

„JAKOŚĆ NIGDY NIE JEST
DZIEŁEM PRZYPADKU...”
John Ruskin



Cement Ożarów
A CRH COMPANY

Cementy z dodatkami w drogowych obiektach inżynierskich

Artur Paszkowski
Cement Ożarów S.A.

III Forum Beton w Drogownictwie
Warszawa, 19-21.10.2022 r.

AGENDA



- **Dokumenty krajowe**
- **Projekt badawczy**
- **Inwestycje infrastrukturalne**
- **Ślad węglowy**
- **Podsumowanie**



ROZPORZĄDZENIE MINISTRA TRANSPORTU I GOSPODARKI MORSKIEJ

z dnia 30 maja 2000 r.

w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowania.

§ 164.1 1. Do wykonywania betonów, o których mowa w § 163 ust. 2, powinien być zastosowany cement portlandzki CEM I niskoalkaliczny:

- 1) do betonu klasy B25 - klasy 32,5 NA,
 - 2) do betonu klasy B30, B35 i B40 - klasy 42,5 NA,
 - 3) do betonu klasy B45 i większej - klasy 52,5 NA,
2. Cement, o którym mowa w ust.1, powinien charakteryzować się następującym składem:
- 1) zawartość określona ułamkiem masowym krzemianu trójtłapniowego (alitu) C_3S - nie większa niż 60%
 - 2) zawartość określona ułamkiem masowym glinianu trójtłapniowego (alitu) C_3A - nie większa niż 7%
 - 3) zawartość określona ułamkiem masowym $C_4AF + 2 \times C_3A$ - nie większa niż 20%
3. Dopuszcza się, w razie potrzeby zastosowanie cementów o wysokiej wczesnej wytrzymałości.



ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY¹⁾

z dnia 1 sierpnia 2019 r.

zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie²⁾

§ 164. 1. Do wykonania betonów, o których mowa w § 163 ust. 2, stosuje się cement spełniający wymagania Polskich Norm.

2. Przy doborze cementu uwzględnić się:

- 1) rodzaj, wymiary i technologię wykonania konstrukcji,
- 2) warunki wykonania, pielęgnacji i dojrzewania betonu,
- 3) agresywność środowiska, ~~na które będzie narażona konstrukcja~~, w tym klasyfikację środowiska w odniesieniu do możliwości wystąpienia w betonie konstrukcyjnym zagrożenia destrukcyjną reakcją minerałów z wodorotlenkami sodu i potasu w cieczy porowej betonu.
3. Do wykonania betonu sprężonego w elementach drogowego obiektu inżynierskiego stosuje się cement CEM I.
4. Do wykonania betonu konstrukcyjnego w elementach masywnych obiektu drogowego dopuszcza się stosowanie cementów o niskim cieple hydratacji LH, zgodnie z Polską Normą.

ROZPORZĄDZENIE

ROZPORZĄDZENIEMINISTRA INFRASTRUKTURY 1)

z dnia 24 czerwca 2022 r.

w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych^{2), 3)}

Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów

Część 2: Podstawowe wiadomości o drogowych obiektach mostowych

Do wykonania betonu konstrukcyjnego w elementach obiektu drogowego powinny być zastosowane cementy portlandzkie lub cementy portlandzkie wieloskładnikowe spełniające wymagania [13]:

- cement portlandzki CEM I o całkowitej zawartości alkaliów Na₂O eq według [11] do 0,8% i początku wiązania według [12] powyżej 120 min,
- cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S o całkowitej zawartości alkaliów Na₂O eq według [11] do 0,8%,
- cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S o całkowitej zawartości alkaliów Na₂O eq według [11] do 0,9%,

Do wykonania betonu sprężonego w elementach obiektu drogowego powinien być stosowany cement CEM I.

Do wykonania betonu konstrukcyjnego w elementach maszynych obiektu drogowego zaleca się stosowanie wymienionych rodzajów cementu o niskim cieple hydratacji (LH) zgodnie z [13]. Dopuszcza się również zastosowanie cementu CEM III/A, z wyjątkiem elementów narażonych na oddziaływanie środowiska w klasie ekspozycji XF4.

