

Szkolenie dla projektantów i technologów drogowych

BETON JAKO TRWAŁY I INNOWACYJNY MATERIAŁ W BUDOWNICTWIE

Zbigniew Giergiczny
Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska w Gliwicach



Politechnika
Śląska



Warszawa, 28 marca 2023

ORGANIZATOR



Stowarzyszenie Producentów Cementu
Polish Cement Association

PARTNERZY



Stowarzyszenie Producentów
Betonu Towarowego w Polsce



Zakres wystąpienia

1. Beton podstawowy materiał konstrukcyjny.
2. Beton jako trwały materiał budowlany.
3. Beton jako innowacyjny materiał budowlany.
4. Czy beton na cementach powszechnego użytku ma przyszłość ?





Beton podstawowy materiał konstrukcyjny w budownictwie

Dlaczego beton jest powszechnie stosowany w budownictwie ?

- składniki powszechnie dostępne
- uniwersalny w zastosowaniu
- trwały w środowisku pracy
- materiał o niskim śladzie węglowym
- przyjazny środowisku
- odzysk ubocznych produktów przemysłowych
- w 100% podlega recyklingowi
- ekonomiczny i konkurencyjny



Składniki współczesnego betonu

```
graph TD; A[Składniki współczesnego betonu] --> B[Cement]; A --> C[Kruszywo]; A --> D[Woda]; A --> E[Zbrojenie rozproszone]; A --> F[Dodatki typu I i II]; A --> G[Domieszki];
```

Cement

Kruszywo

Woda

**Zbrojenie
rozproszone**

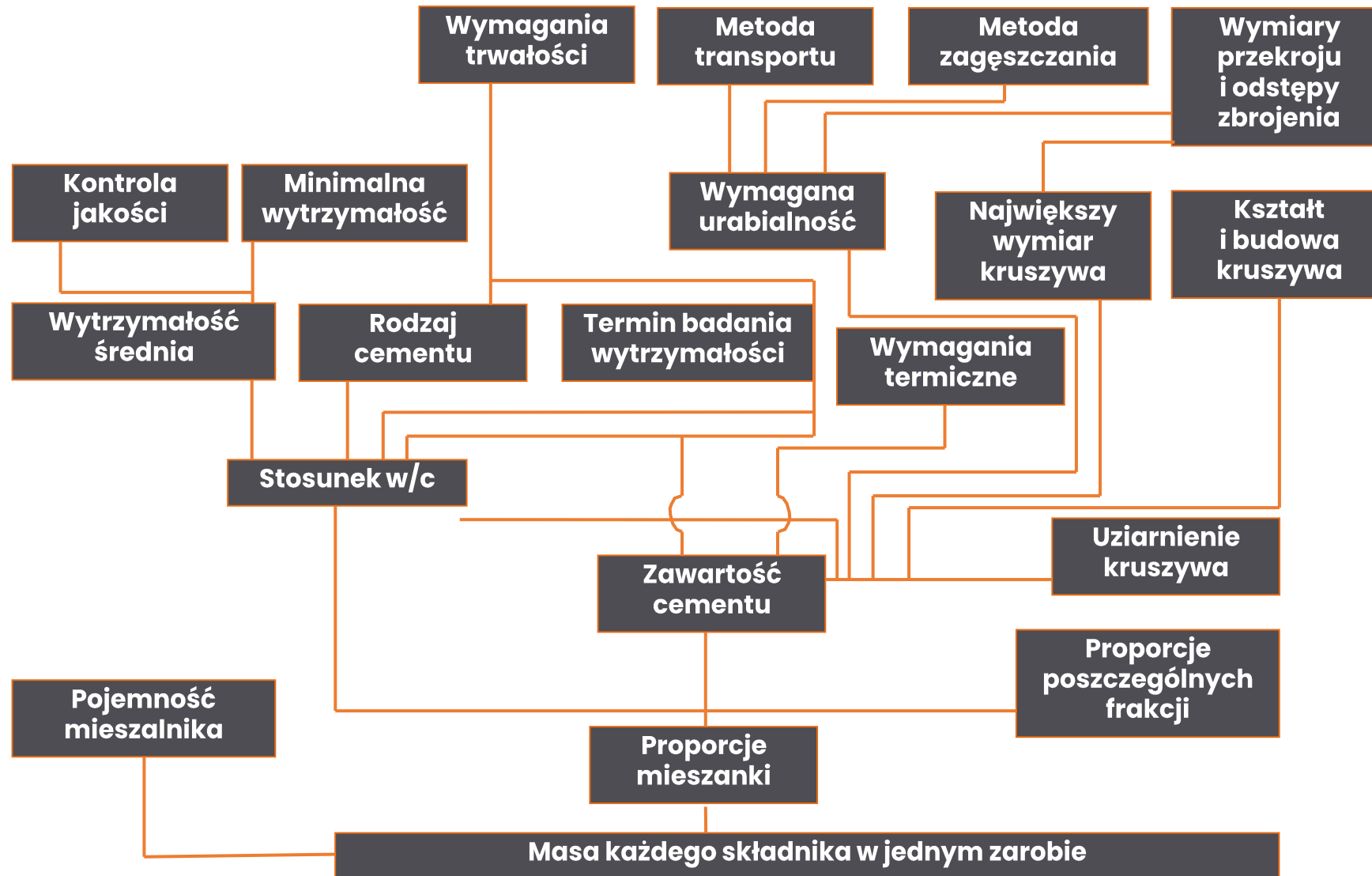
Dodatki typu I i II

Domieszki

Czym jest współczesna technologia betonu?



Podstawowe czynniki uwzględnianie przy projektowaniu mieszanki betonowej



Beton – podstawowe obszary wymagań

Właściwości
robocze
mieszanki
betonowej

Wytrzymałość

Estetyka
powierzchni

Trwałość



Skład ilościowy przeciętnego i emisyjność składników betonu, % obj.

