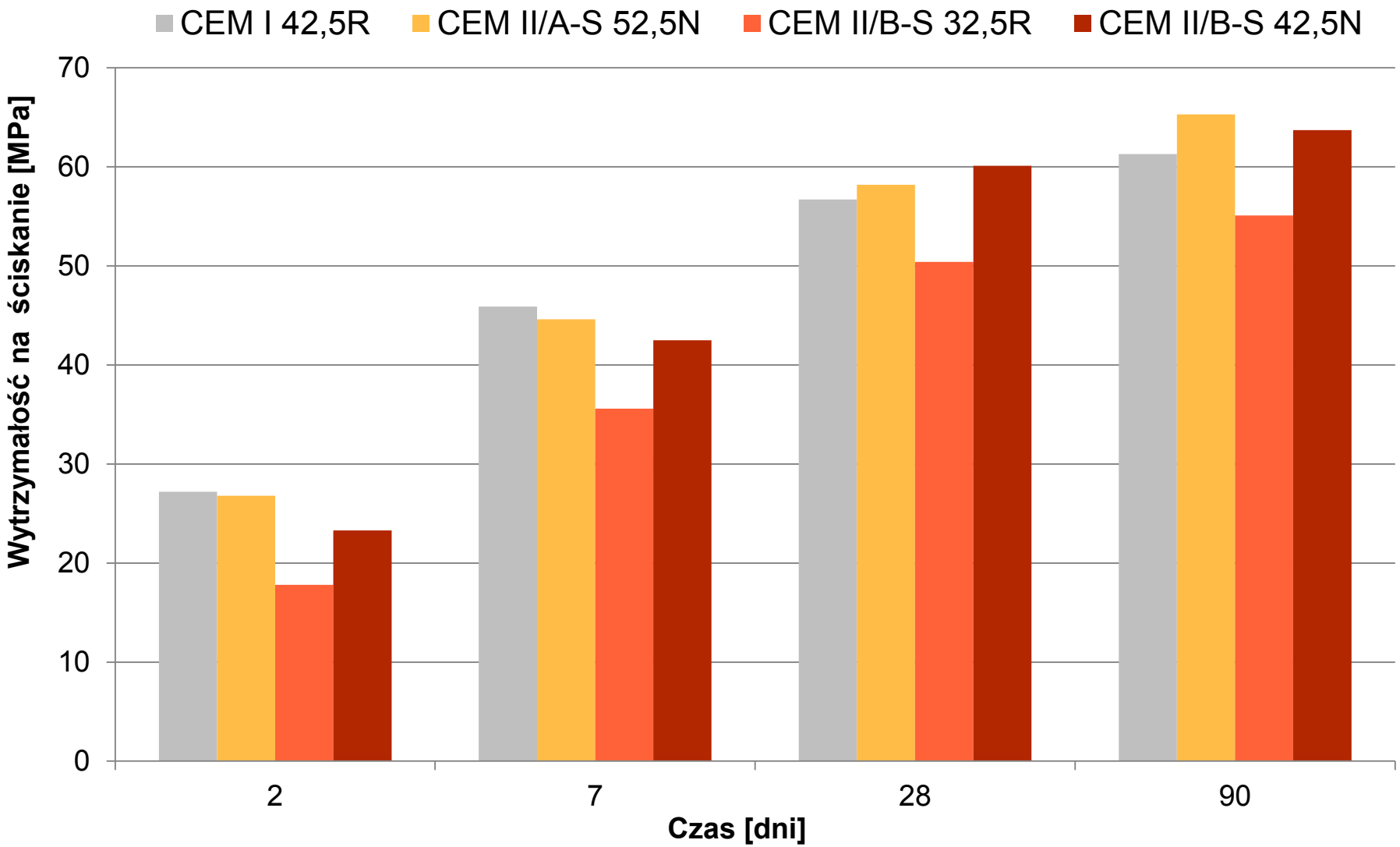
Wymagania dotyczące składników

OST D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego

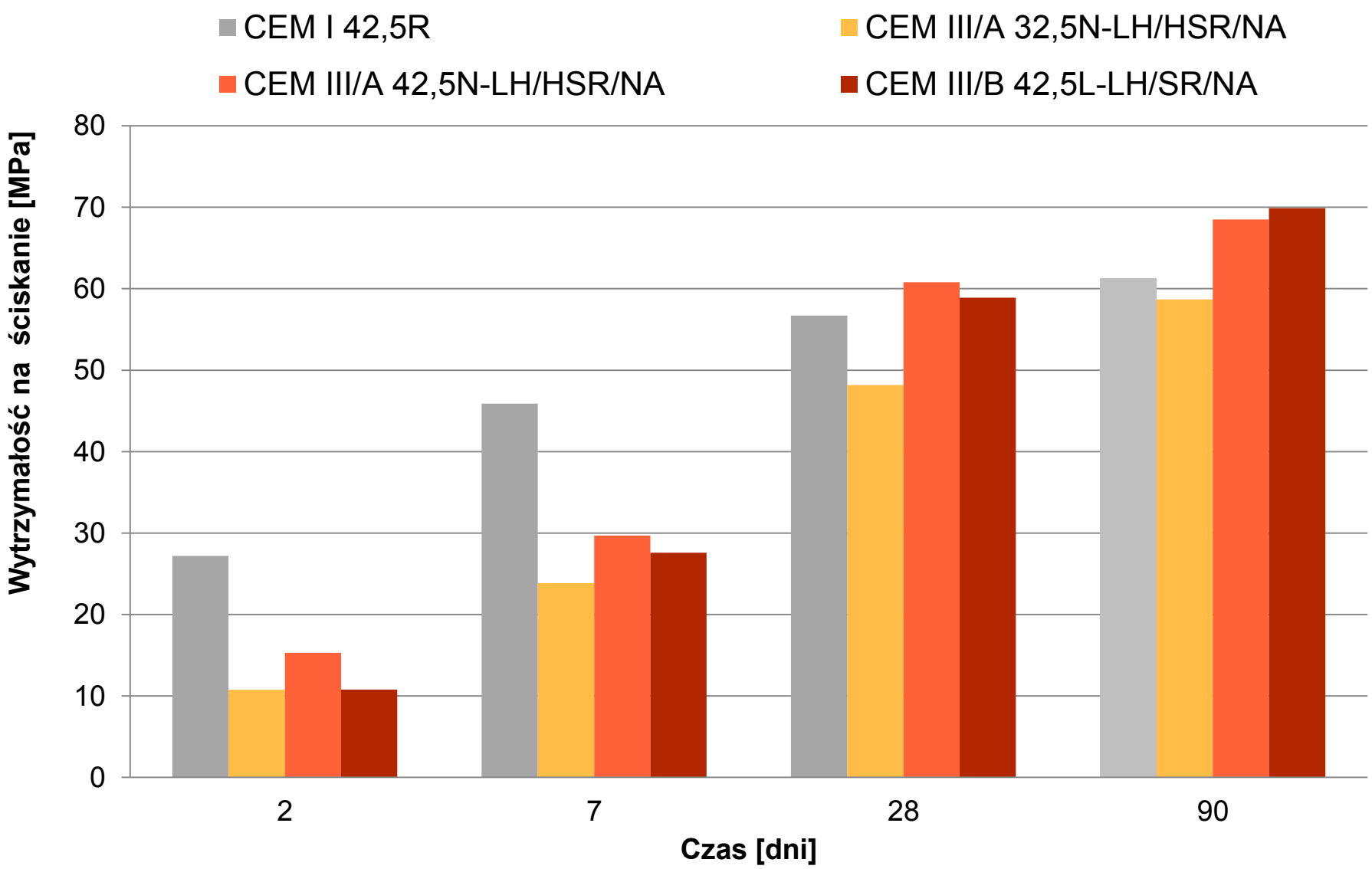
Rodzaje nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania normowe	Wymagania specjalne	Kategorie ruchu
Nawierzchnia dwuwarstwowa, gdy górna i dolna warstwa są z tej samej mieszanki. Nawierzchnia jednowarstwowa	Cement portlandzki wapienny CEM II/A-LL	PN-EN 197-1	Zawartość alkaliów $Na_2O_{eq} \leq 0{,}80$ % (wg PN-EN 196-2)	KR1÷KR3
	Cement portlandzki popiołowy CEM II/A-V[1)]		Zawartość alkaliów $Na_2O_{eq} \leq 1{,}20$ % (wg PN-EN 196-2)	
	Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A-M (S-V)[1)]		Zawartość alkaliów $Na_2O_{eq} \leq 1{,}20$ % (wg PN-EN 196-2)	
	Cement portlandzki żużlowy CEM II/B-S		Zawartość alkaliów $Na_2O_{eq} \leq 0{,}90$ % (wg PN-EN 196-2)	KR1÷ KR4
	Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A-M (S-LL)		Zawartość alkaliów $Na_2O_{eq} \leq 0{,}80$ % (wg PN-EN 196-2)	
	Cement hutniczy CEM III/A[2)]		Zawartość alkaliów $Na_2O_{eq} \leq 1{,}05$ % (wg PN-EN 196-2)	

1) jeśli nawierzchnia nie będzie poddawana działaniu środków odladzających; strata prażenia popiołu lotnego użytego do produkcji cementu ≤ 5% (kategoria A wg PN-EN 450-1)
2) min. klasa wytrzymałości cementu 42,5

