

Poprawnie zaprojektowany i zabudowany beton powinien charakteryzować się minimum 50-letnią trwałością. W przypadku obiektów takich jak mosty, tamy, nawierzchnie lotnisk i autostrad wymagania co do trwałości wynoszą 100 lat, a nawet 200 lat. Na trwałość konstrukcji betonowej ma wpływ m.in. jakość składników betonu. Z uwagi na fakt, że kruszywo stanowi w składzie betonu około 70–80%, jego właściwości w znacznym stopniu determinują trwałość betonu. Jednym z procesów odpowiedzialnych za destrukcję betonu związanym z kruszywem jest reakcja alkalia-kruszywo. Przebieg reakcji alkalia-kruszywo jest stosunkowo wolny i jej negatywne efekty widoczne są dopiero po kilku, kilkunastu latach (rys. 1). Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje reakcji alkalia-kruszywo:

- reakcja alkaliów z kruszywami bogatymi w reaktywną krzemionkę (ASR),
- reakcja alkaliów z kruszywami węglanowymi (ACR).

Warunki jakie muszą wystąpić, aby zaszła reakcja alkalia-kruszywo pokazano na rys.2.



Rys.1. Zniszczenie nawierzchni i konstrukcji betonowej wywołane reakcją alkalia-kruszywo

## WARUNKI KONIECZNE DO WYSTĄPIENIA REAKCJI ALKALIA-KRZEMIONKA

**Reaktywne kruszywo**, czyli kruszywo zawierające wtrącenia reaktywnych form krzemionki m.in. opalu, chalcedonitu, trydymitu, kwarcu w stanie naprężeń.

**Alkalia** pochodzące ze składników betonu (cementu, dodatków mineralnych, domieszek, itp.) i/lub wynikające z zewnętrznych źródeł, np. środki odładowe.

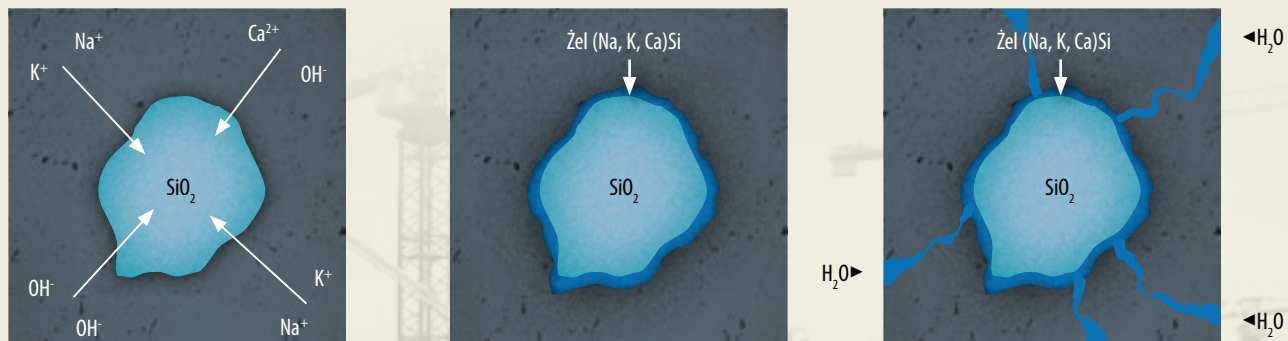
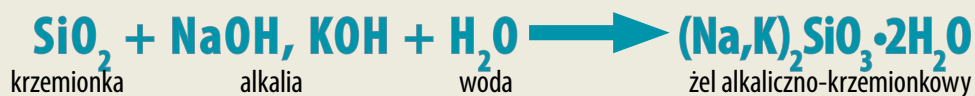
**Wilgotność**. Samo powstanie żelu krzemianu sodowo-potasowego nie wiąże się jeszcze z procesami destrukcyjnymi. Dopiero absorpcja wody prowadzi do pęcznienia i powstawania spękań (wilgotność betonu > 80%).