Udział składników w 1m³ betonu



Powietrze: 2-6%

Cement: 9 – 13 %

Woda: 10 - 15%

Piasek: 25%

Kruszywo grube: 41%

Emisja CO₂ na 1 tonę składnika

cement

600-900 kg CO₂

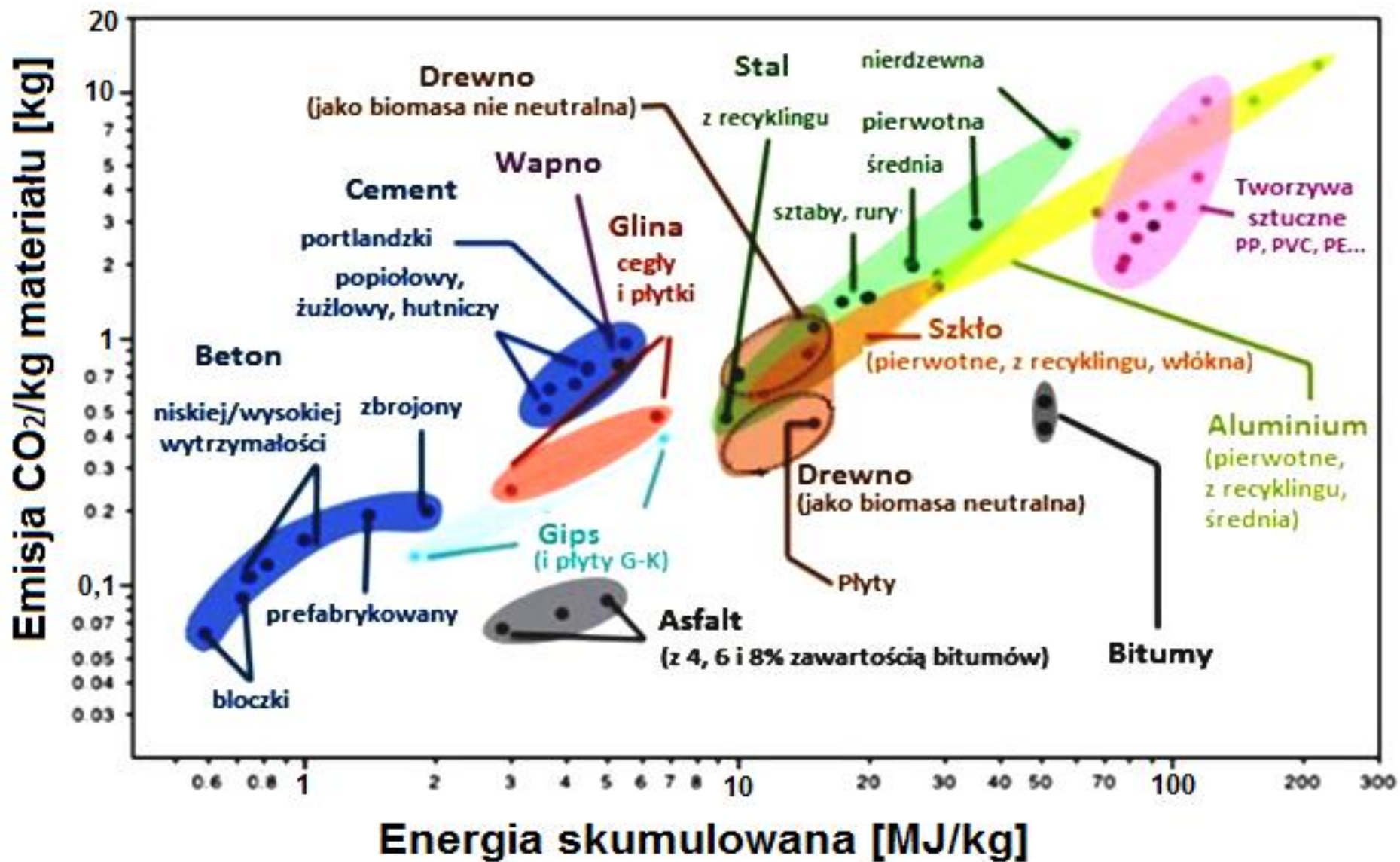
kruszywo

4kg CO₂

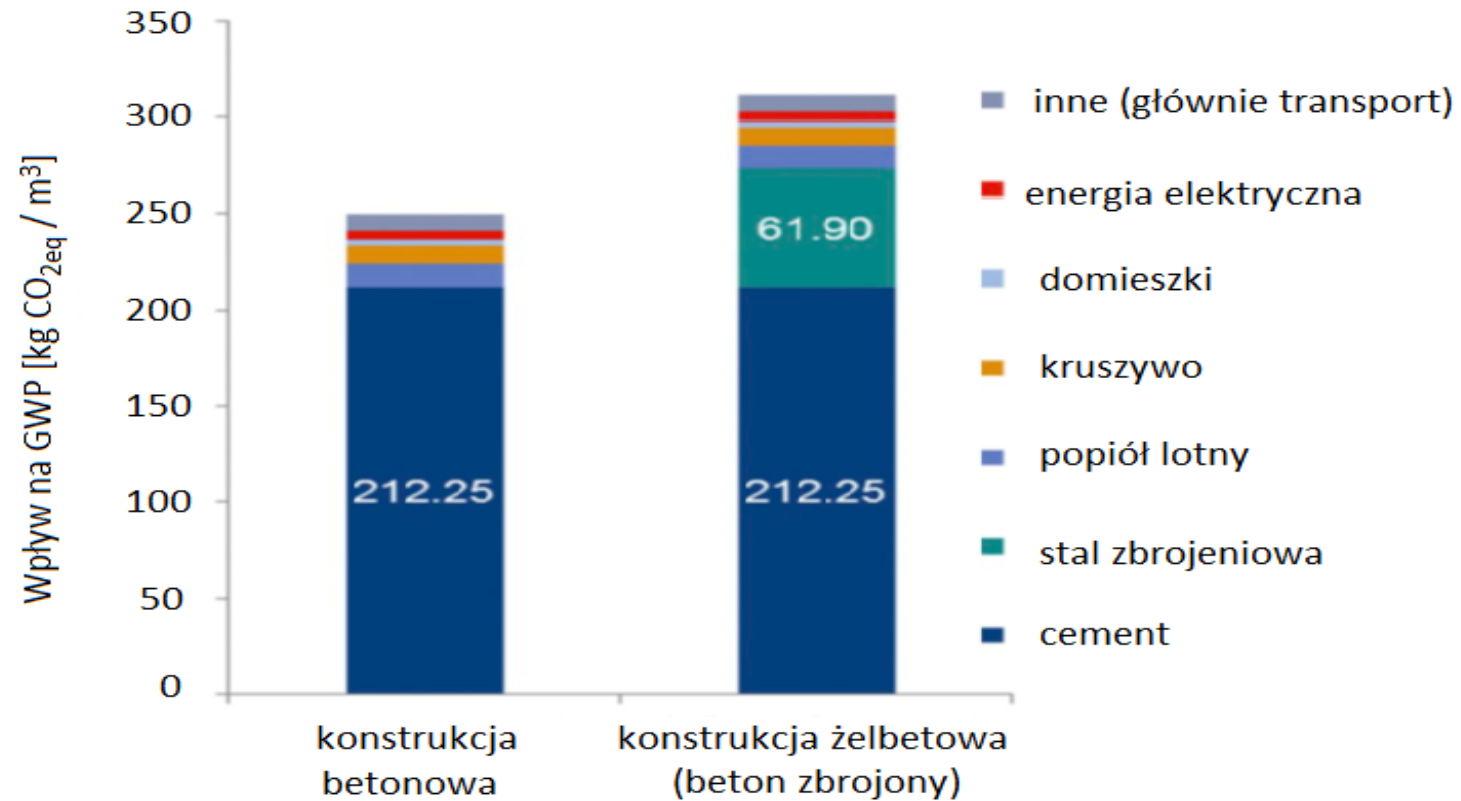
woda

0 kg CO₂

Beton materiał o małym śladzie węglowym

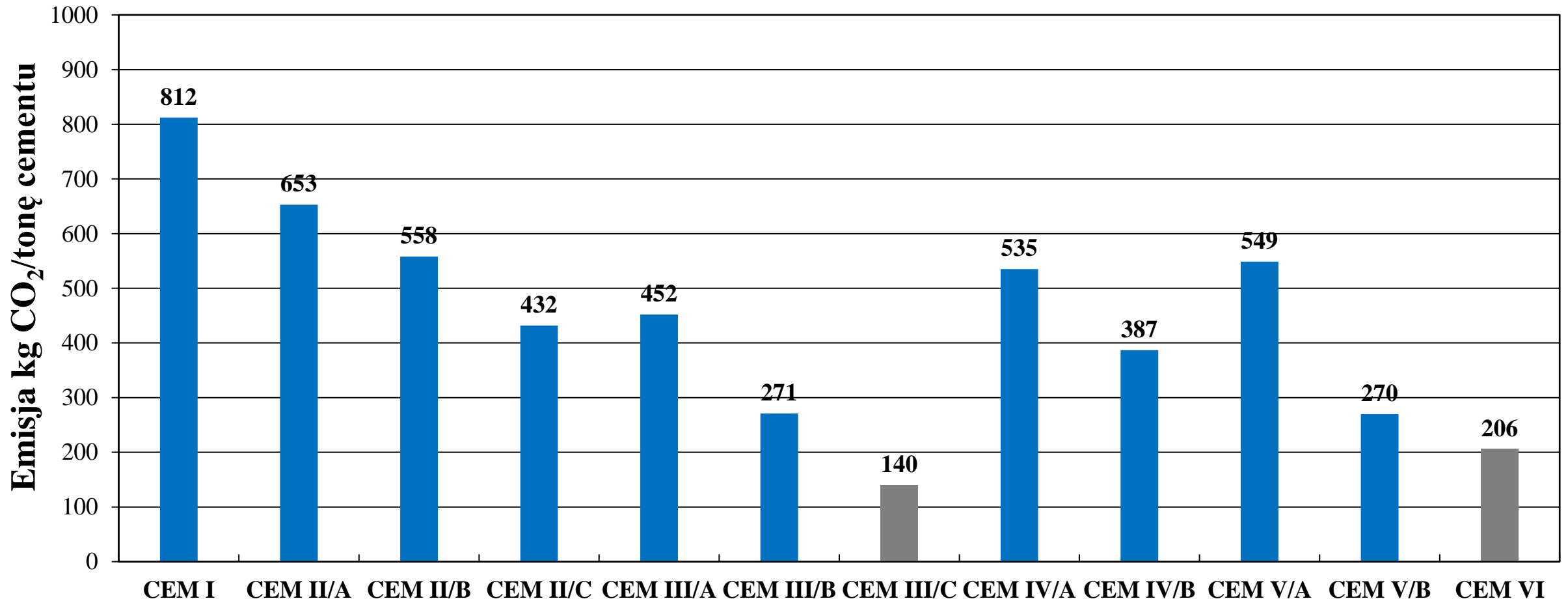


Ślad węglowy betonu i żelbetonu



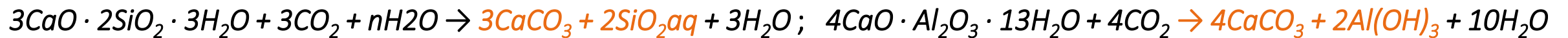
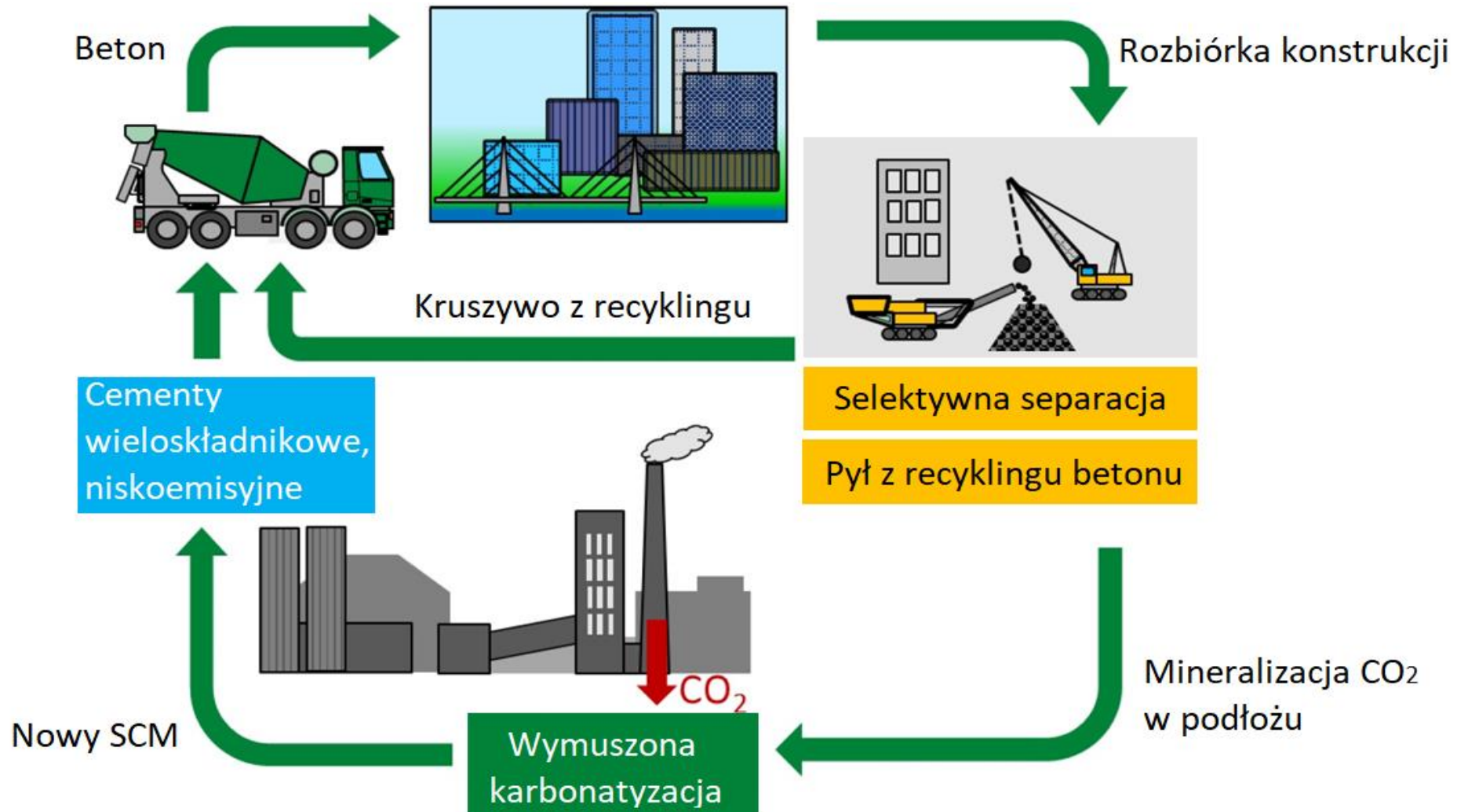