Do betonu konstrukcyjnego w elemencie narażonym na oddziaływanie środowiska w klasach ekspozycji XA2 i XA3 oraz XD3, XS3 powinien być zastosowany cement CEM I odporny na siarczany (SR) zgodny z [13] lub cement o wysokiej odporności na siarczany (HSR) CEM III/A zgodny z [112]. Dopuszcza się, w razie potrzeby, zastosowanie cementów o wysokiej wytrzymałości wczesnej (R). Do betonu klasy wytrzymałości na ściskanie wyższej niż C30/37 powinien być stosowany cement klasy nie niższej niż 42,5

ROZPORZĄDZENIE



DOKUMENTACJA KRAJOWA

RODZAJ CEMENTU	WYMAGANIA NORMY	RODZAJ CEMENTU	WYMAGANIA NORMY
CEM I	PN-EN 197-1	CEM I – NA	PN-EN 197-1 i PN-B-19707
CEM II/A-S		CEM II/A-S – NA	
CEM II/B-S		CEM II/B-S – NA	
CEM II/A-V		CEM II/A-V – NA	
CEM II/A-LL 42,5 i wyższej		CEM II/A-LL – NA 42,5 i wyższej	
CEM II/A-M (S-LL)		CEM II/A-M (S-LL) – NA	
CEM II/A-M (S-V)		CEM II/A-M (S-V) – NA	

CEM V/A (S-V) LH dopuszczenie w fundamentach masowych.

Do betonu klasy C30/37 powinien być stosowany cement klasy nie niższej niż 42,5.

CEM I stosuje się przy obiektach sprężanych.

Do wyliczenia ilość alkaliów aktywnych przyjąć zgodnie z ASR-RID 2022

CEM III/A-NA zastosowanie z zastrzeżeniem, że dla elementów narażonych na oddziaływanie środowiska XF4 należy spełnić dodatkowe wymagania: klasa wytrzymałości cementu $\geq 42,5$ lub klasa wytrzymałości cementu $\geq 32,5$ R z zawartością granulowanego żużla wielkopieczowego $\leq 50\%$ (masowo).

Stosowanie cementów o właściwościach specjalnych:

- cementy o niskim cieple hydratacji LH
- cementy odporne na siarczany SR/HSR
- cementy niskoalkaliczne NA

WWIORB

ASR-RID 2019

5.2. Obliczanie zawartości alkaliów w recepturze betonu:

Zawartość alkaliów czynnych w betonie jako Na_2O_{eq} określa się jako sumę zawartości alkaliów z poszczególnych składników.

$$\text{Wzór: } Na_2O_{eq} = \sum_i \frac{w_i}{100\%} x_i z_i \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

gdzie: w_i – współczynnik uwzględniający udział alkaliów wymywanych dla i-tego składnika, x_i – zawartość Na_2O_{eq} dla i-tego składnika, z_i – zawartość i-tego składnika w betonie.

Do obliczeń należy przyjąć następujące wartości współczynników w_i :

- 100 % całkowitej zawartości alkaliów w cemencie portlandzkim CEM I lub klinkierze portlandzkim;
- 10 % całkowitej zawartości alkaliów w granulowanym żużlu wielkopieczowym i 10 % całkowitej zawartości alkaliów w popiele lotnym krzemionkowym, jako składników cementów wieloskładnikowych niskoalkalicznych NA oraz jako aktywnych dodatków mineralnych typu II do betonu;
- 100 % zawartość alkaliów w domieszkach do betonu;
- 100 % zawartość alkaliów w wodzie zarobowej;
- w przypadku kruszyw naturalnych ze złóż krajowych ze skał litych i okruszowych nie stwierdza się znaczącego wymywania alkaliów, a co za tym idzie, alkalia wymywalne z kruszywa pomija się w bilansie Na_2O_{eq} w betonie.

Jeśli nie jest znany masowy udział cementu oraz zawartość w składnikach, zawsze należy przyjąć 100 % zawartości alkaliów określonych dla produktu handlowego – zastosowanego do produkcji betonu.

ASR-RID 2022

5.2. Obliczanie zawartości alkaliów w recepturze

Zawartość alkaliów w betonie jako Na_2O_{eq} określa się jako sumę zawartości alkaliów z poszczególnych składników mieszanki betonowej.

$$\text{Wzór: } Na_2O_{eq} = \sum_i \frac{w_i}{100\%} \frac{x_i}{100\%} z_i \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

gdzie: w_i – współczynnik uwzględniający udział alkaliów wymywanych dla składnika [%], x_i – zawartość Na_2O_{eq} dla składnika [%], z_i – zawartość składnika w betonie [kg/m³].