Właściwości mechaniczne cementów portlandzkich żużlowych CEM II/A,B-S



Właściwości mechaniczne cementów hutniczych CEM III



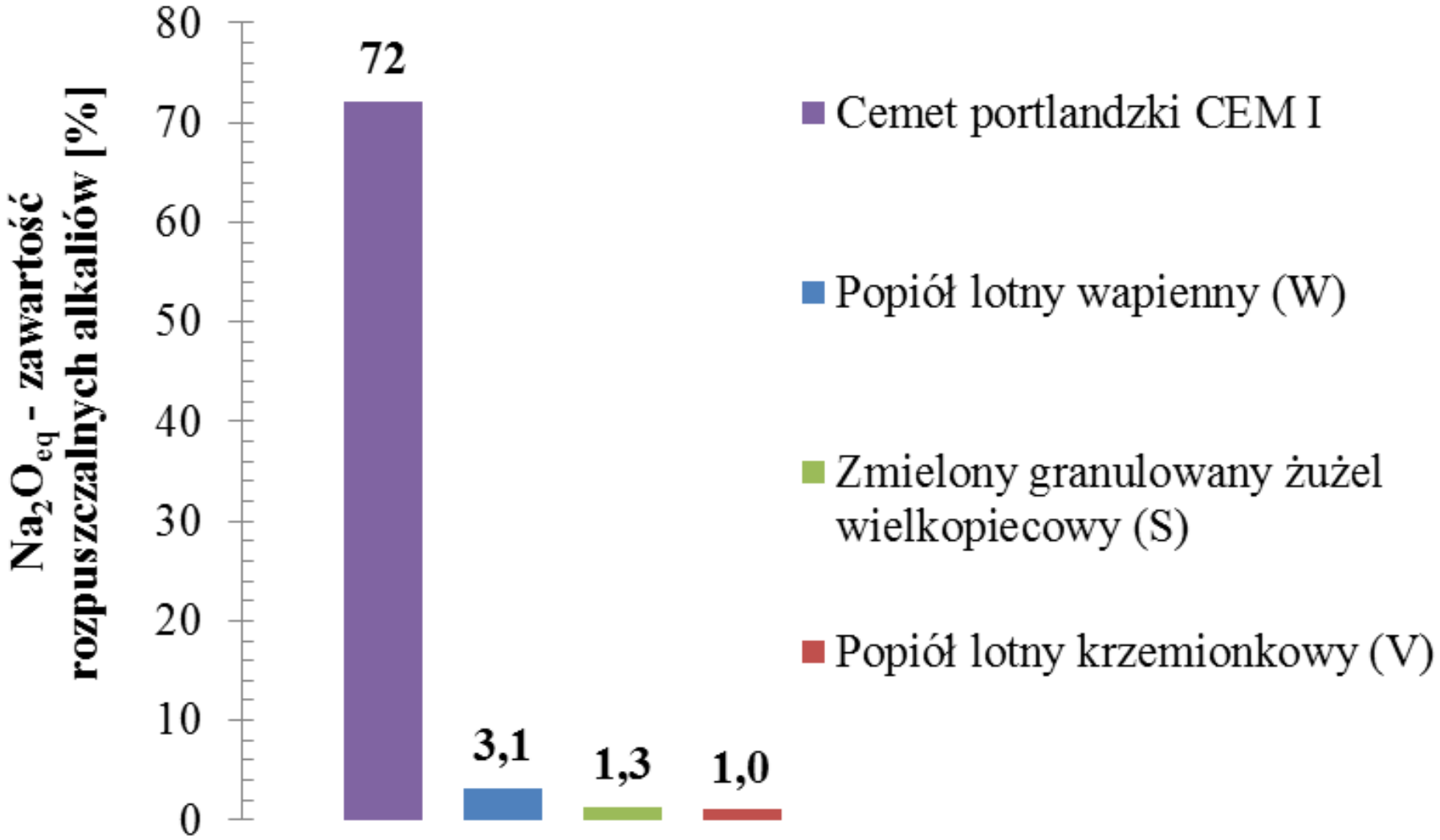
Niskoalkaliczność – NA

cementy niskoalkaliczne NA wg PN-EN 19707

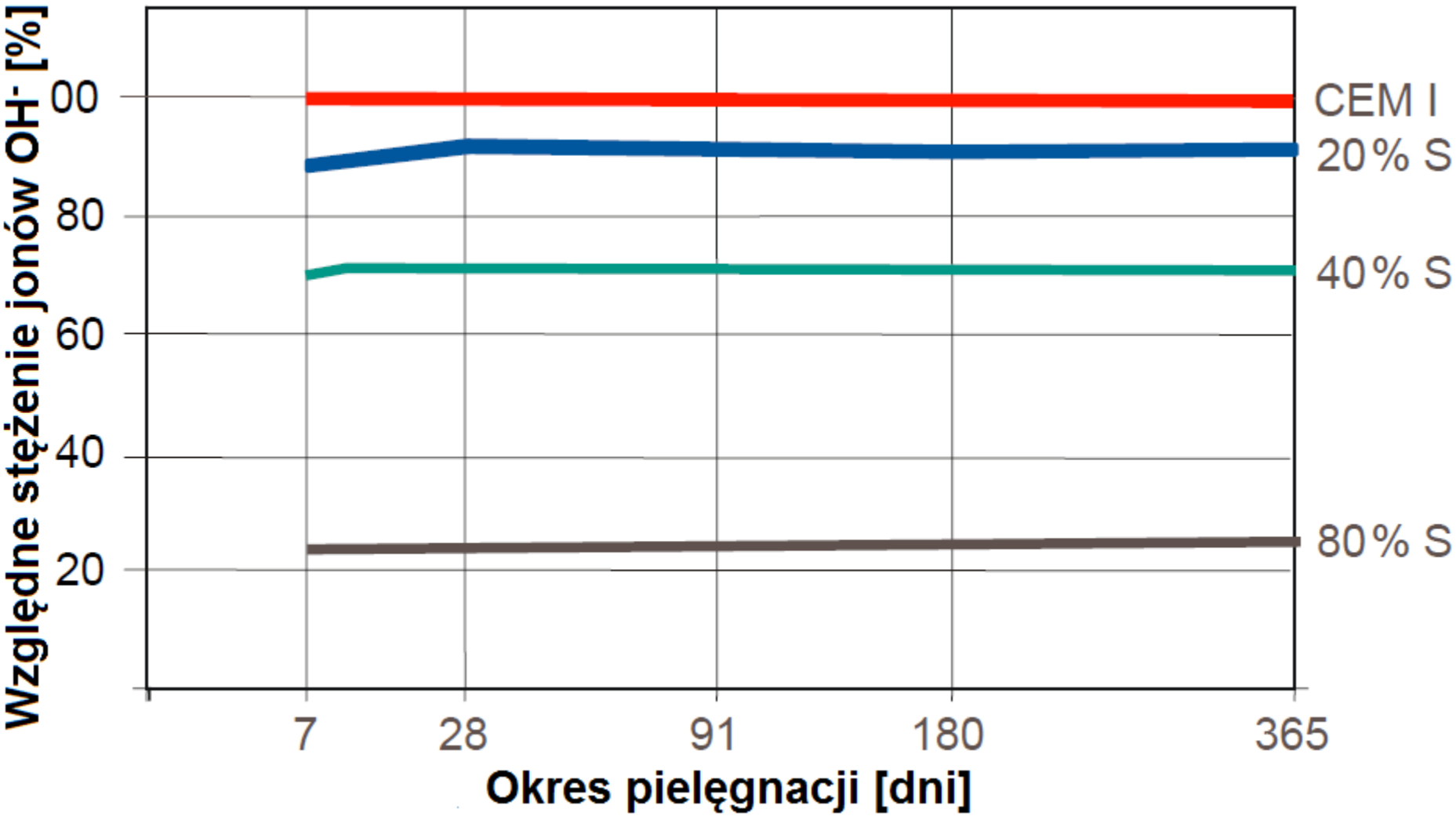
Rodzaj cementu NA	Skład cementu specjalnego	Całkowita zaw. alkaliów Na_2O_{eq}	Alkalia aktywne Na_2O_{eq}
	Wymagania dodatkowe	Wymaganie [%]	Zawartość [%]
CEM I CEM II/A-LL	Brak wymagań	≤0,60	0,30÷0,47
CEM II/A-V	Udział żużla wielkopiecowego S, udział popiołu lotnego krzemionkowego V udział sumy żużla i popiołu S+V ≥14%	≤1,20	0,51
CEM II/A-S		≤0,70	0,48
CEM II/A-M (S-V)		≤1,20	0,47
CEM II/B-V	Udział popiołu lotnego krzemionkowego V≥25%	≤1,50	0,52
CEM II/B-S	PN-EN 197-1	≤0,80	0,48
CEM II/B-M (S-V)	Udział popiołu lotnego krzemionkowego V≥20%	≤1,30	0,51
CEM III/A	Udział żużla wielkopiecowego S ≤49%	≤0,95	0,28
	Udział żużla wielkopiecowego S ≥50%	≤1,10	0,34
CEM III/B-C	PN-EN 197-1	≤2,00	0,18÷0,25
CEM IV/A (V)	Udział popiołu lotnego krzemionkowego V≥25 %	≤1,50	0,48
CEM IV/B (V)	PN-EN 197-1	≤2,00	0,36
CEM V/A (S-V)	Udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego (S+V)≤49%	≤1,60	0,28
	Udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego (S+V)≥50%	≤2,00	0,16
CEM V/B (S-V)	PN-EN 197-1	≤2,00	0,16÷0,21