Rys.2. Czynniki determinujące przebieg reakcji ASR i ACR

## REAKCJA ALKALIÓW Z KRUSZYWAMI ZAWIERAJĄCYMI REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRZEMIONKĘ (ASR)

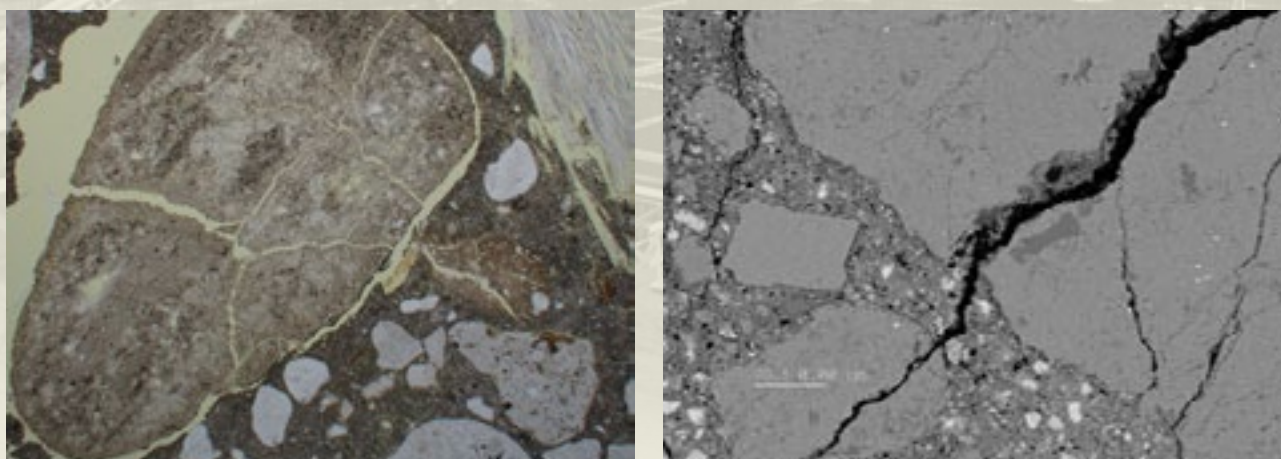
Niektóre formy krzemionki (opal, chalcedon, trydymit, kwarc w stanie naprężeń) reagują z alkaliowymi tworząc żel alkaliczno-krzemionkowy na ziarnach kruszywa. Żel absorbując wodę zwiększa swoją objętość (rys. 3), w efekcie czego generowane są naprężenia, które mogą prowadzić do spękań kruszywa i betonu. Skutkuje to obniżeniem trwałości lub destrukcją stwardniałego betonu. Cechą charakterystyczną reakcji alkalia-kruszywo są rysy przechodzące przez ziarna kruszywa, a nie tylko przez stwardniały zaczyn i strefę kontaktową zaczyn-kruszywo (rys.4), które są wypełnione żelem alkaliczno-krzemionkowym.



Rys. 3. Schemat reakcji alkalia-krzemionka

Czynnikami wpływającymi na szybkość reakcji ASR są:

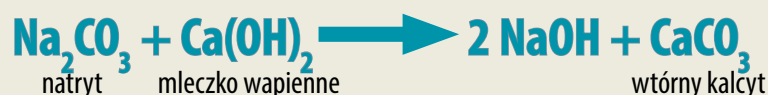
- temperatura
- wilgotność
- wysokie pH (zawartość alkaliów)
- wielkość ziaren kruszywa
- stopień uporządkowania struktury reaktywnej krzemionki