Do obliczeń należy przyjąć następujące wielkości współczynników w_i :

- 85% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq}
- 80 % całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w cemencie portlandzkim żużlowym CEM II/A-S-NA;
- 70% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/A-V-NA, cemencie portlandzkim żużlowym CEM II/B-S-NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A-M (S-V)-NA,
- 60% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/B-V-NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/B-M (S-V)-NA, cemencie hutniczym CEM III/A-NA,
- 50% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w cemencie wieloskładnikowym CEM V/A (S-V)-NA,
- 30% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w zmielonym granulowanym żużlu wielkopieczowym, jako dodatku typu II do betonu;
- 10% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w popiele lotnym krzemionkowym, jako dodatku typu II do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w domieszkach do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w wodzie zarobowej (nie dotyczy wody wodociągowej);
- w przypadku kruszyw naturalnych ze złóż krajowych ze skał litych i okruszowych nie stwierdza się znaczącego wymywania alkaliów, a co za tym idzie, alkalia wymywalne z kruszywa pomija się w bilansie Na_2O_{eq} w betonie.

ASR-RID

ASR-RID 2019 – załącznik 6

2. Metoda obliczenia zawartości alkaliów w betonie

Obliczanie zawartości alkaliów w betonie odnosi się do maksymalnej zawartości alkaliów jako $Na_2O_{eq\ max}$ dopuszczalnej w określonej kategorii środowiska E, klasie obiektu S i kategorii reaktywności kruszywa R. Obliczenia powinny uwzględniać maksymalną zawartość $Na_2O_{eq\ max}$ we wszystkich składnikach mieszanki betonowej – zawartość $Na_2O_{eq\ max}$ określa maksymalną zawartość alkaliów wprowadzanych do betonu w postaci jego składników. Wartość graniczna zawartości $Na_2O_{eq\ max}$ na 1 m³ betonu wg tablic nr 4-7 Wytycznych Technicznych jest zróżnicowana – wynosi 3,0; 2,4 lub 1,8 kg/m³.

Maksymalną wartość $Na_2O_{eq\ max}$ dla zawartości alkaliów w cemencie wyznacza się uwzględniając wyniki analizy statystycznej zawartości alkaliów w cementach stosowanych do produkcji mieszanki betonowej.

Dla zawartości średniej deklarowanej przez producenta dla produktu rynkowego maksymalną zawartość $Na_2O_{eq\ max}$ w cemencie oblicza się:

$$Na_2O_{eq\ max} = Na_2O_{eq\ \text{średnie}} \times (1 + 2V_c) \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Gdzie: $Na_2O_{eq\ \text{średnie}}$ - średnia zawartość wszystkich alkaliów wprowadzanych do betonu w postaci jego składników,

$Na_2O_{eq\ max}$ - maksymalna zawartość alkaliów wprowadzanych do betonu w postaci jego składników – dla zawartości alkaliów w cemencie stosuje się maksymalną wartość z analizy statystycznej, V_c - współczynnik zmienności dla zbioru zawartości alkaliów w stosowanym i proponowanym do wykorzystania w cemencie, gdzie zawartość reprezentuje produkcję za okres 3 tygodni lub dłuższy. Wykorzystuje się zbiór na podstawie analizy statystycznej próbek cementu przeprowadzonej przez producenta cementu. Jeżeli w okresie 3 lub więcej tygodni przeprowadzono więcej analiz oznaczenia zawartości alkaliów należy wybrać wartość najwyższą.

Analogiczny sposób obliczania $Na_2O_{eq\ max}$ przyjmuje się dla wszystkich składników mieszanki betonowej. Do obliczeń przyjmuje się wartość $Na_2O_{eq\ max}$ wyliczoną dla wartości $Na_2O_{eq\ \text{średnie}}$ skorygowaną współczynnikiem zmienności V_c składnika.

ASR-RID 2022 – załącznik 6

2. Metoda obliczenia zawartości alkaliów w betonie

Obliczanie zawartości alkaliów w betonie odnosi się do zawartości alkaliów wyrażonej jako Na_2O_{eq} , dopuszczalnej w określonej kategorii środowiska E, klasie obiektu S i kategorii reaktywności kruszywa R. Obliczenia powinny uwzględniać zawartość Na_2O_{eq} we wszystkich składnikach mieszanki. Wartość graniczna zawartości Na_2O_{eq} na 1 m³ betonu wg tablic nr 4-7 Wytycznych Technicznych jest zróżnicowana – wynosi 3,5; 3,0; 2,4 lub 1,8 kg/m³.

