



Od lepiątek do drapaczy chmur, czyli rozważania nad cementem

Dariusz Szymaczek*

1. Wstęp

Dziś mówimy, że żyjemy w erze komputerowej, niektórzy zaliczają ją jeszcze do ery elektryczności. Wszystko to jest prawdą, ale równie dobrze można by nasz wiek nazwać erą **betonu**. Uzasadnić to można tym, że gdzie by nie spojrzeć – widzimy bloki, szkoły, kościoły, banki, itd., a wszystko to zbudowane właśnie z betonu.

Może nie każdy z nas się nad tym kiedykolwiek zastanawiał, ale gdyby nie wynaleziono kiedyś cementu, a potem nie doskonalono by go, nie byłoby dzisiaj tych wspaniałych drapaczy chmur i innych budynków...

Tak się składa, że temat ten jest mi szczególnie bliski, gdyż od czterech lat uczestniczę czynnie w budowie mojego przyszłego domu i od początku zastanawiał mnie pewien problem związany właśnie z cementem i jego właściwościami. Widziałem często, jak murarze (a nawet sam tak robiłem) robią zaprawę, jak wsypują do betoniarki worek cementu, kilkanaście łopat piasku i kilka wiader wody. Widziałem jak to wszystko się mieszało. Całość okazywała się często zbyt gęsta. Wydawało mi się wtedy, iż należy dodać jeszcze 2–3 wiader wody i wszystko będzie dobrze, ale ku mojemu zdziwieniu pół wiadra wody sprawiło, że „mieszanina” naraz zmieniała swoją konsystencję i zaprawa była gotowa do użycia.

Długo nie mogłem pojąć tego zjawiska. Działo się to dlatego, że ograniczałem się cały czas do zjawisk i przemian czysto fizycznych, a przecież w tym przypadku kluczem do rozwiązania problemu była przemiana chemiczna.

Kiedy to zrozumiałem, zacząłem się interesować jeszcze bardziej problemem cementu i dlatego właśnie w mojej pracy postanowiłem zająć się cementem „od kuchni”.

2. Od początku aż do dziś – czyli krótka historia „lepiątek”

Od początku swojego istnienia człowiek uczył się budowy schronienia dla siebie oraz swojego dobytku przed dzikimi zwierzętami oraz czynnikami atmosferycznymi. Początkowo jego schronieniem były naturalne grotty i jaskinie skalne. W miejscach jednak, gdzie człowiek przebywał, a gdzie nie było naturalnych jaskiń, musiał szukać innych schronień. Służyły do tego początkowo szałaszy złożone z drewnianych palików i wzmocnione kamieniami. Były one jednak niewystarczająco wytrzymałe. Innym „wynałazkiem”

* D. Szymaczek – student I roku Akademii Górniczo-Hutniczej.



były okrągłe jamy o średnicy 3–9 m, wykopane w ziemi na głębokość około 1 m i otoczone ścianami z kamienia. Aglomeracje jednak rozrastały się i człowiek musiał wymyślić taki typ domu, który w łatwy sposób mógłby powiększać. Porzucono więc dawne wynalazki na rzecz „wielkich” domów lepionych z gliny wzmocnianych chrustem. W kolejnych wiekach człowiek wynalazł coś, co można nazwać cegłą, tyle że nie wypalaną. W dalszych okresach ludzkość odkryła, że owe cegły można wypalać w ogniu i w ten sposób wzmocniać konstrukcję domów. Cegły takie zlepiano coraz to lepszymi spoiwami, aż w końcu w starożytnym Rzymie wynaleziono spoiwo budowlane o bardzo dobrych właściwościach. Wciąż doskonałe dało w rezultacie cement taki, jakiego dziś używamy w budownictwie. Jestem pewien, że tak długo, jak człowiek będzie żył, będzie wciąż doskonalił techniki spoiw budowlanych.

W dalszej części artykułu zajmę się właśnie cementem znanym i wykorzystywanym dzisiaj w budownictwie. Wybrałem cement portlandzki i hutniczy jako przedstawicieli najczęściej stosowanych spoiw budowlanych.

