

ZDZISŁAWA OWSIAK¹
PAULINA SZYMKIEWICZ²
Kielce University of Technology

¹owskiak@tu.kielce.pl

²info@kieleckiepiecioraczki.pl

ACTION OF CHLORIDES ON CONCRETE ELEMENTS OF AN INDOOR SWIMMING POOL

Abstract

The article presents the laboratory tests – based assessment of the condition of concrete elements in the indoor swimming pool. The test were performed on samples extracted from the swimming pool floor. The results from the tests for physical and chemical properties of the concrete as well as for the chloride content in the samples allowed that moisture content varied from layer to layer. This facilitates the movement of water and chloride penetration. The amount of chlorides in the layer located below 80 mm depth exceeds the threshold value 0.4%, which may initiate corrosion of the reinforcement steel.

Keywords: chloride corrosion of concrete

1. Introduction

Substantial degradation due to chloride action has been recently observed in reinforced concrete elements. The severity of the problem is reflected in the majority of modern standards relating to such structures. Chloride salts present in the environment may affect many different structures by gradually permeating through the concrete. Typical indoor swimming pool atmosphere, high in chloride levels, accelerates the penetration. When the chloride concentration is increased to the critical value, the corrosion of steel occurs. A body of research has been recently reported in this field [1].

This paper aims to evaluate, based on the laboratory tests, the condition of concrete in the elements of the indoor swimming pool. The swimming pool, built in the 60s of the twentieth century, has since undergone several renovations focused on the protection of concrete and steel against corrosion. For testing purposes, cylindrical cores extracted from the concrete floor exposed to chlorides were used. The tests included determining physical and chemical properties of the concrete, its composition and chloride content in the specimens.

2. The action of chlorides on concrete elements of the indoor swimming pool

Buildings and building structures deteriorate as a result of being exposed to environmental conditions. Chlorides act on concrete both in the on-shore

structures in marine environments and directly in road pavements and bridges due to their exposure to de-icing agents. Many industrial buildings are subjected to the threat, with indoor swimming pools being most affected [2]. Indoor swimming pools are among the most demanding building environments, operating under extreme conditions, different from those in other projects (offices, dwellings, etc.).

The concrete in swimming pools experiences an acute action of aggressive, eluting pressurized water and chlorides under humid conditions at elevated temperatures [3]. In the fully saturated concrete, chlorides permeate through the concrete cover to reach the steel by diffusion. In partially wet concrete, chlorides may migrate as a result of absorption and capillary suction. When the concentration of chlorides dissolved in the pore solution reaches the threshold value near the reinforcement, the passive layers at the surface of the steel can be damaged leading to corrosion. The corrosion process progresses very rapidly. It can be thus assumed that the time necessary for the chlorides to reach the surface of the steel reinforcement is equal to the service life of the structure [4].

The primary mechanisms behind degradation of concrete due to chloride ions include their reaction with calcium hydroxide or the C-S-H phase, resulting in the formation of swelling alkali sodium or

magnesium chlorides. The presence of Friedl salts has been recently regarded a positive factor, owing to the formation of chloride ions bonds and reduction of their content in the liquid phase of the concrete [4]. The presence of chlorides at the level of rebar leads to the destruction of the passive layer and – with moisture and oxygen – induces the corrosion of steel. When steel corrodes, the expansion of the resultant rust creates tensile stresses in the concrete, which can eventually cause cracking, delaminating and spalling [5]. Destructive action of chlorides in indoor swimming pools may be experienced by concrete, reinforcement steel and other metal elements.

Three factors decide about the period between the initiation and propagation of chloride corrosion, the concentration of chlorides on the surface of concrete, the threshold value of free chlorides in the concrete and the rate of Cl ions transport in the concrete cover. Analysis of these three factors leads to the following conclusions [6].



Fig. 1 Corroded area of the concrete floor and exposed rebar in an indoor swimming pool

Anti-corrosion protection of the steel reinforcement is difficult at constant high concentration of chlorides in the atmosphere, even when concrete is dense and chloride transport is slow. With sufficiently high concentration of chlorides in the atmosphere and lowered content of chlorides in the concrete, chloride transport mechanism through the concrete cover is fast enough to initiate corrosion after a relatively short time, even in concretes relatively impermeable for chlorides such as slag concretes with a high content of slag. The corrosion, although delayed, cannot be eliminated in this way. The slower the rate of chloride transport, the longer the service life of concrete when the amount of chlorides present on the concrete surface is maintained at the same level [5]. The conditions to which concrete elements are exposed make initially dense concrete become more pervious over time. Also, the natural process of carbonation promotes chloride contamination. Figure 1 shows deteriorated areas in the indoor swimming pool floor.