ASR-RID

PROJEKT BADAWCZY

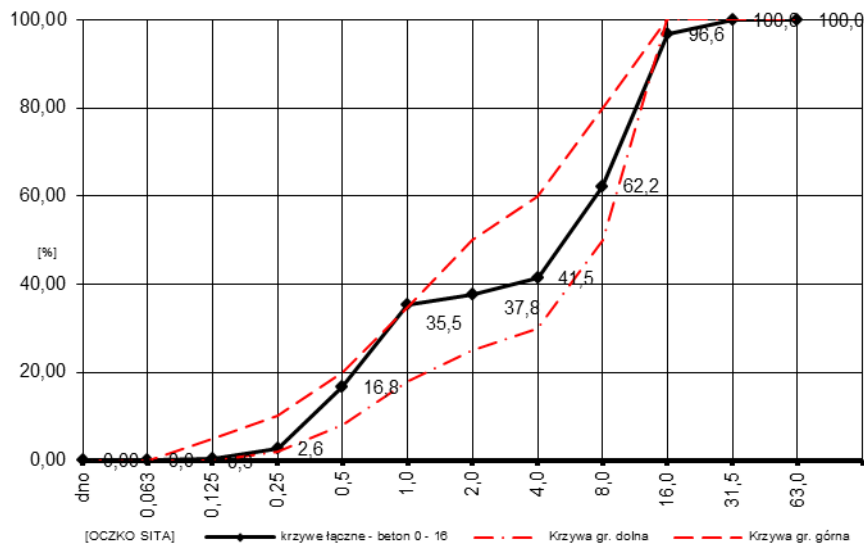
Rodzaj cementu	CEM I 42,5R	CEM II/A-V 42,5R-NA
Parametry mechaniczne:	Osiągane średnie wartości	Osiągane średnie wartości
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach [MPa]	32,7	28,3
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	58,9	56,8
Parametry chemiczne:	Osiągane średnie wartości	Osiągane średnie wartości
Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ [%]	0,72	0,97
Parametry fizyczne:	Osiągane średnie wartości	Osiągane średnie wartości
Początek czasu wiązania [min]	193	198
Woda do konsystencji normowej [%]	28,3	28,7
Powierzchnia właściwa [cm^2/g]	4170	4314
Rodzaj cementu	CEM II/B-S 42,5R-NA	CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA
Parametry mechaniczne:	Osiągane średnie wartości	Osiągane średnie wartości
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach [MPa]	26,4	17,3
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	57,8	55,1
Parametry chemiczne:	Osiągane średnie wartości	Osiągane średnie wartości
Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ [%]	0,62	0,54
Parametry fizyczne:	Osiągane średnie wartości	Osiągane średnie wartości
Początek czasu wiązania [min]	214	225
Woda do konsystencji normowej [%]	30,5	31,5
Powierzchnia właściwa [cm^2/g]	4276	4305