3. Cement portlandzki

3.1. Ogólna charakterystyka cementu portlandzkiego

Cement *portlandzki* jest to spoiwo hydrauliczne¹. Ze względu na swoje właściwości jest najczęściej stosowanym materiałem budowlanym. Został on wynaleziony przez angielskiego murarza Aspodina, który otrzymał go podczas prażenia mieszaniny wapienia i gliny. Taki produkt nosi nazwę *klinkieru*. Mieląc klinkier z dodatkiem około 2% gipsu², otrzymuje się cement.

Rzeczą istotną jest fakt, iż oprócz wapieni i gliny, jako surowców do produkcji cementu stosować można także *margle*. Szkodliwymi domieszkami tych surowców są związki siarki i magnezu, które powodują, że beton zmienia swoją objętość i w rezultacie pęka. I właśnie z tego powodu zawartość tlenu magnezu w cemencie nie może przekraczać dopuszczalnej wartości 5%, a tlenu siarki(VI) (SO_3) 3%. Również związki manganu wpływają niekorzystnie na wytrzymałość zapraw i betonów, a związki fosforu zmniejszają szybkość wiązania i twardnienia spoiwa.

Poniżej został pokazany skład chemiczny cementu portlandzkiego:

Składniki	Zawartość (%)
CaO	62–68
SiO ₂	18–25
Al ₂ O ₃	4–8
Fe ₂ O ₃	2–4
MgO	0,5–0,6
SO ₃	0,8–3
Na ₂ O + K ₂ O	0,4–3
Straty prażenia	0,5–5

Znając skład chemiczny cementu, można obliczyć stosunek ilości tlenku wapnia do sumy tlenków: krzemu, glinu i żelaza. Stosunek ten nosi nazwę *modułu hydraulicznego* i oznacza się symbolem M_H .

$$M_H = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 2 - 2,2$$

W powyższym wzorze CaO, SiO₂, Al₂O₃ i Fe₂O₃ oznaczają procentową zawartość tych tlenków w cemencie. Wartość modułu hydraulicznego (M_H) powinna być zawarta w granicach od 2 do 2,2.

Oprócz modułu hydraulicznego istnieją jeszcze dwie wielkości charakteryzujące cement. Są to: *moduł krzemianowy* (M_K) i *moduł glinowy* (M_G). Moduł krzemianowy oblicza się ze wzoru:

$$M_K = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,7 - 3,5$$

gdzie tak jak poprzednio SiO₂, Al₂O₃ i Fe₂O₃ oznaczają procentową zawartość tych tlenków w cemencie. Wartość modułu krzemianowego powinna się mieścić w granicach 1,7–3,5.

Moduł glinowy oblicza się ze wzoru:

$$M_G = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,5 - 2,5$$

gdzie podobnie jak w poprzednich wzorach Al₂O₃ i Fe₂O₃ oznaczają procentową zawartość tych tlenków w cemencie. Wartość modułu glinowego powinna się mieścić w granicach 1,5–2,5.

Cała „filozofia” przygotowywania cementu portlandzkiego polega na tym, aby tak dobrać skład surowców chemicznych podanych powyżej, aby wartości modułów mieściły się w podanych granicach.

3.2. Metody produkcji cementu portlandzkiego

Na ogół stosuje się dwie metody produkcji cementu: suchą i mokrą.

1. *Metoda sucha* jest metodą mniej rozpowszechnioną. Składniki cementu, jak wapień i glinę lub margle, po wstępnym rozdrobieniu suszy się, a następnie mieli na proszek w specjalnie przygotowanych młynach i bardzo dokładnie miesza. Proces wypału przeprowadza się w piecach szybowych lub obrotowych. Ze zwilżonej mieszaniny surowców formuje się w specjalnych prasach cegielki, które wypala się w piecach szybowych. Tak powstały produkt – klinkier – chłodzi się w przeznaczonym do tego celu pomieszczeniu, a następnie rozdrabnia na proszek z dodatkiem 1–2% gipsu. Stosując do wypału piece obrotowe, jako paliwo używany jest pył węglowy wdmuchiwany do pieca specjalną dyszą. Surowiec wprowadza się do pieca w stanie wysuszonym lub po zwilżeniu wodą. Następnie, podobnie jak poprzednio, produkt wypału studzi się i rozdrabnia na proszek z dodatkiem gipsu lub żuźla wielkopieczowego. Ostatni etap produkcji polega na zmagazynowaniu cementu w zamkniętych betonowych zbiornikach, tzw. silosach. Cement przesyła się do odbiorców w papierowych workach lub luzem, w przeznaczonych do tego celu wagonach kolejowych bądź w samochodach.



