



REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRAJOWYCH KRUSZYW

DR GRZEGORZ ADAMSKI



Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych

SIEĆ BADAWCZA 
ŁUKASIEWICZ

Projekt pt. *Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw*, DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016, realizowany 01.01.2016 – 31.03.2019 w ramach I konkursu programu RID (Rozwój Innowacji Drogowych) współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad

SIEĆ BADAWCZA
ŁUKASIEWICZ



Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych



Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju



GDDKiA

- Najważniejsze rezultaty i wnioski Projektu RID-I-37;
- Procedury Badawcze
- Wytyczne Techniczne klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich;





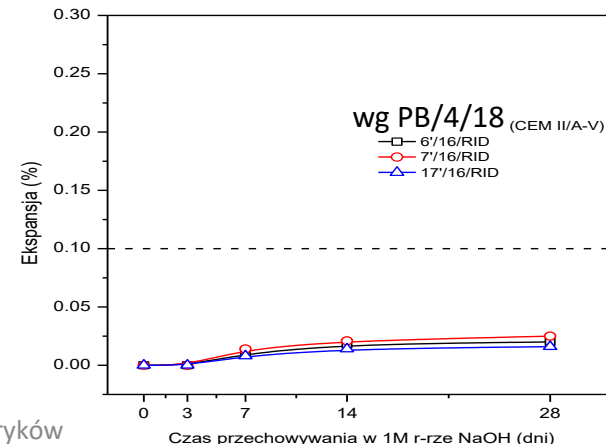
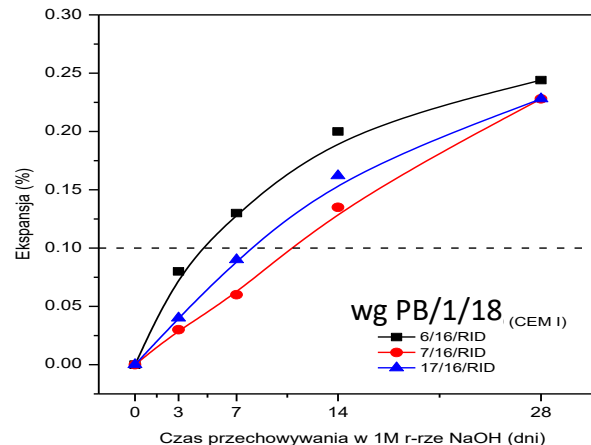
REZULTATY I WNIOSKI

SIEĆ BADAWCZA 
ŁUKASIEWICZ

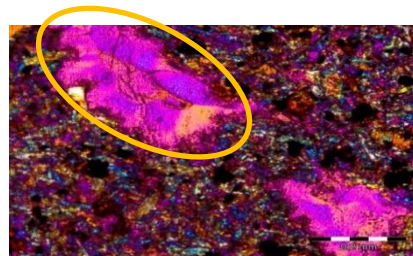
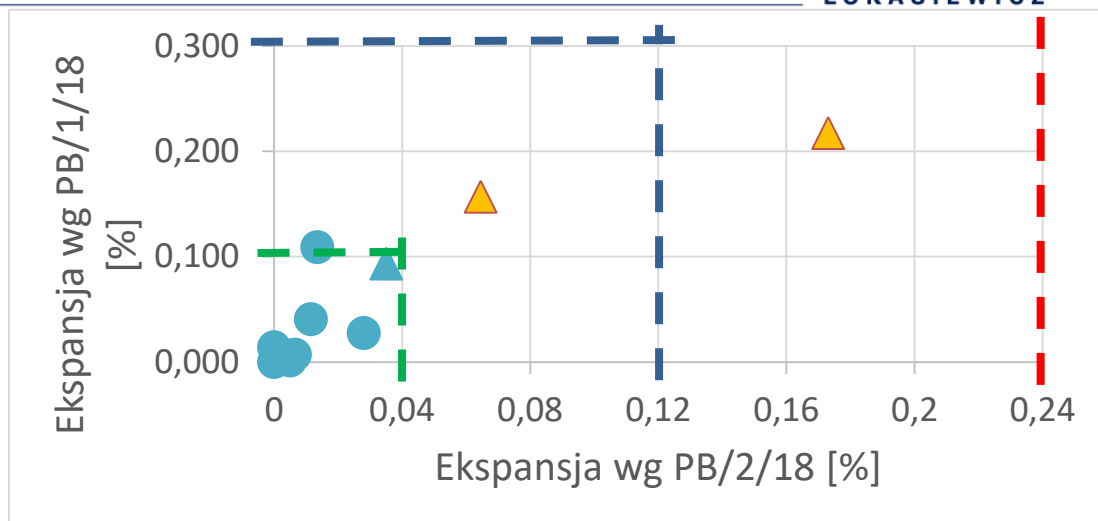
LXII Techniczne Dni Drogowe, 6-8.11.2019 Stryków