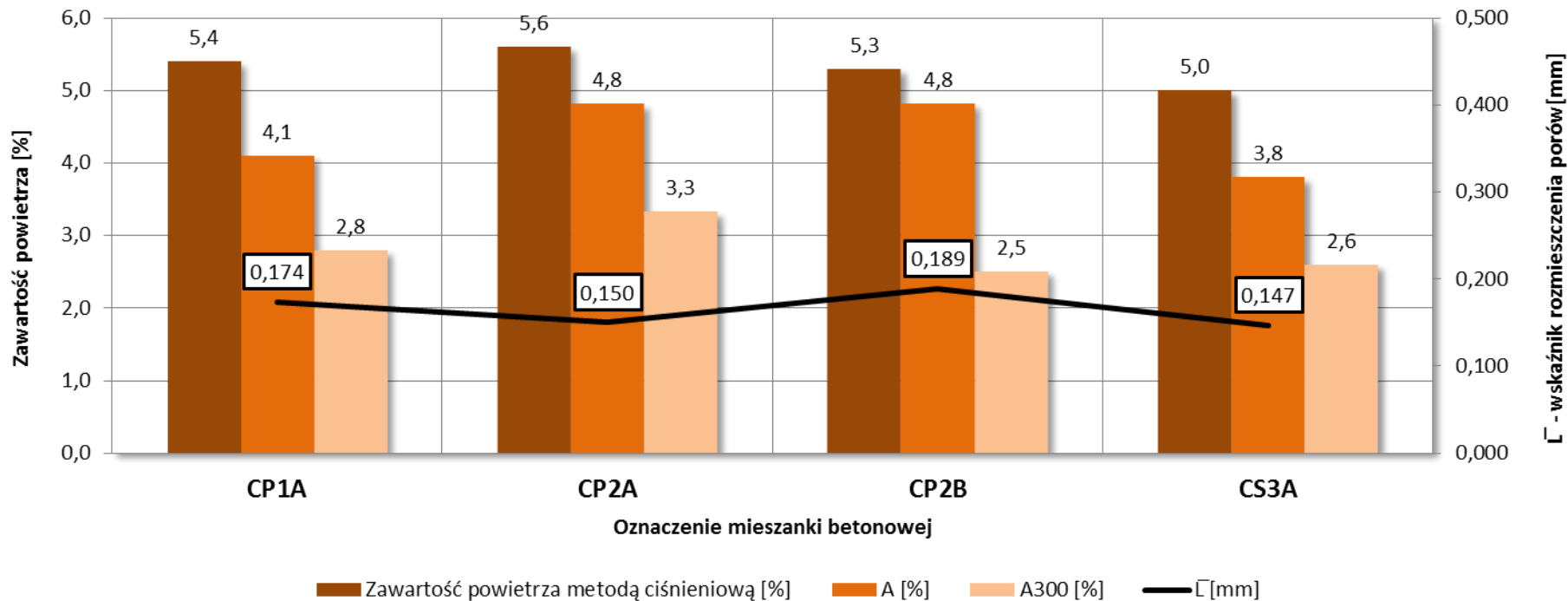
PROJEKT BADAWCZY

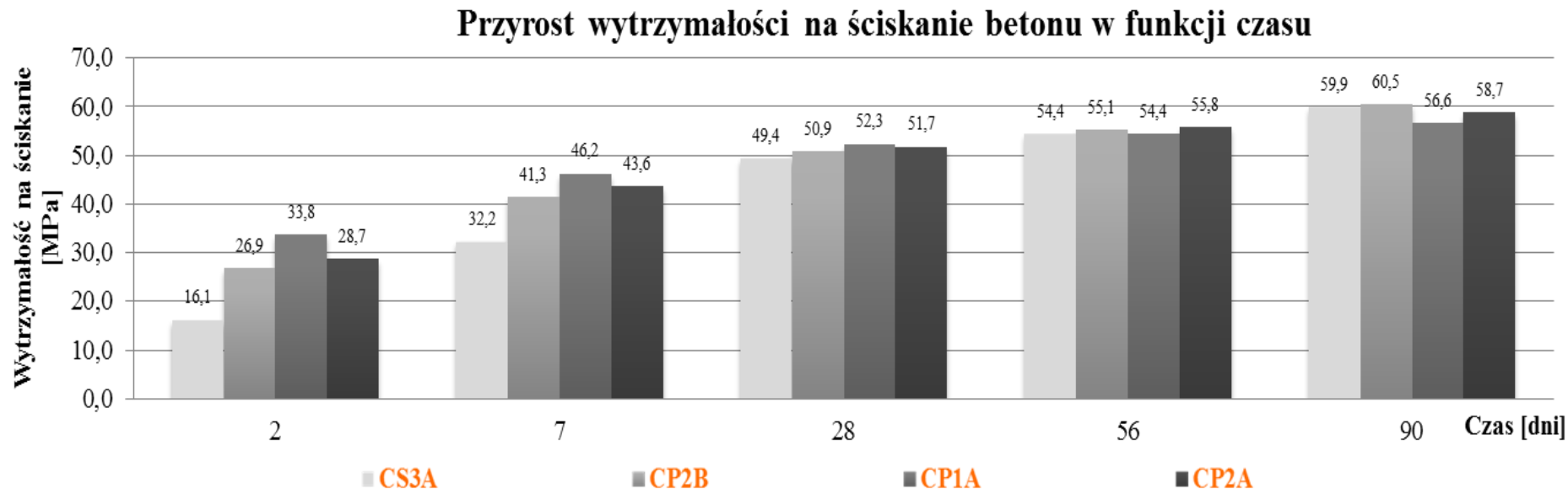
Nazwa składnika / Numer m.b.	CP1A	CP2A	CP2B	CS3A
CEM I 42,5R	380			
CEM III/A-V 42,5R-NA		380		
CEM II/B-S 42,5R-NA			380	
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA				380
Kruszywo drobne 0-2 [mm]	37,0%	37,0%	37,0%	37,0%
Kruszywo grube 2-8 [mm] Grys wapienny	22,0%	22,0%	22,0%	22,0%
Kruszywo grube 8-16 [mm] Grys wapienny	41,0%	41,0%	41,0%	41,0%
Domieszka napowietrzająca	0,35%	0,50%	0,35%	0,35%
Domieszka upłynniająca	0,60%	0,65%	0,55%	0,40%
w/c _{ef}	0,40			