Wymywalność alkaliów z dodatków mineralnych

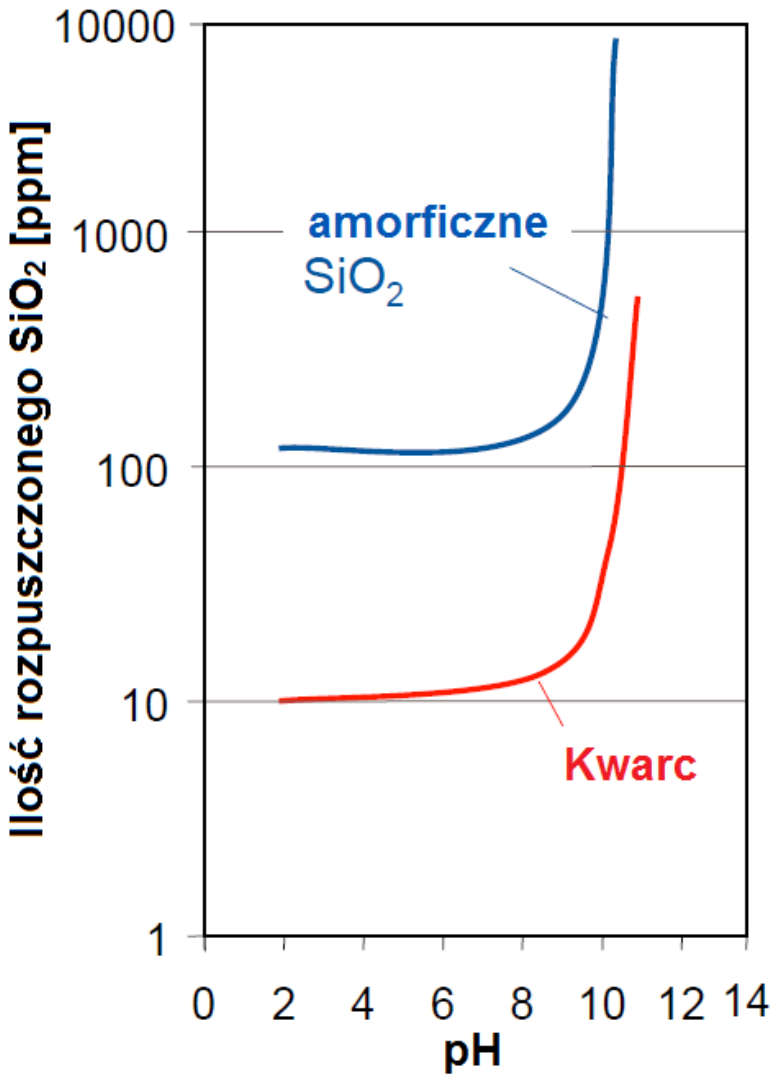
Alkalia rozpuszczalne w wodzie (ASTM C114)

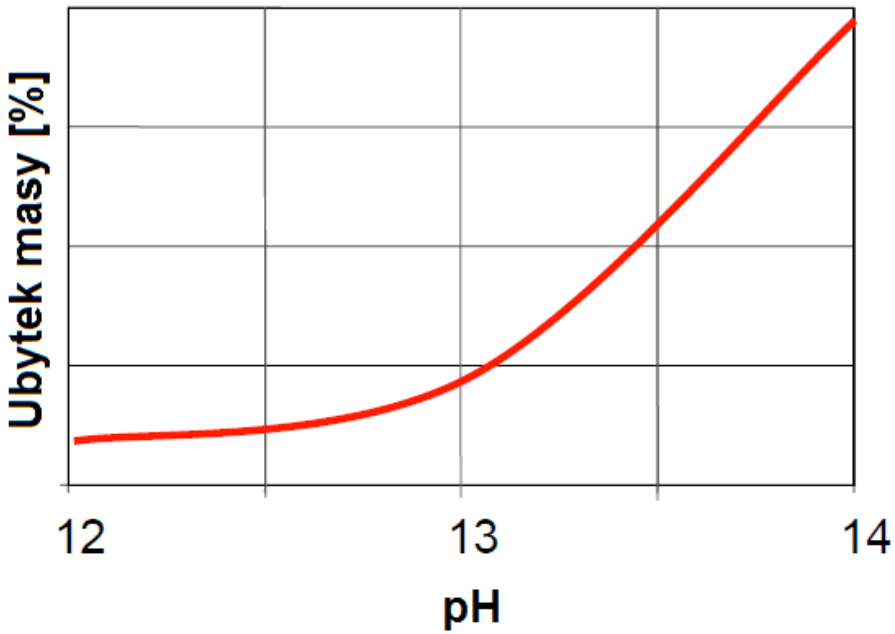


Wpływ dodatku granulowanego żużla wielkopiecowego (S) na alkaliczność roztworu porowego



Rozpuszczalność krzemionki – wpływ odczynu pH





Ryzyko wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo może zostać ograniczone poprzez zmniejszenie alkaliczności roztworu porowego