M. Schneider. *The cement industry on the way to a low-carbon future*, *Cement and Concrete Research* 124 (2019) 105792

Rodzaj cementu a poziom emisji CO₂

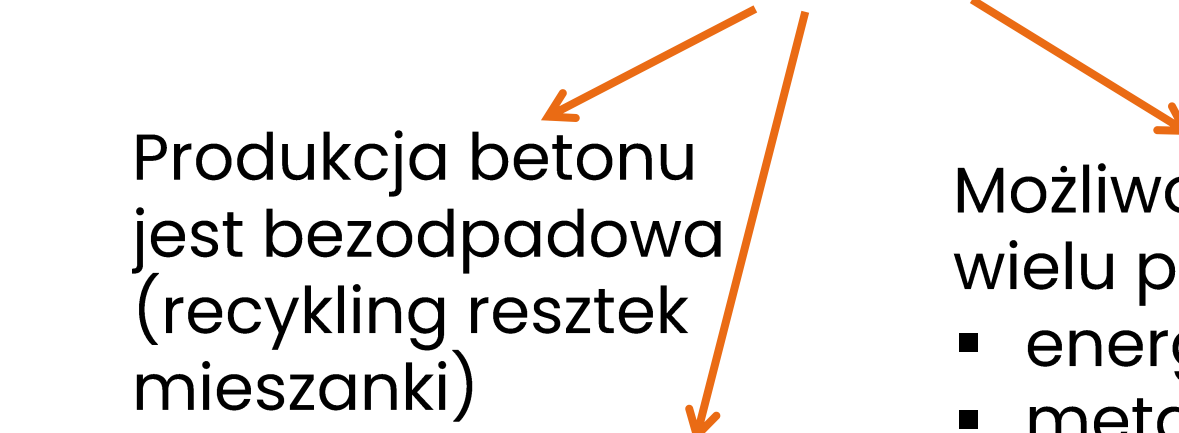


Rodzaj cementu

Recykling betonu



Beton a środowisko



Produkcja betonu jest bezodpadowa (recykling resztek mieszanki)

Recykling starego betonu (produkcja kruszywa dla budownictwa, pył z recyklingu składnikiem cementu)

Możliwość zastosowania bardzo wielu produktów ubocznych z:

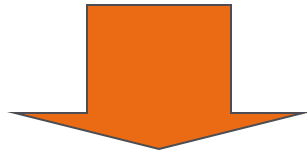
- energetyki
- metalurgii
- górnictwa
- innych przemysłów w charakterze składników betonu i/lub do produkcji cementu, bądź produkcji kruszywa sztucznego



Beton trwały materiał budowlany

Podstawowe założenie normy

Norma **PN-EN 206** wprowadza nowe podejście do projektowania składu i produkcji betonu oraz oceny jego cech technicznych



Nadrzędnym celem do spełnienia zawartych w niej wymagań jest **trwałość betonu** pracującego w określonych warunkach środowiskowych
(tzw. **klasach ekspozycji**)

Klasy środowiska związane z oddziaływaniem środowiska na beton



Klasy ekspozycji betonu na działanie środowiska

Klasa	Opis środowiska	max w/c	min klasa wytrzymałości	min zawartość cementu, kg/m ³	Inne wymagania
XD	Korozja wywołana chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej				
XD 1	Umiarkowana wilgotność	0,55	C30/37	300	—
XD 2	Mokre, sporadycznie suche	0,55	C30/37	300	—
XD 3	Cyklicznie mokre i suche	0,45	C35/45	320	—
XS	Korozja wywołana chlorkami z wody morskiej				
XS 1	Narażenie na działanie soli zawartych w powietrzu, brak kontaktu z wodą	0,50	C30/37	300	—
XS 2	Stałe zanurzenie	0,45	C35/45	320	—
XS 3	Strefy pływów, rozbryzgów i aerozoli	0,45	C35/45	340	—

Klasy ekspozycji betonu na działanie środowiska

Klasa	Opis środowiska	max w/c	min klasa wytrzymałości	min zawartość cementu, kg/m ³	min. zawartość powietrza, %
XF	Agresywne oddziaływanie zamrażania/rozmarzania z lub bez środków odladzających				
XF 1	Umiarkowane nasycenie wodą bez środków odladzających	0,55	C30/37	300	--
XF 2	Umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odladzającymi	0,55	C25/30	300	4,0
XF 3	Silne nasycenie wodą bez środków odladzających	0,50	C30/37	320	4,0
XF 4	jezdnie dróg i mostów, elementy mostów narażone na silne działanie środków odladzających	0,45	C30/37	340	4,0

We wszystkich przypadkach klasy XF należy stosować kruszywo o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmarzanie.

Klasy ekspozycji betonu na działanie środowiska c.d.

Klasa	Opis środowiska	max w/c	Min. klasa wytrzymałości	Min. zawartość cementu, kg/m ³	Inne wymagania
XA	Agresja chemiczna				
XA 1	Środowisko chemiczne mało agresywne	0,55	C30/37	300	----
XA 2	Środowisko chemiczne średnio agresywne	0,50	C30/37	320	Cement odporny na siarczany SR, HSR
XA 3	Środowisko chemiczne silnie agresywne	0,45	C35/45	360	

*** W przypadku gdy klasy ekspozycji XA 2 i XA 3 wynikają z zawartości SO₄²⁻ zalecane jest stosowanie cementów odpornych na działanie siarczanów HSR**

Wartości graniczne klas ekspozycji XA dotyczących agresji chemicznej gruntów naturalnych i wody gruntowej

Charakterystyka chemiczna	XA 1	XA 2	XA 3
Woda gruntowa			
SO ₄ ²⁻ , mg/l	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
Odczyn pH	≤ 6,5 i ≤ 5,5	< 5,5 i ≥ 4,5	< 4,5 i ≥ 4,0
CO ₂ agresywny, mg/l	≥ 6,5 i ≤ 40	> 40 i ≤ 4,5	> 100 i do nasycenia
NH ₄ ⁺ , mg/l	≥ 15 i ≤ 40	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Mg ²⁺ , mg/l	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 3000	> 3000 i do nasycenia
Grunt			
SO ₄ ²⁻ , całkowite mg/kg	≥ 300 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 12000	> 12000 i ≤ 24000
Kwasowość, ml/kg	> 200 Baumann-Gully	nie spotykane w praktyce	

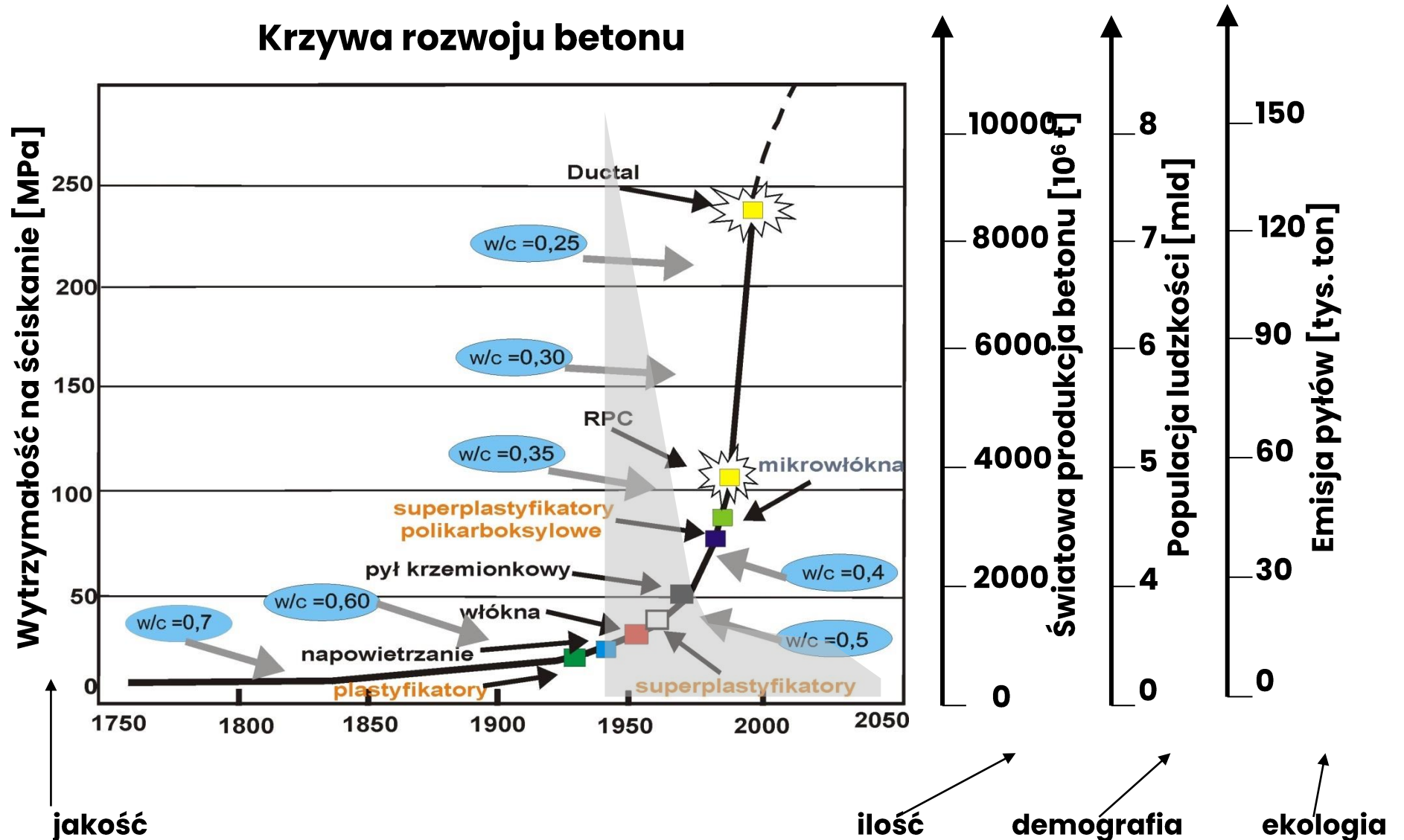
Klasę ekspozycji określa najbardziej niekorzystna wartość dla dowolnej pojedynczej charakterystyki chemicznej.