- **Reakcja alkalia-kruszywo, AAR** (z ang. *Alkali-Aggregate Reaction*) — reakcja chemiczna zachodząca w betonie pomiędzy alkaliami (sodem i potasem występującymi w postaci kationów) pochodzącymi z cementu lub innych źródeł, jonami wodorotlenowymi oraz reaktywnymi składnikami niektórych kruszyw;
- **Reakcja alkalia-krzemionka, ASR** (z ang. *Alkali-Silica Reaction*) — reakcja chemiczna zachodząca w betonie pomiędzy alkaliami (sodem i potasem występującymi w postaci kationów) pochodzącymi z cementu lub innych źródeł, jonami wodorotlenowymi oraz reaktywnymi składnikami krzemionkowymi (np. opal, trydymit, chalcedon, kwarc w stanie naprężeń, szkło wulkaniczne itd.) obecnymi w niektórych kruszywach;
- **Reakcja alkalia-węglany, ACR** (z ang. *Alkali-Carbonate Reaction*) — reakcja chemiczna zachodząca w betonie pomiędzy alkaliami (sodem i potasem występującymi w postaci kationów) pochodzącymi z cementu lub innych źródeł, jonami wodorotlenowymi oraz tylko niektórymi kruszywami węglanowymi, w szczególności wapniem dolomitycznym i dolomitem wapnistym;
- **Reaktywność alkaliczna kruszywa** — podatność kruszywa na reakcję z alkaliami;
- **Negatywne efekty wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo** — szkodliwe skutki reakcji zachodzącej w betonie w postaci: (i) spękań umożliwiających penetrację czynników agresywnych w głąb betonu, (ii) nadmiernej ekspansji elementu konstrukcji, zagrażające użytkowości konstrukcji, (iii) odprysków i odspojen powierzchniowych, (iv) wycieków i przebarwień powierzchni betonu;

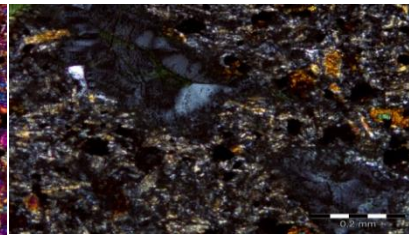
- Badanie ekspansji zapraw (procedura badawcza GDDKiA PB/1/18 – *metoda przyśpieszona*) umożliwia szybką ocenę reaktywności kruszyw lecz warunki nierealistyczne;
- Dodatkowa ocena możliwa przy wydłużeniu czasu pomiaru do 28d;
- Możliwa ocena wpływu dodatków mineralnych zapobiegających ASR (procedura badawcza GDDKiA PB/4/18);



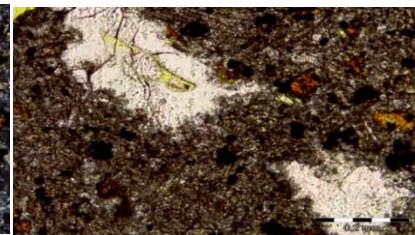
- Badanie wydłużenia belek betonu długotrwałe (Procedura Badawcza PB/2/18);
- Metody petrograficzna (Procedura Badawcza PB/3/18) (metoda pośrednia) stosowana do opisu kruszywa i wyjaśnienia reaktywności, ale nie do klasyfikacji kruszywa;



