

Karbonatyzacja betonu

G.nther Ruffert - Tłumaczył Andrzej Machalski

Dla długoterminowego użytkowania konstrukcji żelbetonowych najważniejszą sprawą jest to, aby na powierzchni stali w wyniku reakcji między alkalicznym cementem a stalą tworzyła się cienka warstewka ochronna, która chroni stal zbrojeniową przed rdzewieniem. Tworzenie się niezbędnej dla ochrony stali w betonie przed korozją cieniutkiej powłoki tlenkowej wymaga uprzedniego istnienia wystarczającej ilości rozpuszczonego wodorotlenku wapnia w wodzie zawartej w porach kamienia cementowego. Przy wysychaniu nadmiaru wody koniecznej dla układania betonu, kwas węglowy z atmosfery otaczającej element budowlany może dyfundować w trwające nadal drobne pory kamienia cementowego. Przez reakcję kwasu węglowego (CO_2) z wodorotlenkiem wapnia (Ca(OH)_2) dochodzi do powstawania węglanu wapnia, czyli wapienia (CaCO_3). Przez to zapobiegająca korozji zawartość wodorotlenku wapniowego w wodzie porowej kamienia cementowego spada, a w wyniku i pierwotna wartość pH wynosząca około 13. Gdy wartość pH betonu spadnie poniżej 9, wtedy już dla stali nie ma ochrony przed korozją.

Ten powoli od zewnątrz ku środkowi postępujący proces nazywa się **karbonatyzacją**; warstwa, w której ten proces ma miejsce, to znaczy gdzie wartość pH spadła poniżej 9 nazywa się skarbonatyzowaną warstwą. Tempo karbonatyzacji zależy od wielu czynników, jak zwartość betonu, czas trwania działania CO_2 , wilgotność betonu, zawartość wolnego, czyli zdatnego do reakcji wapnia w kamieniu cementowym itd. Gdy warstwa skarbonatyzowana osiągnie płaszczyznę zbrojenia stalowego i ochrona stali przed korozją przestaje istnieć, zaczyna się proces rdzewienia stali, w wypadku gdy jest dostatecznie dużo wody i tlenu.

Jednym z najważniejszych czynników wpływających na szybkość karbonatyzacji betonu jest jego opór przeciw wnikaniu mediów gazowych. Objętość porów i struktura porów określają tempo, w jakim przebiega karbonatyzacja - lub lepiej powiedziawszy, neutralizacja betonu, gdyż przecież w niej biorą udział też inne gazy atmosferyczne, jak SO_2 .

Czoło karbonatyzacji nie postępuje w betonie z równomierną równoległością do powierzchni zewnętrznej, lecz w niejednorodnym materiale budowlanym - betonie naturalnie znacznie szybciej posuwa się w zawsze istniejących mniej zwartych miejscach (gniazda żwiru, rysy). Odpowiednio do tego występują czołówki karbonatyzacji, które mogą osiągnąć wielokrotność przeciętnej głębokości karbonatyzacji. Takie czołówki, oczywiście wyznaczające początek możliwej korozji, zjawiają się najchętniej przy rysach.

Ponieważ te same czynniki, które podwyższają wytrzymałość betonu (niższa wartość w/c, wyższa zawartość cementu, dobra krzywa przesiewu, intensywne zagęszczanie i dobra pielęgnacja betonu), również zmniejszają zawartość porów i tym samym polepszają opór betonu przeciw karbonatyzacji, ogólnie zakłada się korelatywny związek między wytrzymałością na ściskanie a oporem betonu wobec karbonatyzacji. Tak można mówić tylko o betonie zwykłym. Zatem może beton lekki LB 25 przygotowany na kruszywie np. keramzytowym, dzięki porowatości kruszywa, może mieć o jeden rząd wielkości niższy opór przeciw karbonatyzacji niż beton zwykły B 25.

Dla chemicznego postępu karbonatyzacji, oprócz CO_2 jest także potrzebna - choć nieznaczna - obecność wody. Dlatego karbonatyzacja praktycznie nie jest możliwa zarówno pod wodą, jak i przy względnej wilgotności powietrza $< 30\%$. Na otwartej przestrzeni karbonatyzacja jest hamowana przez zwiększoną kondensację kapilarną oraz opady, które napełniają pory wodą. Dlatego najszybszy postęp karbonatyzacji obserwuje się z reguły w suchych pomieszczeniach wewnętrznych, o wilgotności względnej powietrza poniżej 50% . Przy tak niskich wilgotnościach powietrza brakuje wprawdzie wody niezbędnej do korozji stali, tak że tutaj prawie nie dochodzi do szkód.