Beton innowacyjny materiał budowlany

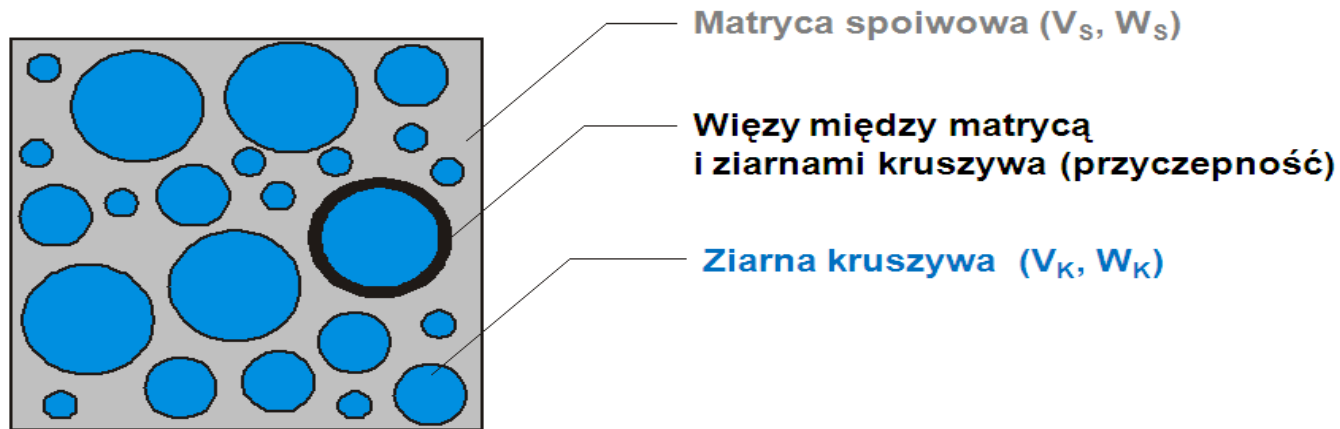


Beton – tworzywo przyszłości

Krzywa rozwoju betonu



Właściwości betonu to wypadkowa właściwości matrycy spoiwowej i właściwości kruszywa

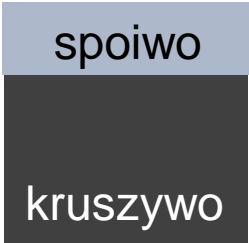







$$W_{\text{bet}} = V_K W_K + V_S W_S$$

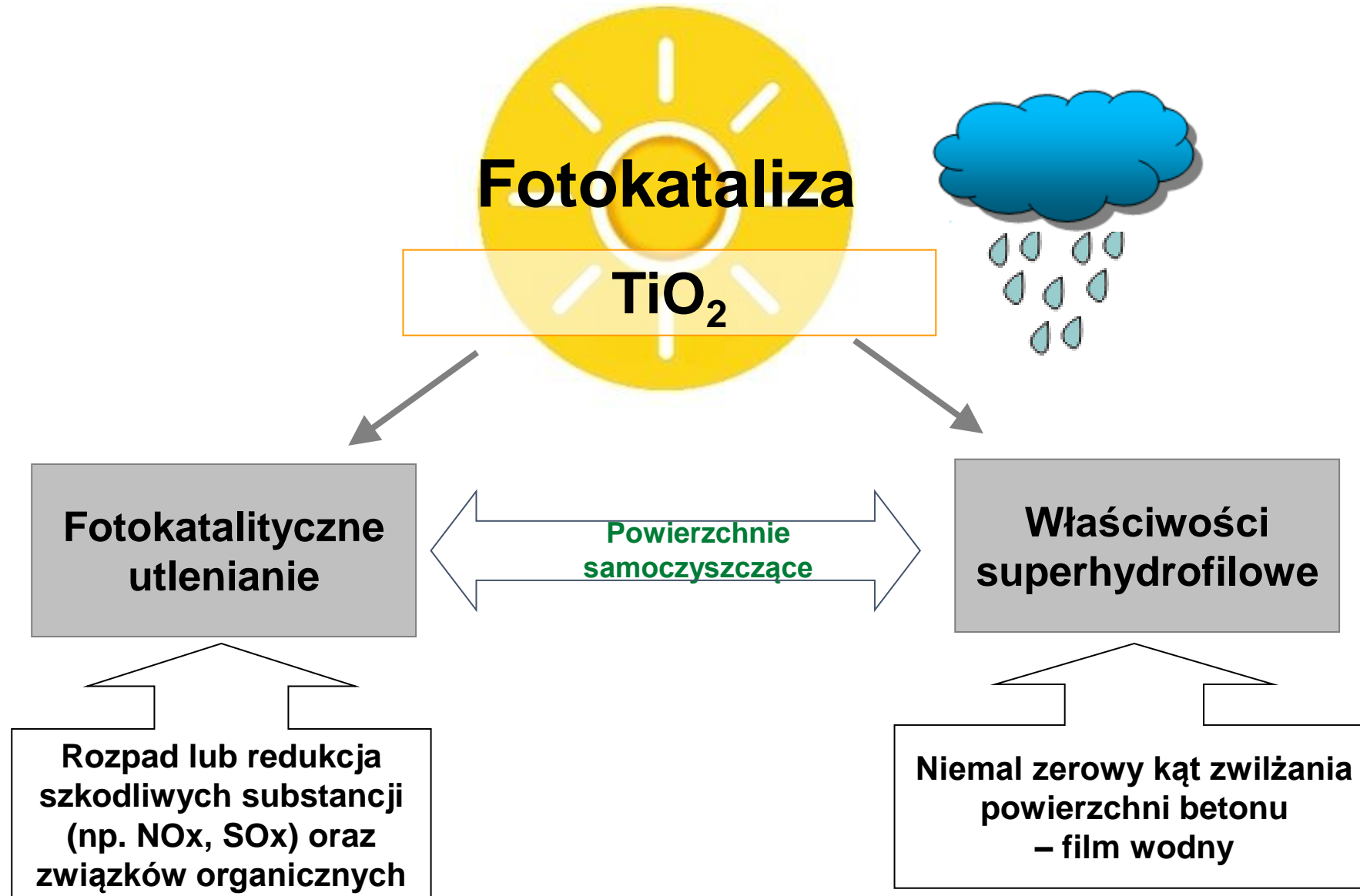
- Aby uzyskać najwyższe wartości cech wytrzymałościowych, należy:**
- 1/ maksymalizować zawartość „lepszego” składnika, czyli kruszywa (V_K), i minimalizować zawartość „gorszego”, czyli matrycy spoiwowej (V_S)
 - 3/ maksymalizować właściwości obydwu składników (W_K i W_S),
 - 4/ maksymalizować moc więzów łączących obydwie składniki (pryczepność)

Porównanie przeciętnego składu betonów tradycyjnych i betonu z proszków reaktywnych

Składnik	Betony tradycyjne (MAKRO betony)	Betony z proszków reaktywnych (MIKRO betony)
Spoivo: - cement - dodatek typu II	od ~250 do ~400 kg/m ³ od 0 do ~40 kg/m ² (do ~10% mc)	od ~900 do ~ 1000 kg/m ³ od ~100 do ~ 200 kg/m ³ (do 30%mc)
Stosunek w/s	od ~0,40 do 0,65	od ~ 0,12 do ~0,40
Udział matrycy spoiwowej	od ~25 do ~35 % obj.	od ~60 do ~ 75% obj.
Kruszywo (wypełniacz): - drobniejsze - grubsze	$d_{\max} = 2 \text{ mm}$ $d_{\max} = 16 \text{ mm}$	$d_{\max} = 0,2 \text{ mm}$ $d_{\max} = 0,6 \text{ mm}$
Udział kruszywa (wypełniacza)	od ~65 do ~75 % obj.	od ~25 do ~ 40% obj.