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)	56 dni
CEM III/A	90 dni



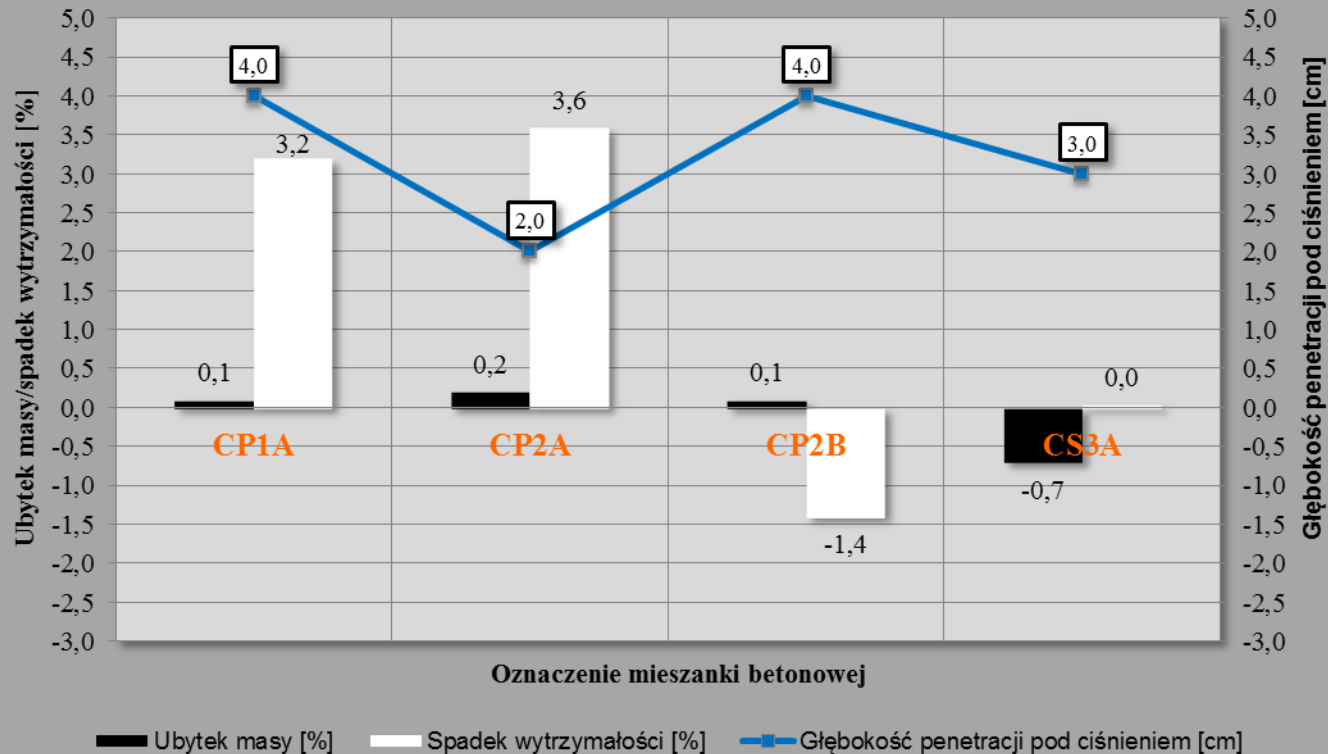
Charakterystyka porów powietrznych w mieszance betonowej