3. Materials and methods

The cylindrical test samples were extracted from the floor of the swimming pool. The samples were 6.9 cm in diameter and 8.95 cm in height. Each sample was cut into specimens corresponding to the concrete layers (Fig. 2), and subjected to laboratory tests.



Fig. 2. Layers of concrete cores

Table 1 shows the average results from the tests conducted to evaluate the physical properties of the concrete, including density [7] and moisture content. The concrete layers were also assessed in terms of the chloride content [8]. The results are included in Table 2.

Table 1. Physical properties of the concrete from each layer

Specimen characteristics	Density, kg/dm ³	Moisture content [%]
Outer layer h = 3.1 cm	2.12	4.11
Intermediate layer h = 3.1 cm	2.13	6.40
Inner layer h = 2.75 cm	1.99	9.40

Table 2. Average chloride content in each layer

Specimen characteristics	Chloride penetration depth (mm)	Chloride content by (%) cement mass
Outer layer h = 31 mm	31	2.48
Intermediate layer h = 31 mm	62	0.80
Inner layer h = 27.5 mm	89.5	0.44

4. Analysis of the test results

The results from the tests indicate that the outer layer of the concrete has greater density and less moisture content, which results from the presence of terrazzo in this layer and from the surface drying, which additionally promotes the movement of the solution in the concrete mass. The intermediate layer has smaller density and the moisture content values two times higher than those of the outer concrete layer, which indicates that the concrete used to build it was very low quality concrete and that it was exposed to water saturation conditions. The variation between moisture content in individual concrete layers facilitates the movement of water and chloride ions present in the water.

The tests for the chloride content in the concrete samples indicated that up to 31 mm depth, the chloride content was 2.48%, with 0.80% at the depth of 62 mm and 0.44% at 89.5 mm. Corrosion of steel reinforcement may be initiated when the chloride concentration at the steel surface reaches the critical value. According to the American recommendations (ACI), the critical value is defined as a percent content of chloride ions in the concrete pore solution relative to the cement mass, and must not exceed 0.15% for prestressed concrete or 0.20% for the reinforced concrete. The European standard, along with the British and RILEM requirements, gives the value of 0.40% by mass of the cement as the total permissible chloride content [8].

In addition, the contents determined at three different depths were compared to the threshold value of the chloride content in concrete, which is 0.4%.

The tests results indicated that the layer of concrete that is located at the greatest depth has the least content of chlorides. Despite this fact, the threshold value of 0.4% was exceeded. This shows the extent to which indoor swimming pool concrete is exposed to continuous action of chlorides. At the chloride ions content in excess of 0.4%, the cover of steel reinforcement deteriorates and the steel surface de-passivates, which leads to reinforcement corrosion. The rust that thereby forms as a corrosion product increases the volume and the tensile forces thus created lead to cracking, fracture and spalling of concrete, as shown in figure 3. Rusty colour appearing on the concrete surface is indicative of corrosion processes in the steel reinforcement.



Fig. 3. Detachment of concrete

5. Conclusions

The results from the tests lead to the following conclusions:

- Moisture content in the concrete varies from layer to layer, which increases the migration of water and penetration of chloride.
- The results show that terrazzo is less pervious thus having less moisture. Its density is also higher.
- The average chloride content in individual concrete layers indicates that the chloride concentration is high enough to allow the threshold value of 0.4% to be exceeded even at the deepest layer located at the depth 89.5 mm.

References

- [1] Iversen A., Prosek T.: *Atmospheric stress corrosion cracking of stainless steels in swimming pool environments*, 6th European Stainless Steel Conference. Science and Market, Helsinki, Finland, June 10-13, 2008.
- [2] Ściślewski Z.: *Trwałość Budowli*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 1995.
- [3] Kolaszewski A.: *Ekonomika odzysku ciepła z powietrza hali basenowej w krytej pływalni*, V Sc.-Techn. Symposium 'Instalacje basenowe', Ustroń 2005.
- [4] Ściślewski Z.: *Ochrona konstrukcji żelbetowych*, Arkady, Warszawa 1999.
- [5] Czarnecki L., Emmons P.H.: *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2002.
- [6] Fagerlund G.: *Trwałość konstrukcji betonowych*, Arkady, Warszawa 1997.
- [7] PN-EN 12390-7:2001, *Badania betonu – Część 7: „Gęstość betonu”*.
- [8] British Standard 1881: Part 124: 1998, *Methods for analysis of hardened concrete*.
- [9] PN-EN 206-1: Czerwiec 2003, *Beton – Część 1: „Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”*.