2. *Metoda mokra* jest znacznie bardziej rozpowszechniona w produkcji cementu. Pozwala ona bowiem na dokładniejsze wymieszanie surowców. Jej wadą natomiast jest większe zużycie energii, potrzebnej do odparowania wody. Można wyróżnić trzy kolejne etapy tej produkcji:

- przygotowanie surowców,
- proces wypału,
- przemiał klinkieru i dozowanie gipsu.

Rozdrobniony wstępnie w specjalnych łamaczach wapień oraz mieszaninę gliny z wodą mieli się w młynach kulowych. W ten sposób uzyskuje się szlam, który w specjalnych zbiornikach zostaje dokładnie wymieszany za pomocą sprężonego powietrza. Ze zbiorników szlam kierowany jest do pieców obrotowych. Nowoczesny piec obrotowy stanowi rura z blachy stalowej o długości ponad 100 m i średnicy do 4 m, wyłożona ogniotrwałą cegłą szamotową. Piec ustawiony jest pod kątem około 5° do poziomu, obracany jest za pomocą kół zębatach. Okres obrotu wynosi około minuty. Jako materiał opałowy stosowany bywa zazwyczaj pył węglowy, który wdmuchiwany jest wraz z powietrzem dolnym końcem pieca. Szlam wprowadzany jest do pieca górnym końcem i przesuwa się w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu gazów spalinowych.

Wypalenie 1 kg klinkieru wymaga około 400 kcal (1674,72 kJ) energii cieplnej. Klinkier chłodzi się, a następnie przerabia na cement tak, jak w poprzednio opisanej metodzie.

3.3. Piec cementowy i zachodzące w nim procesy

Wprowadzony do pieca surowiec ulega kolejno przemianom zachodzącym w miarę przesuwania go do stref o coraz wyższej temperaturze. W strefie suszenia następuje odparowanie zawartej w mieszaninie wody. W temperaturze około 500°C zostaje wydzielona woda zawarta w kaolinicie³ i innych składnikach gliny. W temperaturze około 900°C następuje rozkład CaCO_3 na CO_2 i CaO . W temperaturze powyżej 1000°C CaO reaguje z Al_2O_3 i SiO_2 powstającymi w wyniku rozkładu glinokrzemianów. Początkowo tworzą się proste związki $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ i $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, przy czym część CaO pozostaje niezwiązana. Dalsze podwyższenie temperatury powoduje tworzenie się braunmillerytu – $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Powstaje również odpowiedni glinian i krzemian wapnia.

Wytworzenie głównego składnika cementu – *alitu* – $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ następuje w temperaturze powyżej 1250°C w wyniku reakcji pomiędzy $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ i CaO . Temperatura 1250°C jest teoretycznie najniższą, w której alit może się wytworzyć. Szybkość reakcji w tej temperaturze jest jednakże niewielka i dlatego stosuje się temperatury wyższe, około 1400°C. W końcowej fazie wypału w temperaturze 1420–1470°C następuje częściowe nadtopienie wytworzonych związków i ich spiekanie. W ten sposób tworzy się klinkier cementowy. Klinkier cementowy nie powinien zawierać wolnego CaO , gdyż związek ten ulega hydratacji, przechodząc w $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Znaczny wzrost objętości spowodowany tą przemianą jest przyczyną powstawania naprężeń i niszczenia betonu lub zaprawy. Zawartość CaO w klinkierze nie powinna przekraczać 1%.

Poniżej został przedstawiony orientacyjny skład chemiczny klinkieru portlandzkiego:

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	50–65%
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	15–25%
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	5–15%
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	5–15%

Krzemian wapnia o składzie $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ może występować w kilku odmianach polimorficznych. Właściwości hydrauliczne ma odmiana *beta* zwana **belitem** – trwała w wysokich temperaturach. W temperaturze poniżej 675°C belit przechodzi w odmianę *gamma*, która nie wykazuje właściwości hydraulicznych. Stosując szybkie oziębienie klinkierów, można zapobiec tej przemianie i nie dopuścić do obniżenia właściwości hydraulicznych cementu.