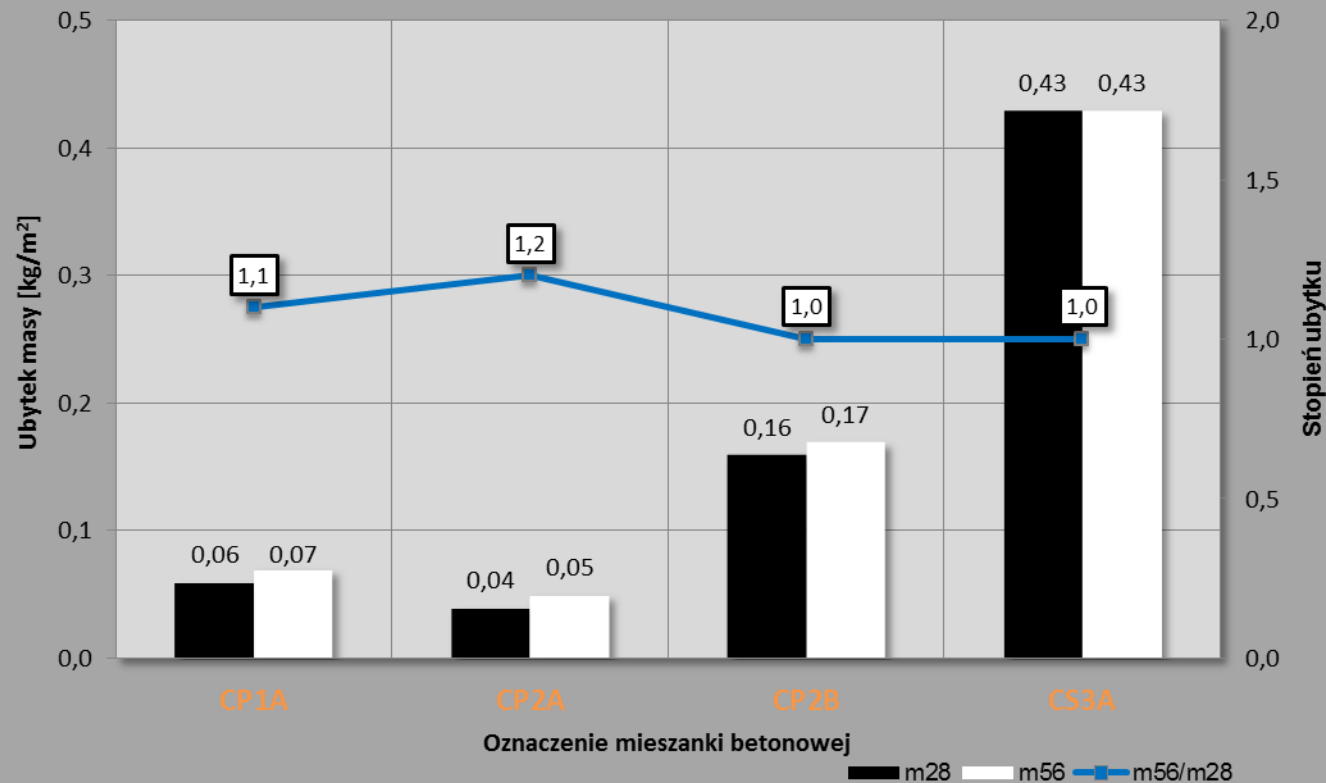
PROJEKT BADAWCZY

Trwałościowe wyniki badań betonów



PROJEKT BADAWCZY

Trwałościowe wyniki badań betonów



„Cementy z dodatkami w drogowych obiektach inżynierskich.”



Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i modułów sprężystości betonów

Oznaczenie betonu	wytrzymałość średnia na ściskanie f_c^{cyl} , MPa (po 90 dniach)	klasa betonu	wartość modułu wg PN-EN 1992-1-1 E_{cm} , GPa (po 28 dniach)	wynik badania $E_{c,s}$, GPa (po 90 dniach)
CP1A/2019	61,8	C55/67	38	38,9
CP2A/2019	62,3	C55/67	38	40,1
CP2B/2019	59,5	C55/67	38	41,6
CS3A/2019	55,4	C50/60	37	38,8



Napowietrzenie betonu

Cement Portlandzki

- zawartość cementu w mieszance
- powierzchnia właściwa
- zawartość alkaliów
- środki powierzchniowo czynne do mielenia

Pozostałe surowce mieszanki betonowej:
domieszki chemiczne, kruszywo, jakość i ilość wody

Popiół lotny krzemionkowy

- strata prażenia
- miakłość

Granulowany żużel wielkopiecowy

- powierzchnia właściwa
- środki powierzchniowo czynne do mielenia

Czynniki technologiczne:
produkcja, transport, wbudowywanie

Warunki atmosferyczne:
temperatura



INWESTYCJE INFRASTRUKTURALNE



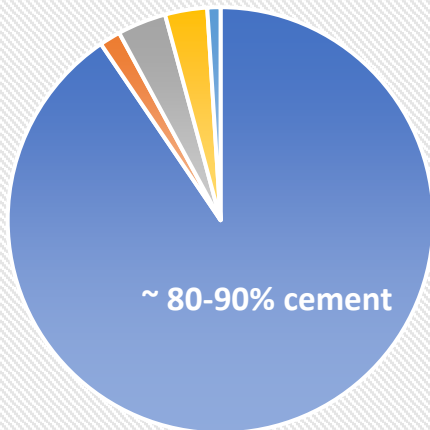
S19 → 10,3 km
w. Rzeszów Pd. – w. Babica
CEM II/B-S 42,5R-NA



S2 POW → 4,6 km
w. Warszawa Puławska - w. Warszawa Przyczółkowa
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA

ŚLAD WĘGLOWY

Przykładowy ślad węglowy betonu mostowego wykonanego na CEM I (liczony dla zakresu A1-A3 wg PN-EN 15978)