Charakterystyka składu	Betony tradycyjne i BWW	BPR
Objętościowy udział matrycy spoiwowej i kruszywa		
Maksymalny wymiar kruszywa grubszego		
Maksymalny wymiar kruszywa (wypełniacza) drobniejszego		

Właściwości fotokatalityczne powierzchni betonowych



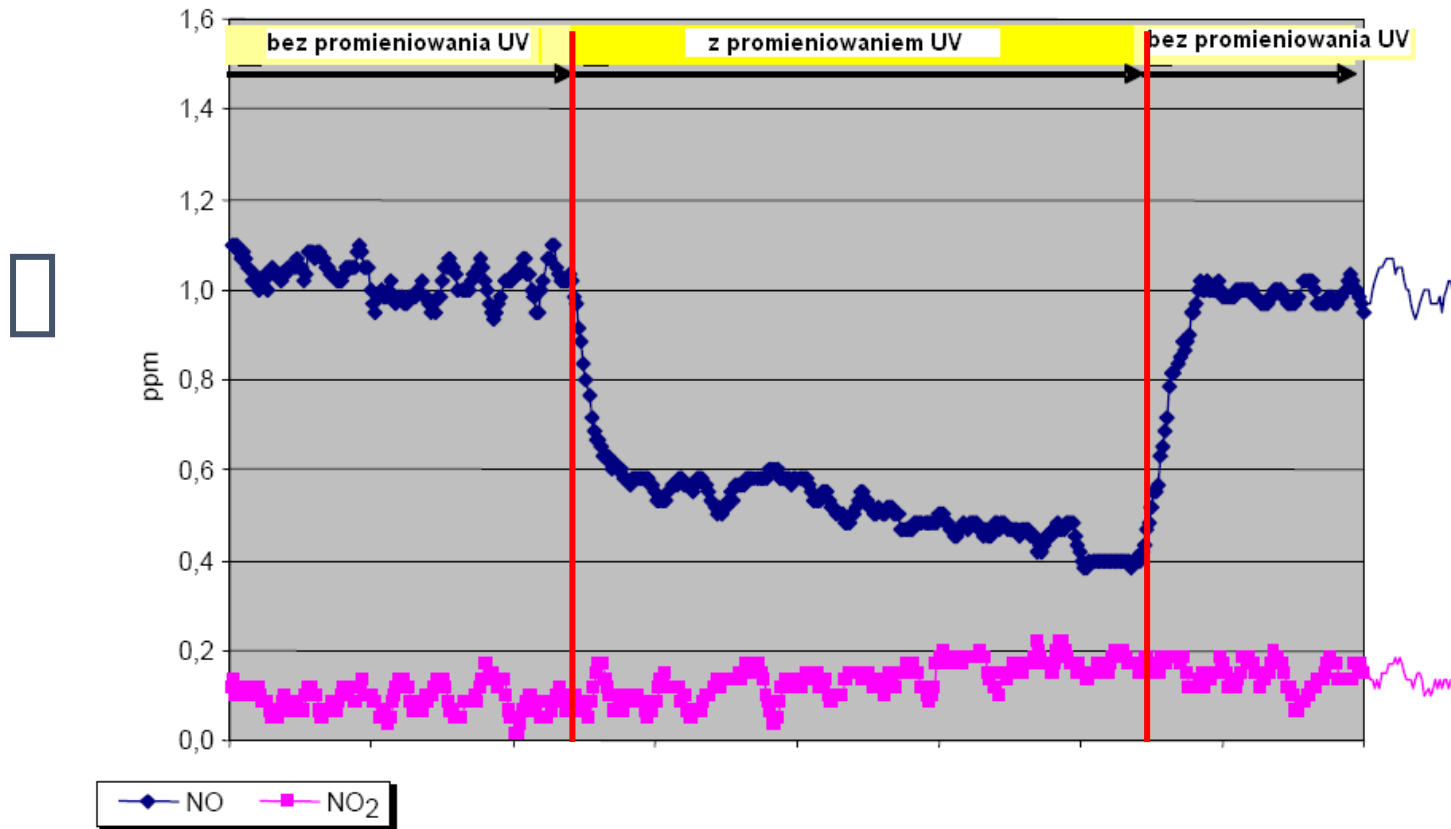
Właściwości fotokatalityczne powierzchni betonowych

Przepływ tlenków azotu NO_x przez próbkę betonu



Przykład 2: Beton fotokatalitycznie aktywny z cementem TioCem

UV int = $900 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ Przepływ powietrza = 1 l/min; NO_x start = 1 ppm



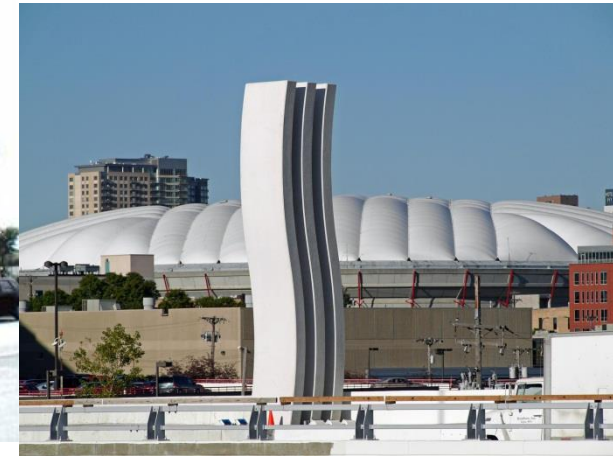
TX Active® w betonie architektonicznym



Szpital (Niort, Francja)



**Dyrekcja Morocco
Cement (Casablanca)**



**Element mostu
(Minneapolis, USA)**



**Szpital im. Manuela Gea Gonzáleza,
(Mexico City)**



Pawilon Palazzo Italia - Expo 2015

Plac budowy w „przyszłości” – druk 3D

Obecnie

- znormalizowany / ujednolicony
- pracochłonny
- wyższe koszty
- wysoce odpadowy



W przyszłości

- dostosowany do potrzeb
- intensywnie wykorzystujący wiedzę
- niższe koszty
- ograniczona ilość odpadów