3.4. Procesy wiązania i twardnienia cementu portlandzkiego

Cement po wymieszaniu z wodą tworzy urabialną masę plastyczną, która stopniowo traci właściwości plastyczne. Okres ten nazywa się *wiązaniem*. Następnie w znacznie dłuższym okresie twardnienia wzrasta stopniowo wytrzymałość tej masy. Wyjaśnienie zachodzących tu procesów nie jest łatwe, gdyż cement stanowi mieszaninę wielu związków, które reagując z wodą, wytwarzają szereg różnych produktów. Częsteczki niektórych składników cementu, przyłączając wodę, ulegają jedynie hydratacji. Są również takie składniki cementu, których cząsteczki ulegają hydrolizie.

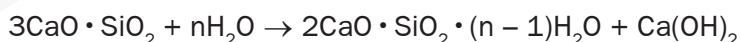
Istnieje szereg teorii tłumaczących procesy wiązania i twardnienia cementu. Według Le Chateliera składniki cementu, rozpuszczając się w wodzie, ulegają hydratacji, a następnie wykryształizowują z przesyconego roztworu. Teoria ta, nosząca nazwę *krystalizacyjnej*, została opracowana pod koniec ubiegłego stulecia.

Nieco późniejszą jest teoria koloidalna Michaelisa, zgodnie z którą w wyniku reakcji składników cementu z wodą powstają uwodnione gliniiany i krzemiany wapniowe w postaci koloidalnego żelu. Żel ten, otaczając i łącząc ziarna cementu, powoli gęstnieje i twardnieje. Proces ten jest wynikiem reakcji zachodzącej między nieuwodnionymi ziarnami cementu i oddawaną im przez żel wodą.

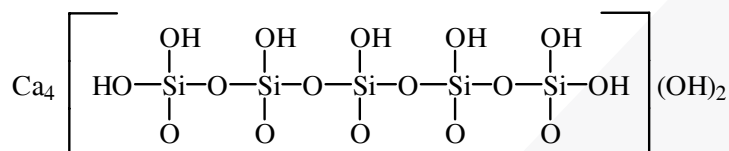
Dużym postępowaniem w porównaniu z teorią Le Chateliera i Michaelisa jest teoria Bajkowa. Według tej teorii w procesie wiązania i twardnienia cementu zachodzi zarówno krystalizacja produktów uwodnienia, które przeszły przez krótkotrwałą fazę żelu, jak i proces koagulacji i zagęszczania żelu, który dopiero po długim czasie ulega przekryształizowaniu. Bajkow wyróżnia trzy kolejne etapy tych procesów:

1. Okres wstępny, w którym składniki cementu rozpuszczają się w wodzie aż do wytworzenia roztworu nasyconego.
2. Okres wiązania, w którym z roztworu przesyconego wydzielają się trudno rozpuszczalne produkty reakcji w postaci koloidalnej, przy czym w miarę postępu zwiększa się ilość wytworzonego żelu.
3. Okres twardnienia, w którym, następuje częściowe przekryształizowanie żelu i wytworzenie układu złożonego zarówno z ziaren krystalicznych, jak i cząsteczek koloidalnych, które dopiero po długim okresie przechodzą w stan krystaliczny.

Poszczególne składniki cementu reagują z wodą z różną szybkością. Główny składnik cementu – alit, reaguje energicznie z wodą, natychmiast po „zarobieniu” cementu wodą. Im większa jest zawartość alitu w cemencie, tym proces wiązania spoiwa zachodzi szybciej. Reakcja hydrolizy alitu przebiega zgodnie z równaniem:

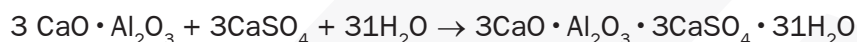


Powstające początkowo uwodnione krzemiany o strukturze wyspowej, jak *hilebrandyt* – $\text{Ca}_2[\text{SiO}_3(\text{OH})]\text{OH}$, wytwarzają bardziej złożone struktury łańcuchowe. Na przykład powstaje *tobermoryt* – $4\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, którego budowę można przedstawić wzorem strukturalnym:



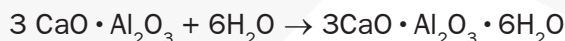
Analogiczne produkty o strukturze łańcuchowej lub wstęgowej tworzą się w wyniku zachodzącej znacznie wolniej hydratacji *belitu* – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Uwodnione krzemiany wapniowe w znacznej mierze decydują o wytrzymałości i trwałości tworzywa cementowego.