- Cement
- Domieszki
- Kruszywa
- Transport składników
- Emjsa związana z produkcją oraz odpadami

„Średnia” emisja CO_{2eq} cementów produkowanych w Polsce [kg/tonę]

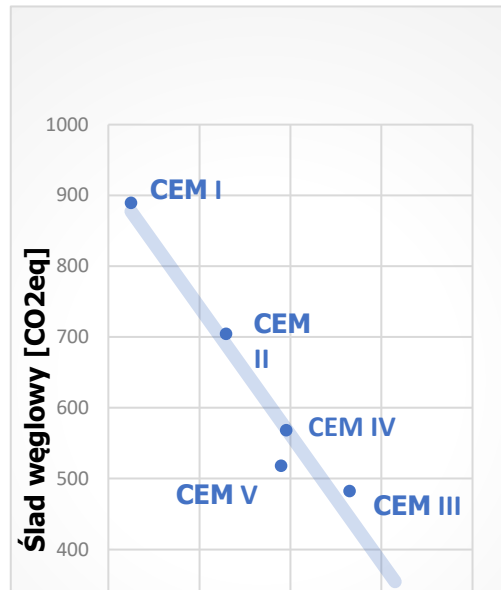
CEM I	889
CEM II	704
CEM III	482
CEM IV	568
CEM V	518



ISJA CO_{2eq}

CEM I → CEM II

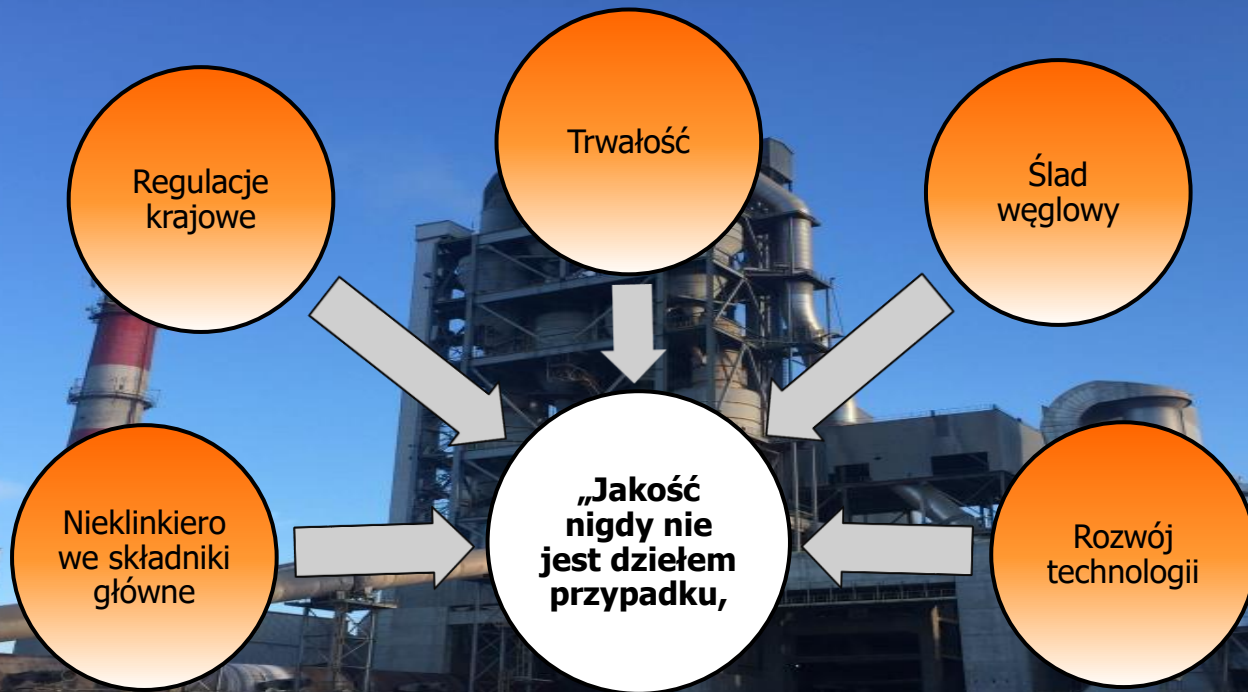
Źródło: Deklaracje środowiskowe EPD opracowane przez ITB na zlecenie Stowarzyszenia Producentów Cementu (2020)



CEM I → CEM III

Ilość nieklinkierowych składników głównych i drugorzędnych

PODSUMOWANIE



reprezentuje mądry wybór z wielu alternatyw...”



Cement Ożarów

A CRH COMPANY

Dziękuję za uwagę