II



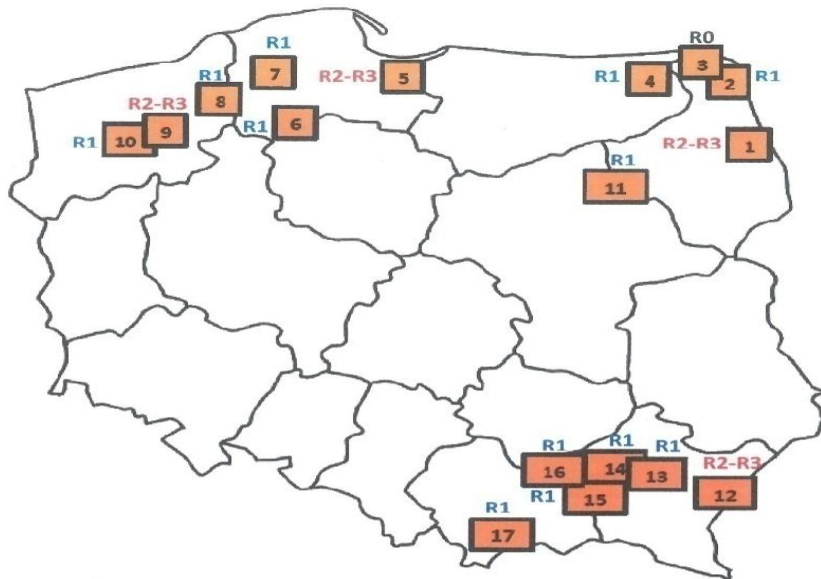
X



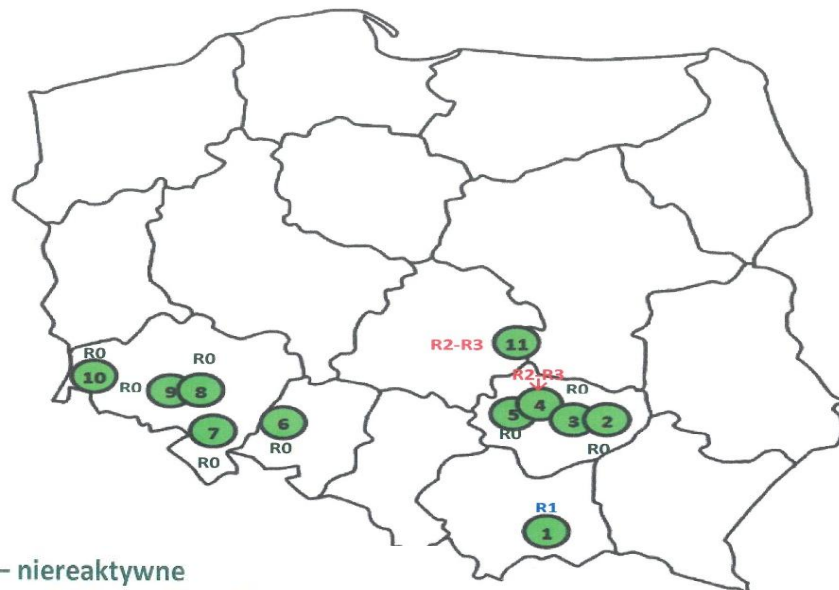
X + gips

Metoda badawcza	Kategoria reaktywności kruszywa					
	Niereaktywne R0		Umiarkowanie reaktywne R1		Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	kruszywo drobne	kruszywo grube	kruszywo drobne	kruszywo grube	kruszywo drobne; kruszywo grube	kruszywo drobne; kruszywo grube
Procedura badawcza GDDKiA PB/1/18 (metoda przyspieszona)	Wydłużenie próbek zaprawy po 14 dniach, %					
	$\leq 0,15$	$\leq 0,10$	$> 0,15$; $\leq 0,30$	$> 0,10$; $\leq 0,30$	$> 0,30$; $\leq 0,45$	$> 0,45$
Procedura badawcza GDDKiA PB/2/18 (metoda długoterminowa)	Wydłużenie próbek betonu po 365 dniach, %					
	$\leq 0,04$		$> 0,04$; $\leq 0,12$		$> 0,12$; $\leq 0,24$	$> 0,24$