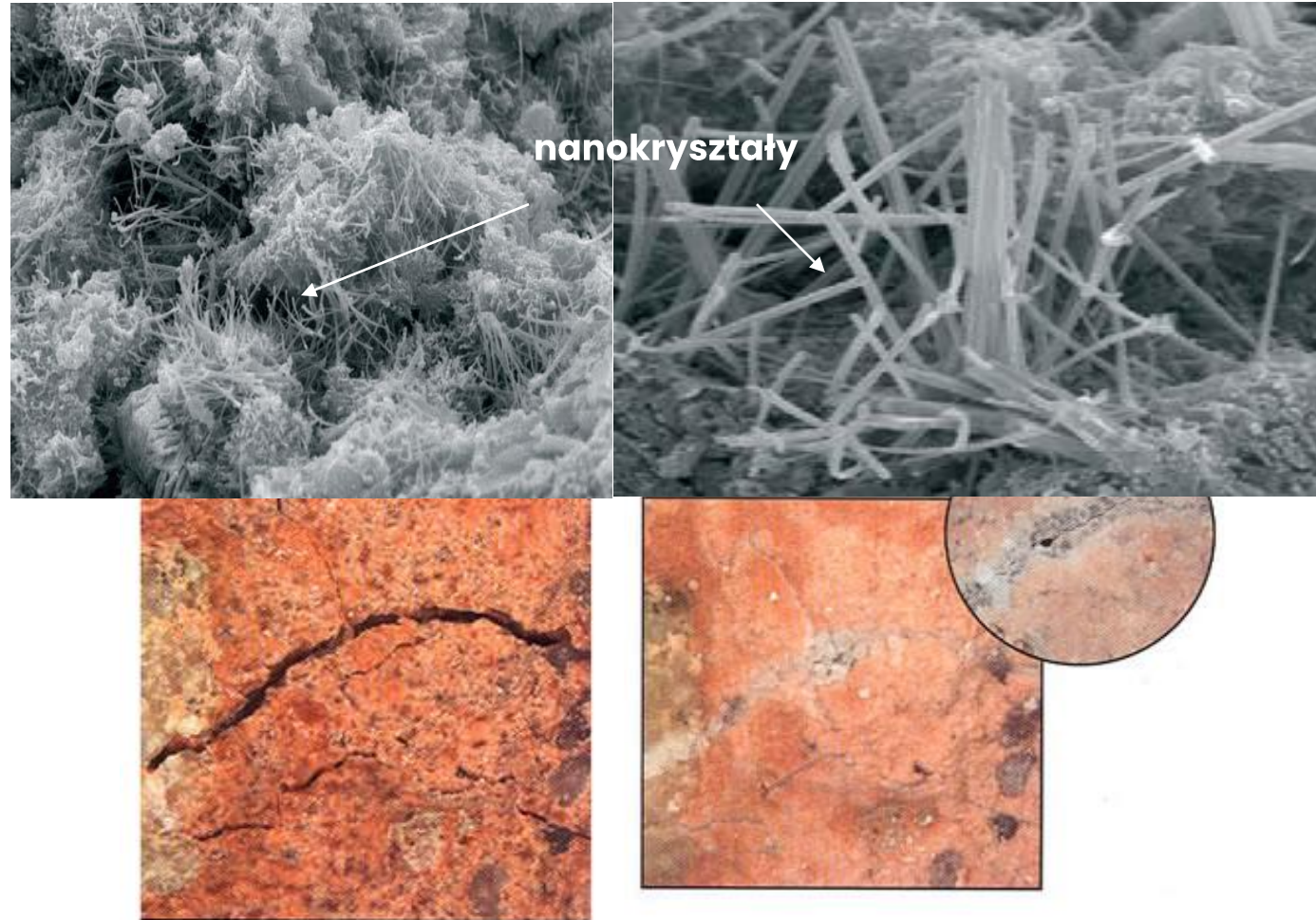


Plac budowy w „przyszłości” – druk 3D



Budynek wykonany w technologii druku 3D , Beckum, Niemcy

Domieszka do betonów samonaprawialnych



Beton architektoniczny – Muzeum Lotnictwa Kraków



foto: P. Piątek

Przezroczysty beton



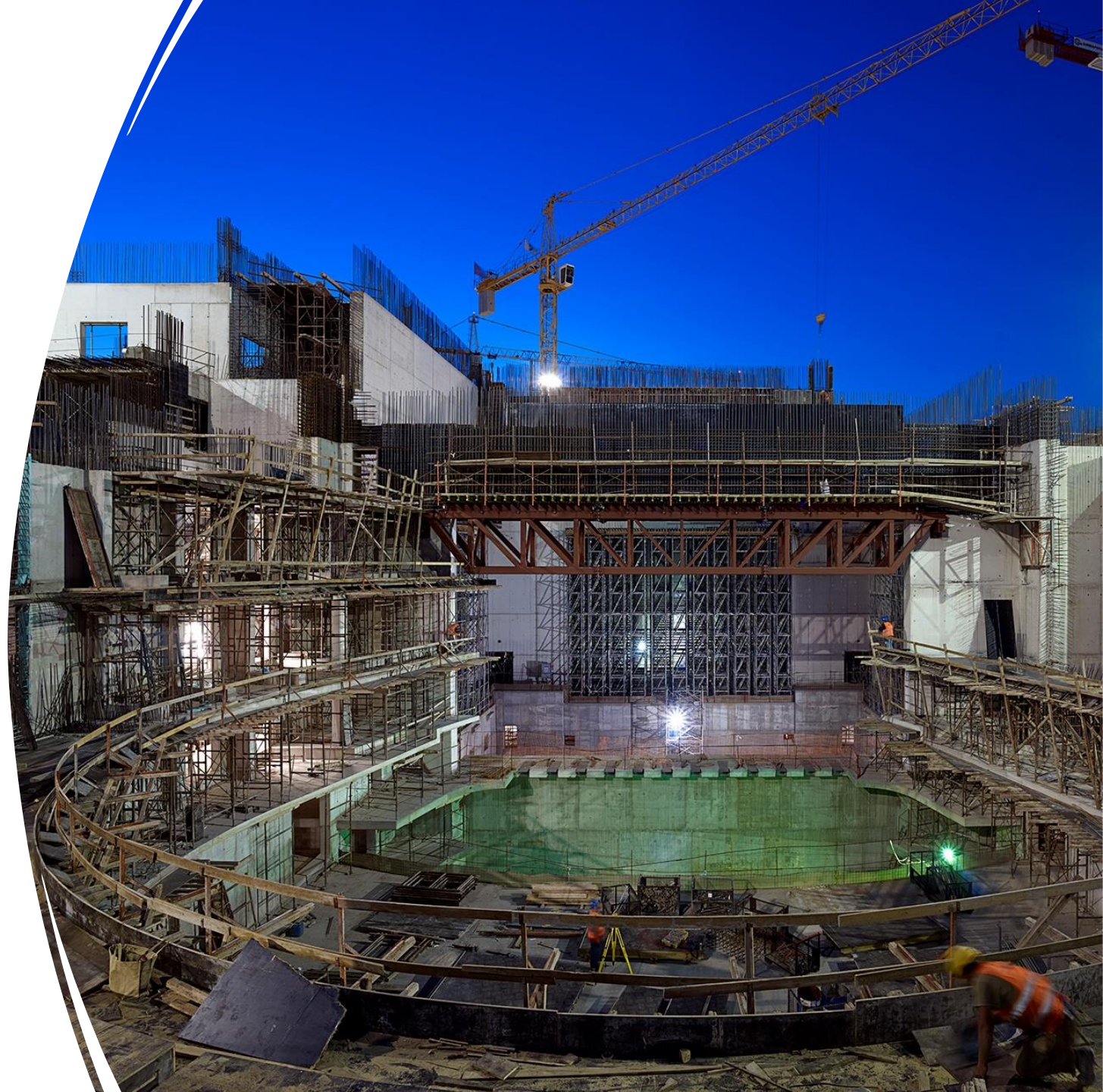


Beton - szkło

Lampy z betonu barwionego



Czy klasyczny beton ma przyszłość?





Czy beton ma przyszłość?

„Nie ma dla betonu żadnej alternatywy, która mogłaby sprostać mu w inżynierskiej skali. Beton to naprawdę materiał o wciąż niewyczerpanych możliwościach”