Zdzisława Owsiak
Paulina Szymkiewicz

Oddziaływanie chlorków na elementy betonowe krytej pływalni

1. Wprowadzenie

W ostatnim czasie obserwowano znaczne uszkodzenia konstrukcji żelbetowych spowodowane oddziaływaniem chlorków. Problem stał się na tyle ważny, że jest uwzględniany w większości norm dotyczących tego rodzaju konstrukcji. W wielu obiektach budowlanych konstrukcje mogą podlegać skażeniu solami chlorkowymi, które występując w otaczającym środowisku, stopniowo przenikają do wnętrza betonu. W momencie, kiedy stężenie chlorków w pobliżu zbrojenia osiągnie wartość krytyczną rozpoczyna się korozja stali. Penetracja chlorków w głąb betonu występuje także na krytych pływalniach, gdzie jest bardzo duże stężenie jonów chlorkowych. Ostatnio podjęto wiele prac badawczych w tym zakresie [1].

Celem pracy jest ocena stanu betonu w elementach betonowych krytej pływalni w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Badania dotyczyły krytej pływalni wybudowanej w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, kilkakrotnie poddawanej renowacji dotyczącej ochrony przed korozją betonu i elementów stalowych. Pobrano odwierty próbek z posadzki betonowej, narażonej na skażenie chlorkami. Wykonano badania fizyko-chemiczne betonu, określono jego skład oraz zawartość chlorków w badanych próbkach.

2. Oddziaływanie chlorków na elementy betonowe krytej pływalni

Budynki i budowle ulegają niszczeniu w wyniku oddziaływania na nie otaczającego środowiska. Oddziaływanie chlorków na konstrukcje betonowe występuje zarówno w obiektach nadmorskich, jak i w wyniku oddziaływania środków odładzających bezpośrednio na nawierzchnie drogowe, mosty i wiadukty. Zagrożenie występuje również w wielu obiektach przemysłowych, a przede wszystkim na krytych pływalniach [2]. Kryte pływalnie to obiekty bardzo złożone technologicznie. Warunki panujące w takich pomieszczeniach są dosyć ekstremalne i odbiegające od warunków panujących w innych obiektach (biura, mieszkania itp.)

Baseny kąpielowe to obiekty najbardziej narażone na działanie agresywnej, wypłukującej oraz działającej pod ciśnieniem wody oraz narażone na działanie chlorków na beton w warunkach wilgoci i podwyższonej temperatury [3]. W całkowicie nasyconym wodą betonie, chlorki penetrują przez otulinę zbrojenia w wyniku dyfuzji. Jednak w częściowo zawilgoconym betonie, migracja chlorków może następować w wyniku absorpcji i sił podciągania kapilarnego. Gdy stężenie chlorków rozpuszczonych w cieczy porowej

betonu osiągnie w pobliżu zbrojenia wartość krytyczną, może dojść do uszkodzenia warstewek pasywnych na powierzchni stali i rozpoczęcia procesu korozji. Postęp niszczenia zbrojenia w takim przypadku jest bardzo szybki. Praktycznie można więc przyjąć, że czas, po którym chlorki osiągną powierzchnię zbrojenia, jest równy okresowi użytkowania konstrukcji [4].

Główne mechanizmy niszczenia betonu przez jony chlorkowe to ich reakcja z wodorotlenkiem wapnia lub fazą C-S-H, w wyniku której tworzą się pęczniące zasadowe chlorki wapnia lub magnezu. Powstawanie soli Friedla ostatnio uznaje się za czynnik korzystny, ze względu na wiązanie jonów chlorkowych i zmniejszanie ich zawartości w fazie ciekłej betonu [4]. Obecność chlorków w otoczeniu stali zbrojeniowej prowadzi do uszkodzenia warstwy pasywnej i – w obecności wilgoci i tlenu – do korozji stali. W trakcie powstawania rdzy, siły rozciągające spowodowane przez zwiększenie się objętości produktów korozji powodują pękanie i odpajanie betonu. [5]. Destrukcyjne oddziaływanie na krytych pływalniach może dotyczyć betonu, stali zbrojeniowej oraz elementów stalowych obiektu.

Trzy czynniki, tj. koncentracja chlorków na powierzchni betonu, progowa zawartość wolnych chlorków w betonie, oraz szybkość transportu jonów Cl⁻ w otulinie decydują przede wszystkim o okresie od zapoczątkowania do wystąpienia objawów korozji chlorkowej. Analizując te trzy czynniki nasuwają się następujące wnioski [6].

Przy stałej wysokiej koncentracji chlorków w środowisku zewnętrznym jest trudno przez długi okres chronić zbrojenie przed korozją, nawet jeśli beton jest szczelny i występuje powolny transport chlorków.