Kruszywa ze skał osadowych okruchowych

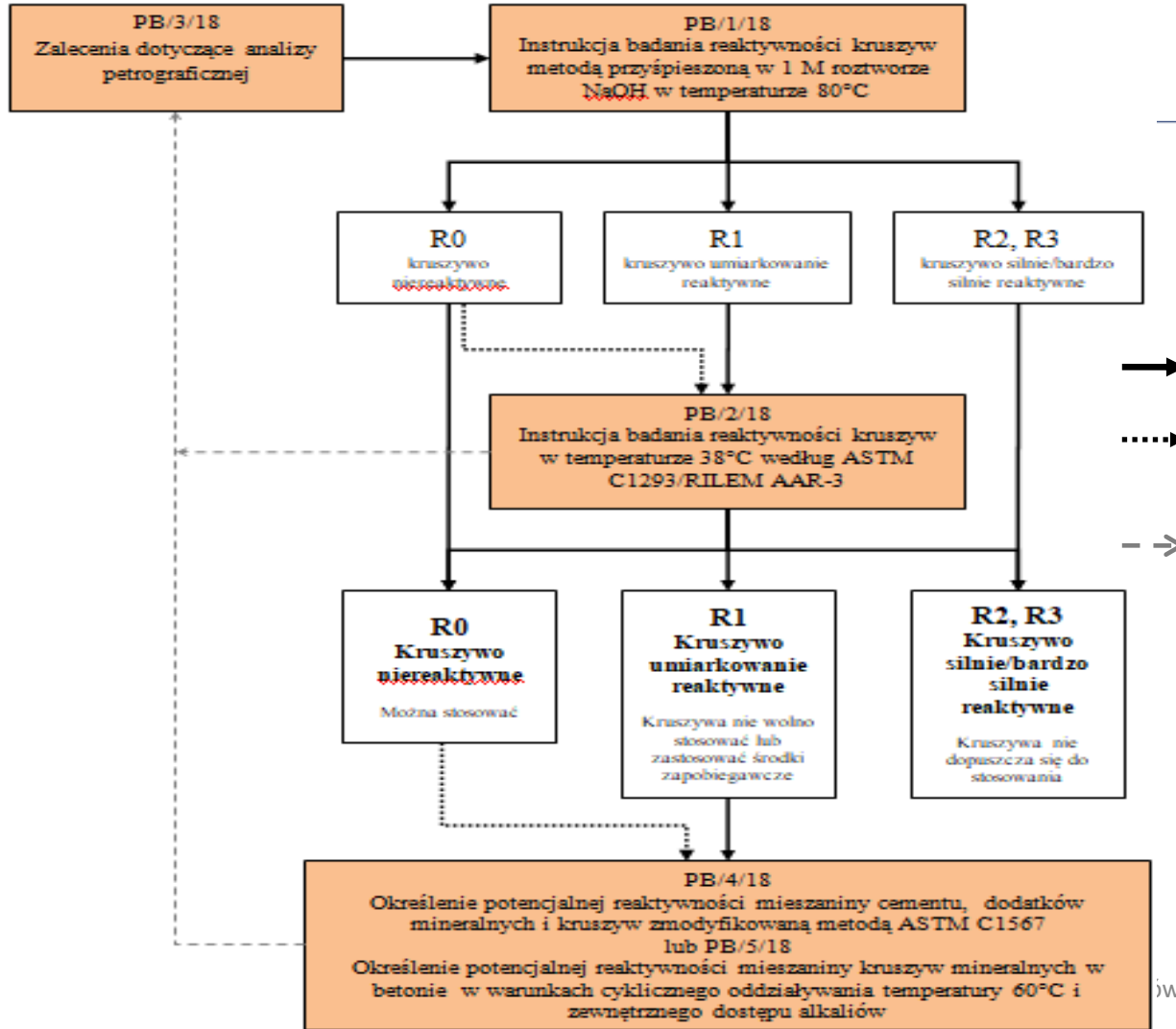


Kruszywa ze skał litych



R0 – niereaktywne
R1 – umiarkowanie reaktywne
R2-R3 – silnie i bardzo silnie reaktywne

- PB/1/18 Instrukcja badania reaktywności kruszyw metodą przyśpieszoną w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C (ASTM C1260/RILEM AAR-2)
- PB/2/18 Instrukcja badania reaktywności kruszyw w temperaturze 38°C według ASTM C1293/RILEM AAR-3
- PB/3/18 Zalecenia dotyczące analizy petrograficznej kruszywa (PN-EN 932-3, ASTM C295/RILEM AAR-1, ASTM C856)
- PB/4/18 Określenie potencjalnej reaktywności mieszaniny cementu, dodatków mineralnych i kruszyw wg zmodyfikowanej metody ASTM C1567
- PB/5/18 Określenie potencjalnej reaktywności mieszaniny kruszyw mineralnych w betonie w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury 60°C i zewnętrznego dostępu alkaliów (RILEM AAR-11)