Droga
Ujazd – Zimna Wódka

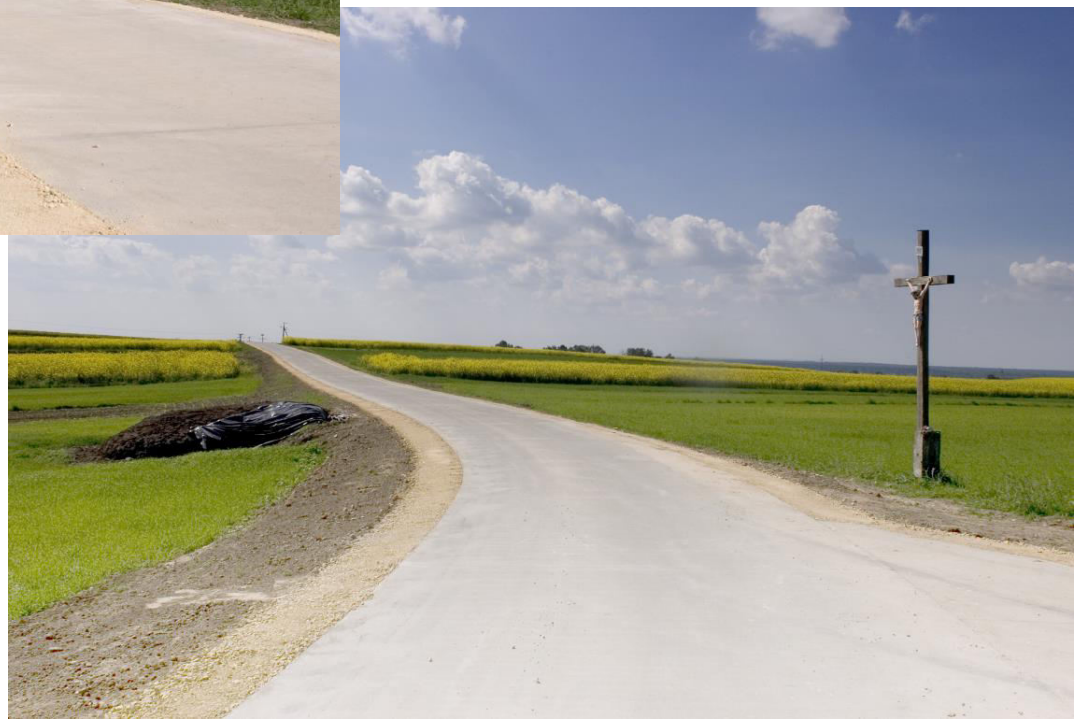
Właściwości cementu portlandzkiego żużlowego CEM II/B-S 42,5N

Właściwości CEM II/B-S 42,5N	Wyniki badań laboratorium zakładowego
Powierzchnia właściwa, cm^2/g	4160
Wodożądność, %	30,1
Zmiany objętości, mm	0,4
Początek czasu wiązania, minuty	197
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach, MPa	22,7
Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach, MPa	37,6
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach, MPa	54,1

Skład mieszanki betonowej

Składnik	Zawartość [kg/m^3]
CEM II/B-S 42,5N	365
Piasek 0-2 mm	603
Grys bazaltowy 2-8 mm	587
Grys bazaltowy 8-16 mm	749
Woda	153
Plastyfikator	2,19
Domieszka napowietrzająca	0,73