Glinian wapnia – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ reaguje początkowo z zawartym w cemencie gipsem zgodnie z równaniem:



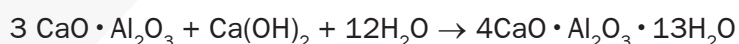
Produkt tej reakcji ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) nosi nazwę *solii Candlota*. Dopiero po związaniu zawartego w spoiwie gipsu mogą powstawać uwodnione gliniany wapniowe. Na tej zasadzie gips spełnia rolę opóźniacza procesu wiązania spoiwa.

Glinian wapnia, który nie przereagował z gipsem, ulega hydratacji zgodnie z równaniem:



Budowę powstającego związku można przedstawić wzorem, który lepiej wyjaśnia jego właściwości: $\text{Ca}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]_2$. W strukturze tego związku występują izolowane grupy $\text{Al}(\text{OH})_6$ połączone za pomocą jonów Ca^{2+} .

Glinian wapnia reaguje również z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ powstającym w wyniku hydrolizy alitu:



Braunmilleryt – $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ reaguje z wodą i wytwarza uwodnione gliniany i żelaziany wapniowe:



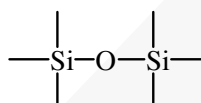


Szybkość wiązania cementu możemy regulować, stosując odpowiednie dodatki. Jako opóźniacze, oprócz gipsu, używane są Al_2S lub aluny, a jako przyspieszacze Na_2CO_3 lub K_2CO_3 oraz chlorki i azotany(V) wapnia lub magnezu. Szybkość zachodzących przemian zależna jest również od stopnia rozdrobnienia cementu i od temperatury.

W wyniku tych wszystkich procesów fizyko-chemicznych, dotychczas jeszcze dostatecznie niewyjaśnionych, powstaje stwardniałe tworzywo, w którym występują:

- uwodnione krzemiany wapnia,
- uwodnione gliniany wapnia,
- żelaziany wapnia,
- sole podwójne,
- wodorotlenek wapnia.

Właściwości tworzywa, zaprawy lub betonu zależą nie tylko od rodzaju wytworzonych związków, ale również od sił działających między spoiwem a kruszywem. Siły te, nazywane dawniej siłami przyczepności lub adhezji, wyjaśnić można tworzeniem się **mostków tlenowych** łączących ziarna kruszywa i cementu. Na przykład, gdy kruszywem jest kwarcyt, tworzą się następujące wiązania:



Wiązania te są przyczyną wytrzymałości mechanicznej betonu.

3.5. Odmiany cementu portlandzkiego

– **Cementy portlandzkie białe i kolorowe**

Ponieważ zaprawy i betony wykonywane z cementu portlandzkiego mają barwę szarą, a my chcielibyśmy otrzymać kolor biały, do wyrobu cementu należy stosować surowce zawierające jak najmniej związków żelaza, chromu i manganu. Proces wypału przeprowadza się w temperaturze 1500–1600°C. W celu wybielania klinkieru redukuje się zawartą w nim niewielką ilość tlenku Fe_2O_3 do tlenku FeO za pomocą CO.

Cementy kolorowe otrzymać można dwoma metodami:

1. Należy dodać do mieszanki wypalonych surowców dodatków barwiących, np. Cr_2O_3 , MnO lub CoO. W ten sposób otrzymuje się klinkier o określonym zabarwieniu.
2. Druga metoda polega na przemieleniu białego klinkieru z barwnikami mineralnymi. I tak np. tlenki żelaza nadają spoiwu kolor czerwony, brązowy lub żółty, MnO – kolor fioletowy, a Cr_2O_3 – zielony.