Nowe procedury badawcze do oznaczania reaktywności alkalicznej kruszyw; zbieżne z metodami światowymi; różnicujące populację kruszyw krajowych;

System klasyfikacji reaktywności alkalicznej kruszyw (3 procedury vs 1 norma);

Procedury badawcze mogą być stosowane w Zakładowej Kontroli Produkcji i Deklaracji Własności Użytkowych (Producent Kruszyw), w kontroli dostaw (kontrola przez LD GDDKiA, Producenta Betonu, laboratoria zewnętrzne);





WYTYCZNE TECHNICZNE

SIEĆ BADAWCZA 
ŁUKASIEWICZ

LXII Techniczne Dni Drogowe, 6-8.11.2019 Stryków



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,
finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad



**Wytyczne techniczne
klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej
w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg
i drogowych obiektach inżynierskich**

Końcowy wynik prac nad Projektem będącym przedmiotem umowy pn:
REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRAJOWYCH KRUSZYW



Akronim Projektu	OT1-1C/ICMB-IPPT
Numer umowy	DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016
Beneficjenci	INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
Kierownik Projektu	Albin Garbacik
Autorzy	Albin Garbacik, Michał A. Glinicki, Daria Jóźwiak-Niedźwiedzka, Grzegorz Adamski, Karolina Gibas
Data rozpoczęcia	01.01.2016
Data zakończenia	31.03.2019

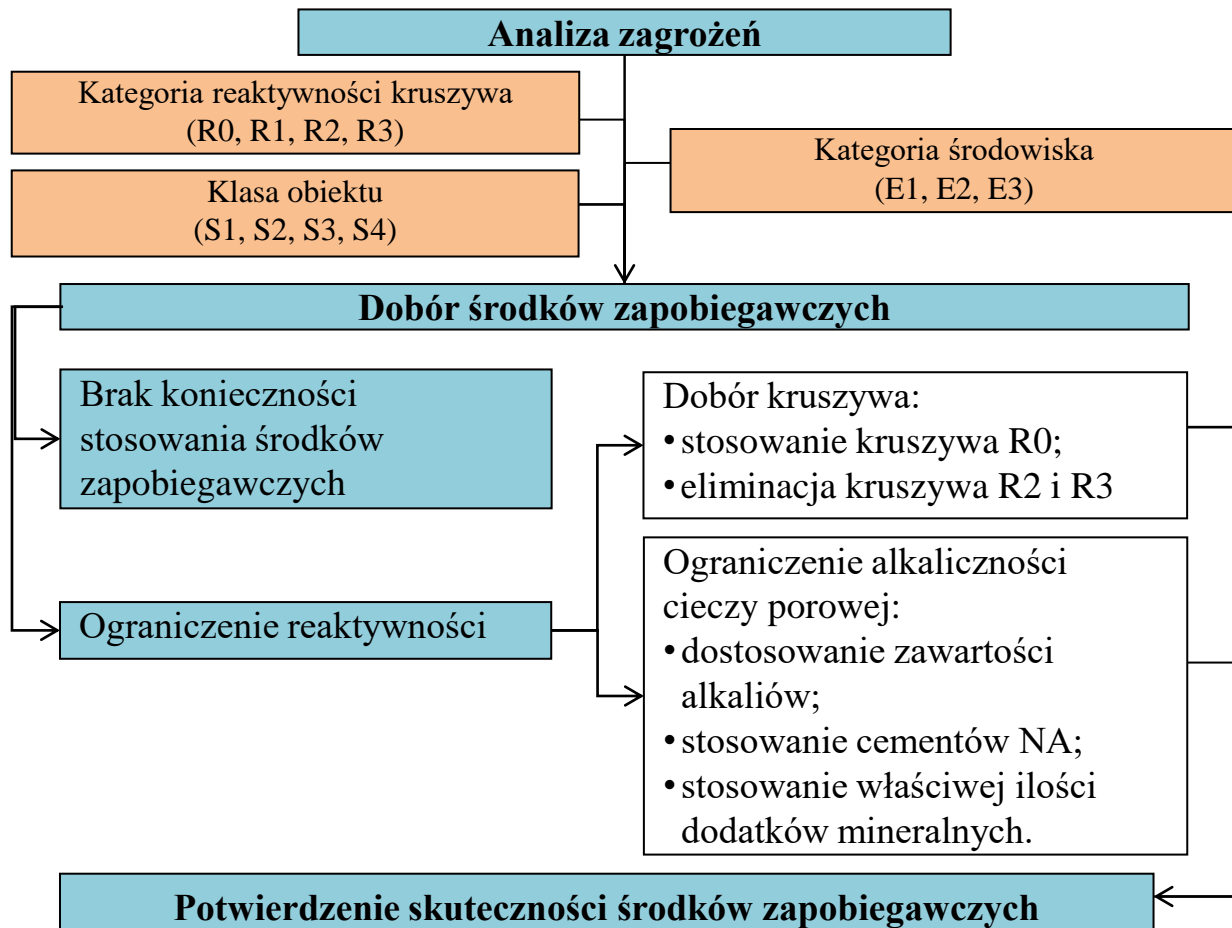
Wytyczne techniczne oparto na analizie zagrożeń: kategoria reaktywności kruszywa, kategoria środowiska, klasa obiektu;
...określono środki zapobiegawcze przed wystąpieniem negatywnych efektów reakcji ASR;
...podano narzędzia do projektowania składu mieszanki betonowej w zakresie zawartości alkaliów.