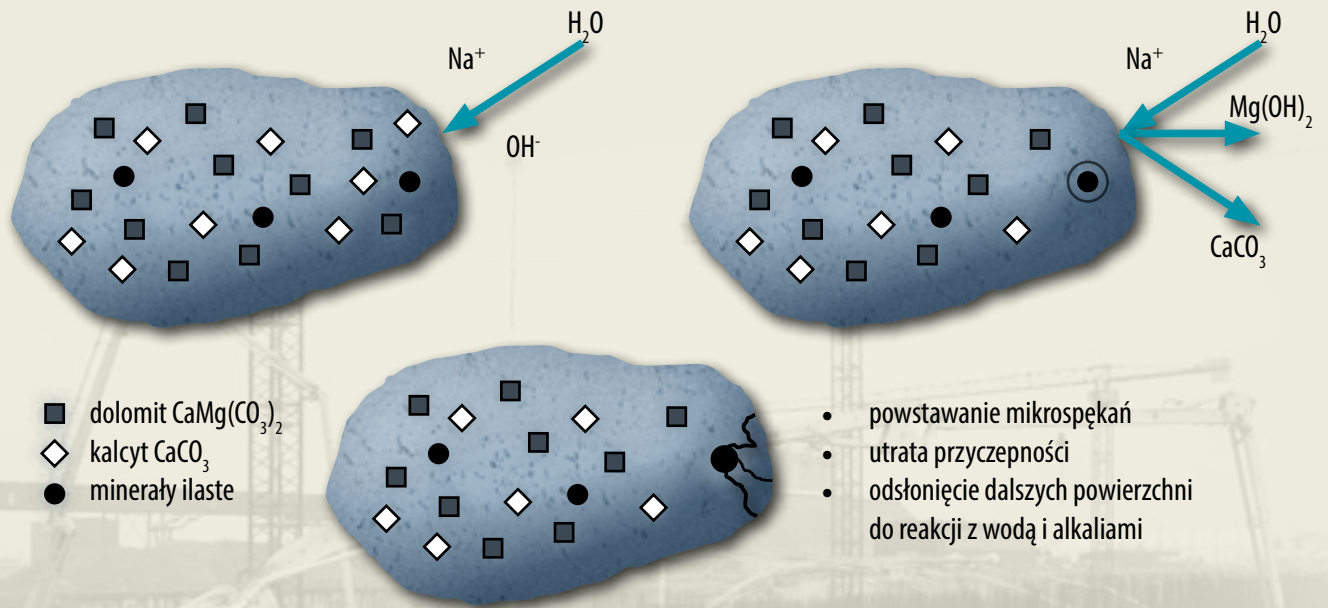


Rys. 4. Pęknięcia wypełnione żelem alkaliczno-krzemionkowym powstałe wskutek reakcji alkalicznej ASR

## REAKCJE ALKALIÓW Z KRUSZYWAMI WĘGLANOWYMI (ACR)

Ekspansja betonu może być również wynikiem reakcji pomiędzy alkaliami a pewnymi rodzajami kruszyw węglanowych. Do skał podatnych na reakcję alkalia-węglany należy zaliczyć zdolomityzowane wapienie z domieszkami minerałów ilastych o bardzo drobnoziarnistej teksturze, które zawierają kryształy dolomitu rozproszone wśród minerałów ilastych oraz kalcytu. Reakcja kruszyw węglanowych z alkaliami prowadzi do rozkładu dolomitu (rys. 5).





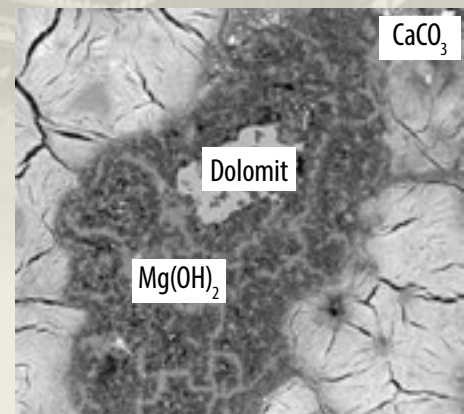
Rys. 5. Schemat reakcji alkalia-węglany

Sam rozkład dolomitu (rys. 6) nie powoduje ekspansji, lecz jest pierwszym etapem procesu, w trakcie którego następuje rozluźnienie skały. Przez to ułatwione jest wnikanie do jej struktury alkaliów i reakcja z krzemionką i minerałami ilastymi. Przypuszcza się, że powodem pęcznienia jest wchłanianie wody przez glinę i/lub tworzenie się brucytu, a dodatkowo rozpad dolomitu ułatwia transport wody przez rozluźnioną strukturę. W zbitych skałach węglanowych wzajemne ułożenie drobnokrystalicznego kalcytu i dolomitu uniemożliwia dostęp wody do minerałów ilastych. Bardzo niebezpiecznym w tym typie reakcji jest fakt, że alkalia są „regenerowane” i ponownie wchodzą w reakcję z dolomitem.

Najbardziej podatne na ekspansję są wapienie dolomityczne zawierające powyżej 2% minerałów ilastych.

Większa powierzchnia właściwa kryształów dolomitu ułatwia reakcję jego rozkładu – bardzo szybko zachodzi reakcja kryształów mniejszych od  $2\mu\text{m}$ .

Najbardziej reaktywnymi skałami węglanowymi są te, w których ilości dolomitu i kalcytu są na podobnym poziomie, a pory są drobne i połączone ze sobą.