– **Cement ekspansywny**

Cement ten w wyniku procesu twardnienia nieznacznie zwiększa swoją objętość, w odróżnieniu od cementu portlandzkiego, którego objętość ulega zmniejszeniu. Otrzymuje się go przez przemielenie zwykłego klinkieru portlandzkiego z dodatkiem 5–10% mieszanki gipsu palonego i produktów działania roztworem $Ca(OH)_2$ na wyprażony w temperaturze około 800°C kaolinit. Wzrost objętości spoiwa spowodowany jest tworzeniem się soli Candlota.

4. Cement hutniczy

Cement hutniczy należy do „rodziny” cementów żużlowych. Jest on zarazem najważniejszym ich przedstawicielem. Produkowany jest przez przemierzenie mieszaniny zasadowego żużla⁴ granulowanego, klinkieru cementu portlandzkiego i gipsu.

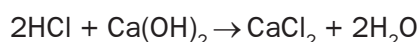
Żużel wielkopiecowy powinien mieć moduł zasadowości większy od jedności, przy czym aktywność jego zależna jest nie tylko od składu chemicznego, ale również od struktury. Większą aktywność wykazuje żużel o strukturze szklistej. Żużel, którego poszczególne składniki tworzą struktury krystaliczne, trudniej ulega przemianom, a więc jest mniej aktywny. Klinkier portlandzki powinien zawierać możliwie dużo alitu, który energicznie reaguje z wodą i, wytwarzając Ca(OH)_2 , przyspiesza proces wiązania składników żużla. Zawartość żużla w spoiwie może wynosić od 20 do 80%. Dodatek gipsu w ilości 3% reguluje szybkość procesu wiązania.

Cement hutniczy ze względu na swoje właściwości nie może być stosowany do robót prowadzonych w temperaturach niskich. W porównaniu z cementem portlandzkim wykazuje on jednak większą odporność chemiczną, zwłaszcza na działanie siarczanów. Cement hutniczy stosowany jest do produkcji betonów i zapraw narażonych na działanie wód agresywnych, np. wody morskiej.

5. Korozja betonu

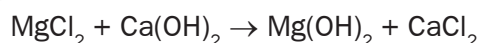
Zjawisko korozji spotykamy nader często. Zjawisko to występuje także przy betonach. Korozja powoduje stopniowe obniżenie wytrzymałości i niszczenie betonu. Może ona być spowodowana działaniem na beton rozpuszczonych w wodzie związków chemicznych, a również procesami fizycznymi, jak np. zamarzaniem wody w szczelinach i porach betonu. Rozpatrzmy kolejno szereg procesów powodujących korozję betonu:

- Jednym ze składników betonu najłatwiej ulegającym korozji jest Ca(OH)_2 powstający w wyniku hydrolyzy alitu. Ca(OH)_2 mimo swej małej rozpuszczalności zostaje z betonu częściowo wylugowany w wyniku długotrwałego działania wody. Proces ten powoduje stopniowe zwiększenie porowatości betonu i obniżenie jego wytrzymałości. Ca(OH)_2 może reagować z rozpuszczonymi w wodzie kwasami (np. kwasem solnym, który można spotkać chociażby w kwaśnych deszczach). Zachodzi wówczas reakcja, w wyniku której powstaje łatwo rozpuszczalna sól – CaCl_2 :



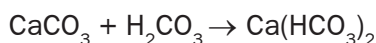
Proces ten, tak jak i poprzedni, zwiększa porowatość i zmniejsza wytrzymałość betonu. Jeżeli w wodzie zawarty jest kwas siarkowy(VI), to produktem reakcji z Ca(OH)_2 jest gips – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, który posiada znacznie większą objętość od Ca(OH)_2 .

Zachodzący proces powoduje pęcznienie betonu i powstawanie naprężeń, które działają destruktywnie na jego strukturę. Z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mogą reagować rozpuszczone w wodzie sole, jak np. MgCl_2 :



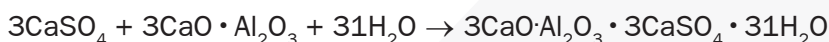
Powstający w wyniku tej reakcji CaCl_2 jest łatwo rozpuszczalny w wodzie.