ANALIZA ZAGROZEŃ

Analiza zagrożeń wystąpienia reakcji ASR oraz konieczności zastosowania właściwych środków zapobiegawczych pozostaje **w gestii właściciela lub organu odpowiedzialnego** za konstrukcję betonową i powinny być uwzględnione na etapie projektowania mieszanki betonowej.



SKUTKI EKONOMICZNE

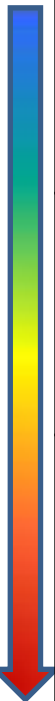


Zagrożenie wystąpienia negatywnych skutków ASR

Metoda badawcza	Kategoria reaktywności kruszywa					
	Niereaktywne R0		Umiarkowanie reaktywne R1		Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	kruszywo drobne	kruszywo grube	kruszywo drobne	kruszywo grube	kruszywo drobne; kruszywo grube	kruszywo drobne; kruszywo grube
Procedura badawcza GDDKiA PB/1/18 (metoda przyspieszona)	Wydłużenie próbek zaprawy po 14 dniach, %					
	$\leq 0,15$	$\leq 0,10$	$> 0,15$; $\leq 0,30$	$> 0,10$; $\leq 0,30$	$> 0,30$; $\leq 0,45$	$> 0,45$
Procedura badawcza GDDKiA PB/2/18 (metoda długoterminowa)	Wydłużenie próbek betonu po 365 dniach, %					
	$\leq 0,04$		$> 0,04$; $\leq 0,12$		$> 0,12$; $\leq 0,24$	$> 0,24$

- Oznaczenie kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa jest warunkiem koniecznym jego zastosowania w betonie nawierzchni drogowych i drogowych obiektów inżynierskich. Stosowanie kruszywa o nieznanym stopniu reaktywności alkalicznej jest wykluczone.
- Kategorię reaktywności alkalicznej kruszyw należy wyznaczać na podstawie wyników pomiarów wydłużenia próbek zaprawy i betonu (metody bezpośrednie), wykonanych odpowiednio wg PB/1/18 oraz PB/2/18.
- Przyspieszone badanie wydłużenia próbek zaprawy wg PB/1/18 przeprowadza się osobno dla każdej frakcji kruszywa grubego i drobnego; nie stosuje się do klasyfikacji kombinacji kruszyw przeznaczonych do produkcji betonu.
- Długoterminowe badanie wydłużenia próbek betonu może być stosowane do oceny wszystkich rodzajów kruszyw (kruszywa drobnego i grubego osobno).
- Jeżeli poszczególne frakcje kruszywa składające się na stos okruszowy w betonie różnią się kategorią reaktywności, to analizę zagrożeń wystąpienia negatywnych skutków reakcji AAR i dobór środków zapobiegawczych należy wykonać przyjmując najbardziej niekorzystną kategorię reaktywności.