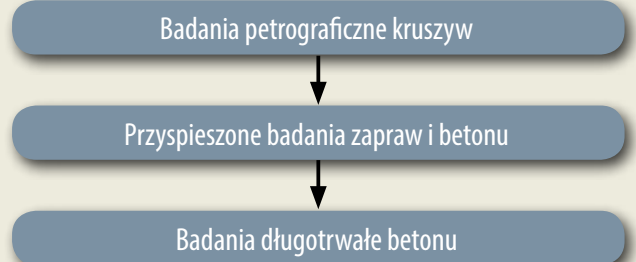
Rys. 6. Rozkład ziarna dolomitu

## METODY ZAPOBIEGANIA REAKCJI ALKALIA-KRUSZYWO

Czynniki ograniczające negatywne skutki, które mogą być spowodowane reakcją kruszyw z alkali, przedstawiono na rys.7- 9.

### Stosowanie kruszyw niereaktywnych

Nie opracowano do tej pory jednolitej metodyki badań i kryteriów oceny potencjalnej reaktywności kruszyw. Ogólny sposób postępowania przy ocenie reaktywności kruszyw przedstawia rys. 9. Metody oceny reaktywności kruszyw przedstawiono w karcie D2 „Vademecum Technologia Betonu”.



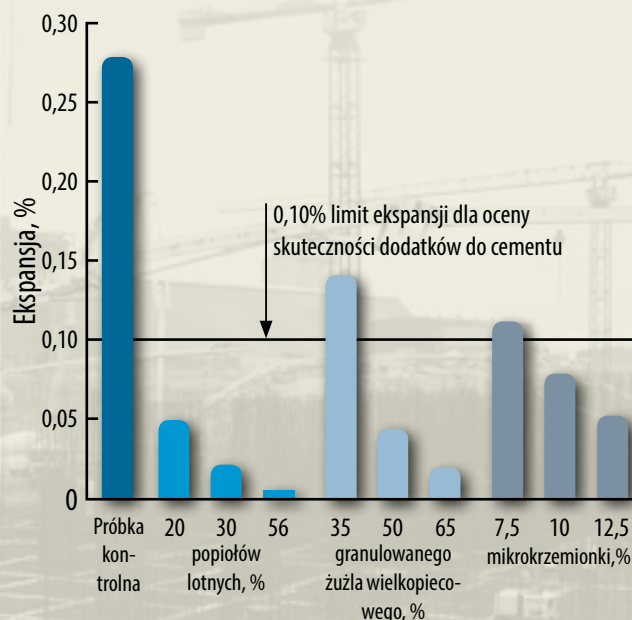
Rys. 7. Schemat postępowania przy ocenie reaktywności kruszyw

## Zmniejszenie zawartości alkaliów w betonie

- Zastosowanie cementów niskoalkalicznych NA spełniających wymagania normy PN-B-19707 „Cement. Cement specjalny – Skład, wymagania i kryteria zgodności” (tabela 9 w karcie A1 „Vademecum Technologa Betonu”)
- Stosowanie dodatków mineralnych w cemencie i/lub betonie

## Stosowanie dodatków mineralnych w składzie cementu i/lub betonu

Zastosowanie spoiw z dodatkami (granulowany żużel wielkopiecowy, popioły lotne) pozwala na zmniejszenie zawartości aktywnych alkaliów w roztworze porowym betonu (część alkaliów jest zabudowana w strukturze dodatków mineralnych) oraz zwiększa szczelność betonu utrudniając migrację alkaliów do kruszywa (rys. 8 i 9).



Rys. 8. Wpływ różnych dodatków mineralnych na wielkość ekspansji



Rys. 9. Reakcja alkalia-krzemionka: a) przykład destrukcji betonu zwykłego, b) beton z dodatkiem popiołu lotnego

## Stosowanie domieszek chemicznych

Metodą zapobiegania negatywnym skutkom reakcji alkalia-krzemionka jest także stosowanie domieszek zawierających związki litu. Badania wskazują na znaczne obniżenie ekspansji zapraw w stosunku do zapraw bez tych domieszek. Związki litu nie zapobiegają reakcji z reaktywnym kruszywem, jednakże modyfikują powstające w jej wyniku produkty czyniąc je nieekspansywnymi.