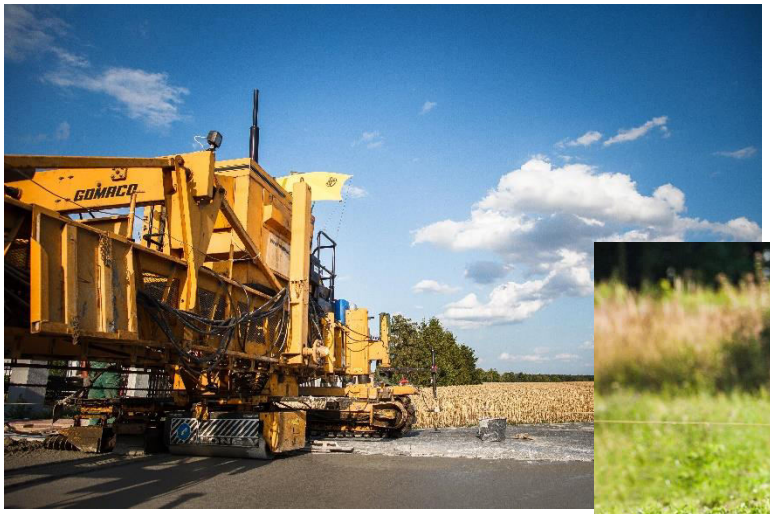
Widok końcowy drogi Ujazd – Zimna Wódka



Wyniki badań betonu

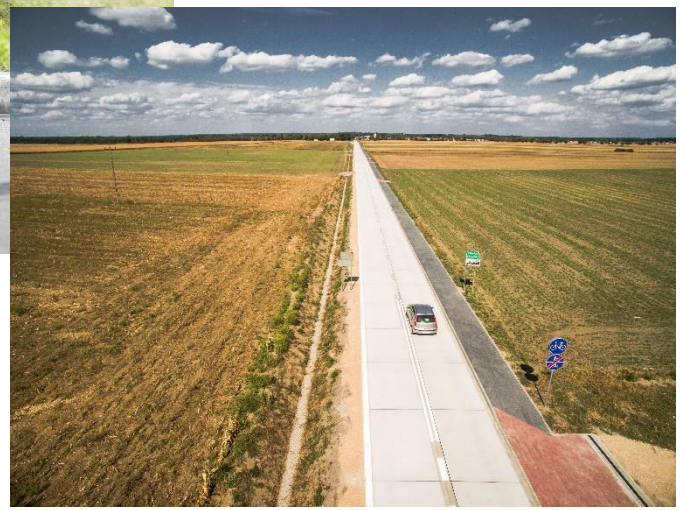
Właściwość	Jednostka	Wyniki badań laboratoryjnych
Gęstość	kg/dm^3	2,5
Zawartość powietrza	%	4,3
Opad stożka	cm	3,0
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach ($f_{ck,cube}$)	MPa	61,0
Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach	MPa	5,6
Nasiąkliwość	%	3,2
Głębokość penetracji wody	cm	0,6

Droga Otmice – Izbicko



Kategoria ruchu KR3

Grubość nawierzchni 22 cm



Zastosowany cement - CEM II/B-S 42,5N-NA

Właściwość	Jedn.	Wartość śr.	Wymaganie
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach	[MPa]	22,9	≥ 10
Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach		41,3	-
Wytrzymałość na ściskanie po 28dniach		60,2	≥ 42,5 ≤ 62,5
Początek czasu wiązania	[min]	236	≥ 60
Powierzchnia właściwa	[cm^2/g]	3962	-
Woda potrzebna do konsystencji normowej	[%]	31	-
Zmiana objętości	[mm]	0,6	≤ 10
Zawartość alkaliów – jako Na_2O_{eq}	[%]	0,65	≤ 0,90

Zastosowane kruszywo

Właściwość	Piasek 0/2	Grys sjenitowy 2/8	Grys sjenitowy 8/16
Kategoria uziarnienia	G_F85	$G_c85/20$	
Zawartość pyłów,, f, %	f_3	$f_{1,5}$	
Wskaźnik płaskości i kształtu	-	FI_{15} i SI_{15}	
Gęstość, kg/dm^3	2,65	2,72	2,75
Nasiąkliwość, WA_{24},%	0,5	0,6	0,6
Potencjalna reaktywność alk.	0	0	0
Odporność na rozdrabnianie LA	-	-	LA_{25}
Mrozoodporność w wodzie	-	-	F_1

Skład mieszanki betonowej

Składnik	Ilość [kg/m^3]
CEM II/B-S 42,5N-NA	365
Piasek 0-2 mm	635
Sjenit 2-8 mm	478
Sjenit 8-16 mm	698
Woda	154
Superplastyfikator	1,72
Plastyfikator	2,01
Domieszka napowietrzająca	1,278

Właściwości mieszanki betonowej

Właściwość	Wynik laboratoryjne - średnia	Wymagania
Całkowita zawartość powietrza [%]	4,4	≥ 4 (XF4)
Wskaźnik rozmieszczenia [mm]	0,210	≤ 0,200 (XF4)
A_{300} [%]	1,5	≥ 1,5
Konsystencja – opad stożka [mm]	60 mm	50-90 mm (S2)

Właściwości stwardniałego betonu

Właściwość		Wynik średnie	Wymagania
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	po 2 dniach	23,3	-
	po 7 dniach	41,2	-
	po 28 dniach	52,5	≥ 41
Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach [MPa]		6,4	4,0 ÷ 6,5
Nasiąkliwość [%]		4,6	≤ 5
Mrozoodporność w obecności soli odladzającej – złuszczenie [kg/m^2]		0,10 kg/m^2 (14 cykli) 0,15 kg/m^2 (28 cykli)	≤ 0,50 kg/m^2 (FT2 po 28 cyklach)
Wodoprzepuszczalność (W8) – głębokość wnikania wody [mm]		58	< 150

Pielęgnacja betonu

Efekt finalny

Przykłady zastosowań cementów z dodatkiem granulowanego żużla wielkopiecowego

Niemcy – most w ciągu autostrady A14 w Beesedau
Zastosowane cementy:
- **CEM III/A 32,5N-NA**
- **CEM II/B-S 42,5R**
- **CEM II/B-S 32,5R**