Z
A
G
R
O
Ż
E
N
I
E



Kategoria środowiska	Opis środowiska	Ekspozycja elementów obiektu z betonu
E1*	Środowisko suche, chronione przed wilgocią zewnętrzną [#]	<ul style="list-style-type: none"> elementy wewnętrzne w budynkach w środowisku suchym .
E2	Środowisko wilgotne bez oddziaływania agresywnego czynników zewnętrznych ^{##}	<ul style="list-style-type: none"> elementy wewnętrzne w budynkach o wysokiej wilgotności; elementy wystawione na działanie wilgoci z powietrza, nieagresywnych wód podziemnych, zanurzone w wodzie słodkiej lub stale zanurzone w wodzie morskiej; wewnętrzne elementy masywne.
E3	Środowisko wilgotne z agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych ^{###}	<ul style="list-style-type: none"> elementy wystawione na działanie soli odmrażających; elementy wystawione na cykliczne działanie wody morskiej (zanurzanie i suszenie) lub słony oprysk (strefy rozbryzgu); wilgotne elementy wystawione na naprzemienne działanie zamarzania i rozmarzania; wilgotne elementy wystawione na długotrwałe działanie wysokiej temperatury; jezdnie drogowe poddane obciążeniom zmęczeniowym.

KLASA OBIEKTU

Z
A
G
R
O
Ż
E
N
I
E

Klasa obiektu	Konsekwencje wystąpienia reakcji AAR	Akceptowalność szkodliwych efektów AAR	Przykłady
S1	Pomijalne konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Pewne ryzyko uszkodzenia wskutek AAR można tolerować	Elementy konstrukcji tymczasowych o projektowanym okresie eksploatacji do 5 lat; Nienośne elementy konstrukcji wewnątrz budynków.
S2	Nieznaczące konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Akceptowalne umiarkowane ryzyko uszkodzeń wskutek AAR	Elementy konstrukcji, które łatwo wymienić: chodniki, krawężniki, ścieki
S3	Znaczące konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Akceptowalne niewielkie ryzyko uszkodzeń wskutek AAR	Obiekty o projektowanym okresie eksploatacji do 50 lat: <ul style="list-style-type: none"> • nawierzchnie dróg lokalnych i o mniejszym znaczeniu; • ściany oporowe, fundamenty, bariery autostradowe • drogowe obiekty o trwałości <50 lat.
			Obiekty o projektowanym czasie eksploatacji powyżej 50 lat, np.:

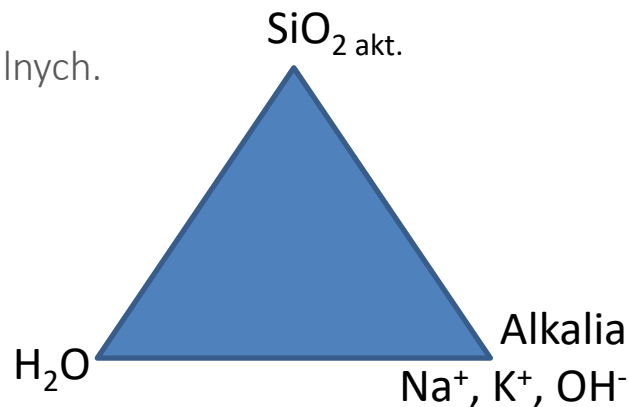
- Określenia klasy obiektu dokonuje zarządca obiektu (drogi) w programie funkcjonalno-użytkowym lub WWiORB biorąc pod uwagę m.in.:
- zapisy Rozporządzenia Ministra Infrastruktury (projekt - listopad 2018) zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie;
- Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. (Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Poz. 1233), zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym,
- zalecenia w „Katalogu typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów”, opublikowanym przez Ministerstwo Infrastruktury (strona internetowa mi.gov.pl; data 12.12.2018).
- Przy określaniu klasy obiektu zarządca obiektu (drogi) uwzględnia również ekonomiczne uwarunkowania procesu inwestycji i procesu utrzymania obiektu w stanie eksploatacyjnym przez cały projektowany okres użytkowania.

W zależności od S, E i R:

- ograniczenie reaktywności kruszywa w betonie:
 - R0 – ale określone bardziej restrykcyjnymi metodami;
 - R1 – za dopuszczeniem, wymagane potwierdzenie eksperta, lub w strukturach o mniejszym znaczeniu;
 - R2, R3 – wykluczone ze stosowania;
- ograniczenie zawartości alkaliów ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) w betonie 3.0, 2.4 lub 1.8 kg/m^3 ;
- stosowanie aktywnych dodatków mineralnych;
- jednoczesne ograniczenie $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ i stosowanie dodatków mineralnych.

Dodatki mineralne:

- popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN 450-1:2012
- granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1:2007.