- Niszcząco działają na beton wody zawierające tlenek węgla(IV) – CO_2 , gdyż powstający kwas węglowy – H_2CO_3 reaguje z CaCO_3 :



W wyniku tej reakcji powstaje rozpuszczalny w wodzie wodorowęglan wapnia, którego wyługiwanie osłabia strukturę betonu.

- Szczególnie niebezpieczne są wody zawierające sole kwasu siarkowego(VI), jak np. siarczan(VI) wapnia, który reagując z $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, wytwarza sól Candlota, powodującą pęcznienie betonu, a co za tym idzie – jego pękanie:



- W betonie może występować CaO , zwany *wolnym wapniem*, który w wysokiej temperaturze wypału klinkieru cementowego został nadtopiony i utracił zdolność energicznego reagowania z wodą, skutkiem czego nie ulegał hydratacji w procesie wiązania spoiwa. Działanie wody na beton może spowodować dogaszenie *wolnego wapna*. Proces ten jest przyczyną pęcznienia betonu, powoduje odpryski i uszkodzenia.

6. Zabezpieczanie betonu przed korozją

Można wyprodukować beton odporny na działanie określonych związków chemicznych z odpowiednich gatunków spoiwa i kruszywa. Na przykład do wyrobu betonów narażonych na działanie wody morskiej stosuje się specjalny rodzaj cementu – cement glinowy, a do wyrobu betonów kwasoodpornych – tzw. spoiwa krzemianowe.

Zwiększenie odporności uzyskuje się poprzez podwyższenie szczelności betonu, produkując go z kruszywa o odpowiednim uziarnieniu lub dodając do cementu substancje, które, jak np. ziemia okrzemkowa lub bentonit, wypełniają pory betonu.

Stosowane są również związki, jak np. kwas szczawiowy, kwas borowy i kwas fosforowy(V), które reagując z $\text{Ca}(\text{OH})_2$, wytwarzają trudno rozpuszczalne sole.

Dobre wyniki uzyskuje się również przy zastosowaniu powłok ochronnych z różnego rodzaju tworzyw sztucznych.



7. Podsumowanie

W powyższym artykule opisałem szczegółowo proces wytwarzania i późniejsze procesy związane z wykorzystaniem cementu portlandzkiego i hutniczego oraz najczęstsze przypadki korozji i sposoby jej zwalczania.

Cement portlandzki i hutniczy to nie jedyni przedstawiciele cementu, ale po pierwsze – są to najczęściej stosowane rodzaje spoiw, a po drugie – gdybym pisał o wszystkich rodzajach cementu, artykuł ten przekształciłby się w **gruby podręcznik budowlany**, a to nie było moim celem...

Przypisy

- ¹ **Spoivo hydrauliczne** – jest to spoiwo, które twardnieje na powietrzu i w wodzie dzięki przyłączaniu wody i powstawaniu struktur krystalicznych. Mogą być one stosowane na powietrzu, w atmosferze wilgoci i pod wodą.
- ² **Gips** – to minerał o wzorze chemicznym: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- ³ **Kaolinit** – to minerał o wzorze chemicznym $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- ⁴ **Żużel wielkopiecowy** – jest produktem odpadowym przy produkcji surówki. Jest to płynna masa wytworzona z domieszek rudy oraz wapienia lub dolomitu, stosowanych w procesie wielkopiecowym jako topniki. Skład chemiczny żużla może się zmieniać w granicach: SiO_2 30–40%, CaO 35–48%, Al_2O_3 7–18%, MgO 3–8%, Fe_2O_3 poniżej 1%.

W porównaniu z cementem żużel zawiera znacznie mniej CaO. Skład żużla można scharakteryzować za pomocą wskaźnika zwanego modulem zasadowości określonego wzorem:

$$M_k = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

w którym: CaO, MgO, SiO_2 i Al_2O_3 oznaczają procentową zawartość tych składników w żużlu. Jeżeli $M_k > 1$, wtedy żużel nazywamy zasadowym, gdy $M_k < 1$ – kwaśnym, a jeśli M_k jest bliskie jednościi – obojętnym.

Podziękowania dla Fundacji „PRO CHEMIA” przy Wydziale Chemii UJ za zgodę na przedruk artykułu z czasopisma „Niedziałki” (źródło: „Niedziałki” 4/99(32), s. 71–77).