Przy wystarczająco dużej koncentracji chlorków w otaczającym środowisku i obniżonej zawartości chlorków w betonie, transport chlorków w otulinie staje się na tyle wysoki, aby korozja mogła być zapoczątkowana po stosunkowo krótkim czasie. Dotyczy to nawet betonów w dużym stopniu nieprzepuszczalnych dla transportu chlorków, na przykład wykonanych z cementu żuźlowego o dużym dodatku żuźla. Można w ten sposób opóźnić początek korozji, ale nie można jej wyeliminować. Prędzej czy później korozja wystąpi. Im mniejsza jest szybkość transportu chlorków, tym dłuższy będzie okres trwałości przy zachowaniu stałej zawartości chlorków na powierzchni betonu [5]. Warunki eksploatacji elementów betonowych często powodują, że początkowo bardzo szczelny beton z czasem staje się bardziej przepuszczalny, także naturalny proces karbonatyzacji betonu sprzyja pro-

cesom korozji chlorkowej. Na rysunku 1 pokazano uszkodzone fragmenty posadzki na krytej pływalni.

3. Materiały i metody badań

Próbki do przeprowadzenia badań laboratoryjnych pobrano z podłogi basenu. Średnica pobranych próbek walcowych wyniosła 6,9 cm, natomiast wysokość 8,95 cm. Każda z próbek została pocięta na próbki odzwierciedlające warstwy betonu, (rys. 2), na których wykonano badania laboratoryjne. Wykonano badania właściwości fizycznych betonu takie jak gęstość objętościowa [7] i wilgotność, a średnie wyniki badań zamieszczono w tablicy 1. Oznaczono również zawartość chlorków w poszczególnych warstwach betonu [8]. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 2.

4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań wykazały, że warstwa zewnętrzna betonu charakteryzuje się większą gęstością objętościową i mniejszą wilgotnością, na co ma wpływ mniej nasiąkliwe lastrisko znajdujące się w tej warstwie oraz powierzchniowe wysychanie betonu co dodatkowo sprzyja przemieszczaniu roztworu w masie betonu. Warstwa środkowa ma podobną gęstość, lecz większą wilgotność. Natomiast wewnętrzna warstwa betonu ma mniejszą gęstość objętościową i dwa razy większą wilgotność niż warstwa zewnętrzna, co świadczy o bardzo złej jakości zastosowanego betonu i eksploatacji w warunkach nasycenia wodą. Różnice wilgotności w poszczególnych warstwach betonu sprzyjają przemieszczaniu się wody i obecnych w niej jonów chlorkowych.

Wykonane badania zawartości chlorków w odwiertach betonowych wykazały, że zawartość chlorków do głębokości 31 mm wynosiła 2,48%, na głębokości 62 mm wynosiła 0,80%, natomiast na 89,5 mm – 0,44%. Korozja zbrojenia może się rozpocząć wtedy, gdy stężenie jonów chlorkowych przy powierzchni stali osiągnie wartość krytyczną, według zaleceń amerykańskich (ACI) krytyczna zawartość określana jest jako zawartość procentowa jonów chlorkowych w roztworze w porach betonu w stosunku do masy cementu i nie może przekraczać 0,15% dla betonu sprężonego i 0,20% dla żelbetu. W normie europejskiej, podobnie jak w brytyjskiej, a także zgodnie z zaleceniami RILEM przyjęto całkowitą zawartość chlorków nie przekraczającą 0,40% masy cementu [8]. Ponadto porównano oznaczone zawartości chlorków na trzech różnych głębokościach z wartością progową zawartości chlorków w betonie, która wynosi 0,4%.

Otrzymane wyniki badań wykazały, iż warstwa betonu, która jest najgłębiej położona ma najmniejszą zawartość chlorków. Mimo tego i tak została przekroczona wartość progowa zawartości chlorków w betonie, która wynosi 0,4%. Wyniki te wskazują, jak bardzo narażony jest beton w krytej pływalni na ciągłe działanie chlorków. Po przekroczeniu zawartości 0,4% jonów chlorkowych w betonie, otulina stali zbrojeniowej ulega zniszczeniu i dochodzi do depastywacji powierzchni stali, czego następstwem jest korozja zbrojenia. W trakcie powstawania rdzy, siły rozciągające spowodowane przez zwiększanie się objętości produktów korozji powodują pękanie, rysy i odspojenia betonu, widoczne na rysunku nr 3. Rdzawe zabarwienie betonu świadczy o procesach korozyjnych stali zbrojeniowej.

5. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że:

- Wilgotność betonu jest różna w poszczególnych warstwach, co sprzyja przemieszczaniu się wody, a tym samym szybkiej i głębokiej penetracji chlorków.
- Wyniki badań wykazały, że lastriko jest mniej nasiąkliwe, a tym samym ma mniejszą wilgotność, ponadto charakteryzuje się większą gęstością objętościową.
- Z określonej średniej zawartości chlorków w poszczególnych warstwach betonu wynika, że stężenie jonów chlorkowych jest tak duże, gdyż nawet w warstwie najgłębiej położonej na głębokości 89,5 mm, przekroczyło wartość progową 0,4%.