prof. Peter Hewlett

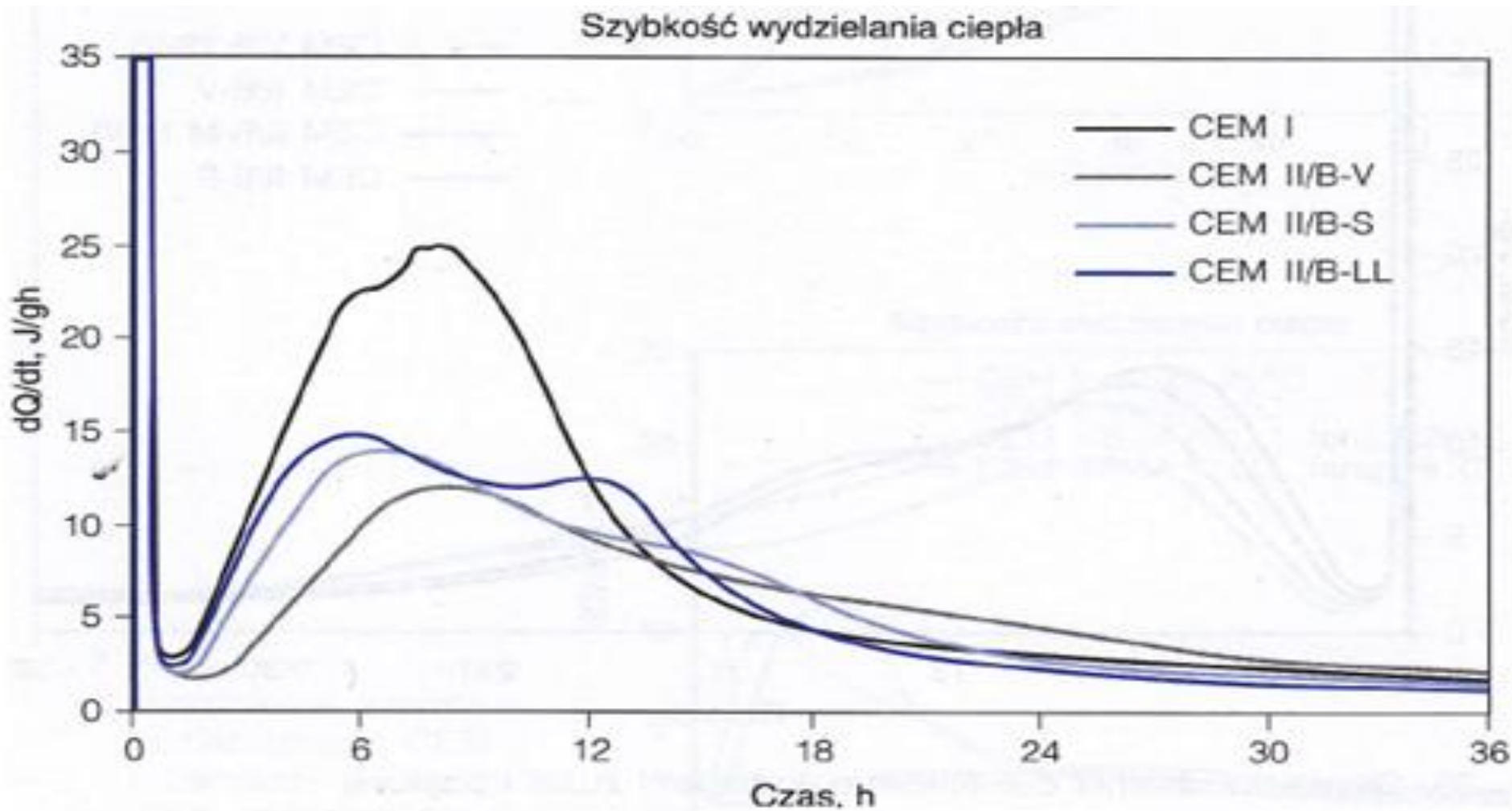
Czy cement z udziałem klinkieru portlandzkiego ma przyszłość ?

**CEMENTY Z UDZIAŁEM KLINKIERU
PORTLANDZKIEGO BĘDĄ WAŻNYMI
MATERIAŁAMI WIĄZĄCYMI W DAJĄCEJ SIĘ
PRZEWIDZIEĆ PRZYSZŁOŚCI:**

- powszechnie dostępne są surowce do produkcji klinkieru portlandzkiego
- ekonomia skali oznacza akceptowalny koszt wytwarzania
- cementy z udziałem klinkieru portlandzkiego są łatwe w użyciu nawet dla niewykwalifikowanych pracowników
- cement i beton to ciągle materiały budowlane otwarte na innowacje dla przyszłościowego budownictwa

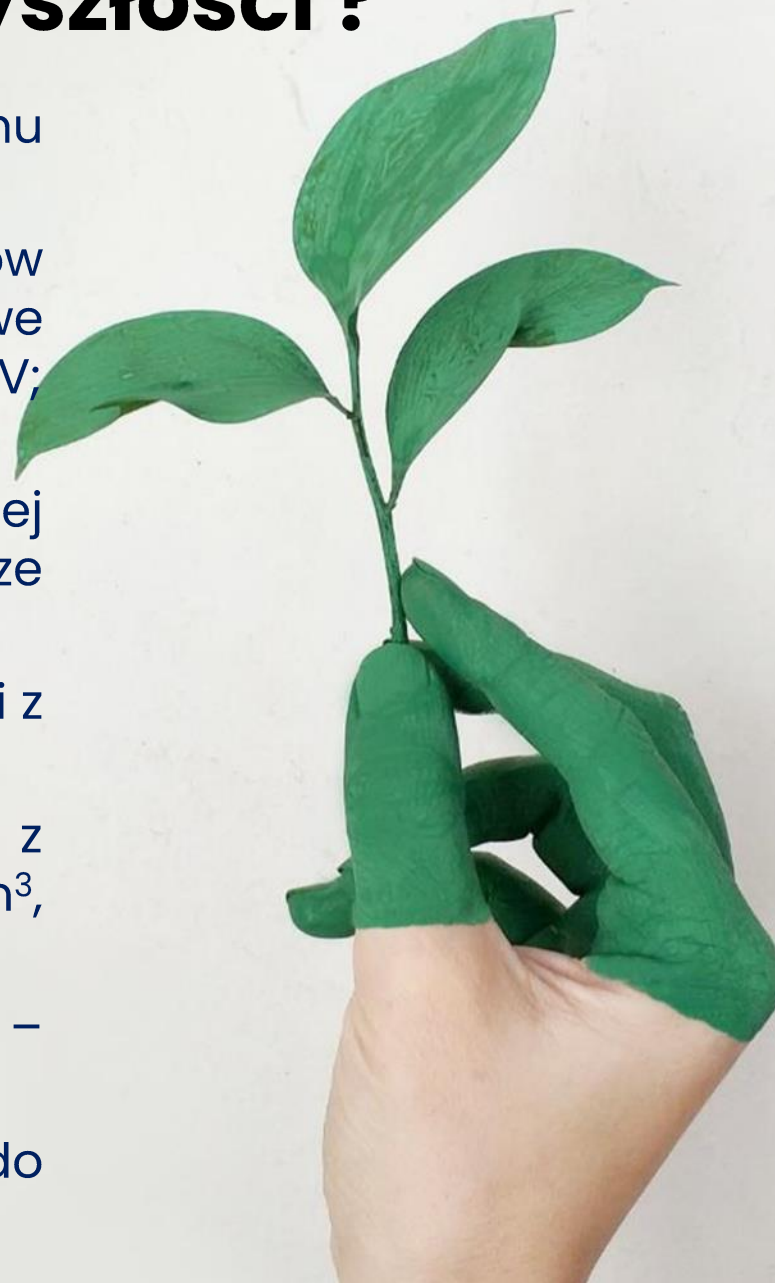


Ciepło hydratacji wybranych cementów



Co nas czeka w najbliższej przyszłości ?

- W większym zakresie stosować w składzie betonu cementy wieloskładnikowe CEM II÷CEM VI
- Być otwartym na stosowanie w betonie cementów wieloskładnikowych zawierających dwa nieklinkierowe składniki główne [żużel S-wapień LL(L); żużel S-popiół V; popiół V-wapień LL(L) i inne kombinacje]
- Produkcja niższych klas betonu przy stosowaniu mniejszej ilości cementu, a przy większej ilości domieszek (niższe w/c, polepszenie właściwości reologicznych)
- W większym zakresie należy stosować kruszywa lokalne i z recyklingu.
- Projektowanie i wykonywanie smuklejszych konstrukcji z betonu o wysokiej wytrzymałości – więcej cementu w m³, ale mniej m³.
- Projektowanie i wykonywanie betonu o wyższej trwałości – dłuższa żywotność konstrukcji (obiektu)
- Wykorzystywanie pojemności cieplnej betonu do oszczędzania energii.





Dziękuję za uwagę