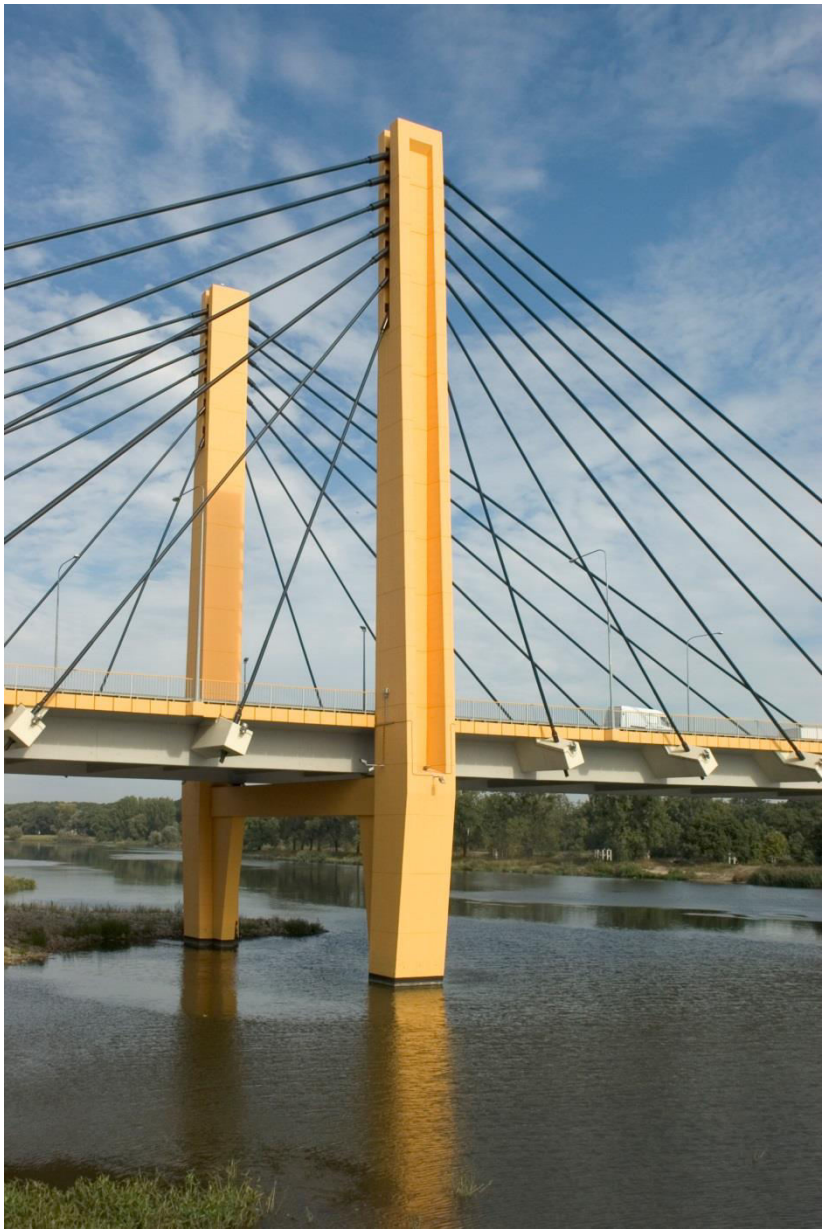
Niemcy – nawierzchnia autostrady A44
Zastosowany cement:
- **CEM III/A 42,5N**

Niemcy – tunel w ciągu autostrady A71 (Erfurt – Schweinfurt)
Zastosowany cement:
- **CEM II/A-S 52,5R**

Rumunia – most Vidin-Calafat
Zastosowany cement:
- **CEM III/A 42,5N**

Belgia – Obwodnica Antwerpii
Zastosowany cement:
- **CEM III/A 42,5N**

Most „Millenium” we Wrocławiu



Pylony: cement CEM II/B-S 42,5N

XF2 - zamrażanie/rozmrażanie w obecności środków odladzajacych – w/c ≤ 0,55, min. 300 kg cementu, klasa betonu C25/30, min. napowietrzenie 4,0 %

XC4 - karbonatyzacja

XD1- chlorki niepochodzące z wody morskiej

Płyta pomostowa: cement CEM I 42,5R

XF4 -zamrażanie/rozmrażanie w obecności środków odladzajacych w/c ≤ 0,45, min. 340 kg cementu, klasa betonu C30/37, napowietrzenie min. 4,0 %

XC4 - karbonatyzacja

XD3- chlorki niepochodzące z wody morskiej

Fundamenty: CEM III/A 32,5N-HSR/LH/NA

XA2- agresja chemiczna – w/c ≤ 0,50, min. 320 kg cementu, klasa betonu C30/37, cement HSR

XC2-karbonatyzacja

XF1-zamrażanie/rozmrażanie

Most Rędziński we Wrocławiu

Podsumowanie

Liczne doświadczenia krajowe i zagraniczne pokazują, że cement portlandzki żużlowy CEM II/A,B-S i cement hutniczy CEM III/A są pełnowartościowymi składnikami zarówno betonu nawierzchniowego, jak i betonu mostowego

Dziękuję za uwagę