Oprócz zmian chemicznych w kamieniu cementowym wywołanych przez karbonatyzację, prowadzących do obniżenia alkaliczności i przez to w końcu do utraty ochrony zbrojenia przed korozją, powstaje przez tworzenie się nowych produktów hydratacji także szereg zmian w pierwotnej strukturze kamienia cementowego, które z drugiej strony utrudniają wniknięcie agresywnych mediów i tym samym mogą zwiększyć odporność betonu zwłaszcza na agresję chemiczną. Przy badaniach okazało się, że zmiany wywołane przez karbonatyzację w istniejącym systemie porów kamienia cementowego mogą

prowadzić do znacznego utrudnienia kapilarnego transportu wody, jak również transportu wody przez dyfuzję pary.

Karbonatyzacja betonu jest dzisiaj najczęstszą przyczyną szkód w konstrukcjach betonowych. Przy tym jednak nie jest trafne obciążanie wzrastającego zanieczyszczenia powietrza winą za bardzo znaczne straty wywołane karbonatyzacją betonu. Według wszelkich danych będących do dyspozycji straty te są prawie zawsze spowodowane przez błędy projektowania i wykonawstwa (niedostateczna otulina zbrojenia betonem, niewystarczająca jakość betonu); zanieczyszczenia powietrza oddziałują na straty najwyżej intensyfikująco.

Wskazówki praktyczne

Głębokość strefy karbonatyzacji betonu zależy od kilku czynników, przede wszystkim wieku, współczynnika wodno-cementowego i rodzaju cementu. Aby zapobiec korozji stali, decydujące znaczenie ma to, aby nie znalazła się ona w zasięgu karbonatyzacji. Można to utrudnić przez przykrycie stali wystarczająco zwartym i bogatym w cement betonem o dostatecznej grubości. Grubość koniecznej otuliny zależy od oddziaływania środowiska. W przypadku zbrojonego stalą betonu licowego na wolnym powietrzu należy uważać otulinę betonową co najmniej 25 mm uważać za niezbędną.

W praktyce można na podstawie już zaistniałej karbonatyzacji, stosując następującą metodę empiryczną w dużej mierze trafnie przewidzieć jak rozwinie się dalsza karbonatyzacja w ciągu planowanego czasu użytkowania budowli.

Mierzy się na budowli przeciętną głębokość karbonatyzacji T . Ponieważ wiek budowli A jest również znany, można stąd wyliczyć współczynnik karbonatyzacji K :

$$K = T/A$$

Dla planowanego jeszcze okresu użytkowania budowli N , można wtedy oczekiwać łącznej głębokości karbonatyzacji G :

$$G = T + K \cdot N$$

W tej formule uwzględniono zwolnienie postępu karbonatyzacji z czasem wprowadzając tylko dla okresu, który już minął, lecz ekstrapolując stąd wyniki współczynnik karbonatyzacji w przyszłość uzyskuje się dodatkową pewność, gdyż kompensuje się przez to niedokładność takiego przewidywania.

Aby upewnić się, że podczas okresu użytkowania konstrukcji płaszczyzna karbonatyzacji nie dotrze do stali zbrojeniowej, w DIN 1045 określono minimalne wymagania dla grubości i gęstości otuliny betonowej. Dla części budowli na wolnym powietrzu obowiązują np. następujące wymagania:

- zawartość cementu $> 300 \text{ kg/m}^3$,
- wartość $w/c < 0,6$,
- klasa wytrzymałości $> B 25$.

Dalej, wymaga się odpowiedniej grubości otuliny betonowej oraz właściwej pielęgnacji betonu.

Literatura

PIASTA J., PIASTA W. G.: Beton zwykły. Arkady, Warszawa 1994.

KN-FEL D.: Stichwort Baustoffkorrosion (Hasło korozja materiałów budowlanych). Bauverlag, Wiesbaden/Berlin 1982.

RUFFERT G.: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Ochrona i remont betonowych części budowli). Bauverlag, Wiesbaden-Berlin 1991.