Kategoria oddziaływania środowiska	Kategoria reaktywności kruszywa			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	zawartość $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w 1 m ³ betonu			
E2	maks. 3,0 kg/m ³	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się		
E3	maks. 2,4 kg/m ³			

Uwaga:

Kruszyw grubych ze złóż żwirowych o genezie rzecznej lub polodowcowej nie dopuszcza się do stosowania w obiektach klasy S4, z uwagi na brak doświadczeń krajowych w tym zakresie oraz duże zróżnicowanie ich składu mineralogicznego. W obszarze obowiązywania „Katalogu typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów” (Ministerstwo Infrastruktury, 13.06.2019), jako kruszywo grube powinny być zastosowane kruszywa naturalne, uzyskane z mechanicznego rozdrobnienia surowca skalnego litego.

Kategoria oddziaływania środowiska	Kategoria reaktywności kruszywa			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	zawartość $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ na 1 m ³ betonu			
E2	bez ograniczeń	(i) maks. 2,4 kg/m ³ i (ii) min. 20%FA albo min. 35%GGBS	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
E3	3,0 kg/m ³	(i) maks. 1,8 kg/m ³ i (ii) min. 20%FA albo min. 35%GGBS, wymagane potwierdzenie eksperta*		

FA – popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN450-1:2012
GGBS – granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1:2007
* Potwierdzenie eksperta powinno być oparte m.in. o analizę wydłużenia próbek zapraw lub betonów wg PB/1/18 – PB/5/18, a także rozpoznanie produktów reakcji alkalia-krzemionka w betonie wg PB/3/18.

Metoda badania	Kategoria reaktywności kruszywa naturalnego			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	Minimalna częstotliwość badań			
Procedura Badawcza GDDKiA PB/1/18 (metoda przyspieszona)	1 raz co 6 miesięcy*			
Procedura Badawcza GDDKiA PB/2/18 (metoda długoterminowa)	1 raz co 12 miesięcy*			
Procedura Badawcza GDDKiA PB/3/18 (analiza petrograficzna)	1 raz co 12 miesięcy*			

Uwagi:

* zalecane jest zwiększenie częstotliwości badania, gdy mierzone wielkości wydłużenia próbek zaprawy lub betonu są bliskie wartościom rozgraniczającym sąsiednie kategorie reaktywności

Deklaracja Właściwości Użytkowych powinna zawierać:

kategorię reaktywności kruszywa R;

uzyskane dla danego kruszywa średnie wartości wydłużenia próbek zaprawy i betonu;

- Wprowadzenie Procedur Badawczych w LD GDDKiA i w laboratoriach zewnętrznych:
 - badania międzylaboratoryjne;
- Doskonalenie metod badawczych (jednostki naukowe, GDDKiA):
 - nowe metody klasyfikacji reaktywności alkalicznej kruszywa i obserwacji postępu reakcji ASR w betonie;
 - wprowadzenie norm krajowych oznaczania stopnia reaktywności alkalicznej kruszywa (Stowarzyszenie Producentów Kruszyw, Polski Komitet Normalizacyjny);
- Monitoring jakości kruszyw do betonu (GDDKiA, SPK) - w perspektywie 20 lat możliwe wsparcie klasyfikacji reaktywności danymi historycznymi;
- Krajowy monitoring trwałości istniejących konstrukcji betonowych – inne rodzaje korozji betonu (GDDKiA, Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego, Stowarzyszenie Producentów Cementu, jednostki naukowe).

- Albin Garbacik, Wiesław Kurdowski, Henryk Szelaąg, Paweł Pichniarczyk, Tomasz Baran, Klaudia Hernik, Piotr Francuz, Mikołaj Ostrowski, Grzegorz Adamski, Zdzisław Naziemiec, Ewelina Pabiś, Piotr Fudalej, Dorota Pulit, Małgorzata Kasprzyk, Tomasz Grząbel;
- Michał A. Glinicki, Daria Jóźwiak-Niedźwiedzka, Karolina Gibas, Mariusz Dąbrowski, Maciej Sobczak

Projekt ASR-RID, Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw, DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016, realizowany w ramach I konkursu programu RID (Rozwój Innowacji Drogowych) współfinansowany jest przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju





DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Grzegorz Adamski
+12 683 79 92, g.adamski@icimb.pl



Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych

SIEĆ BADAWCZA 
ŁUKASIEWICZ