

Interakcja korozji siarczanowej i niszczenia mrozowego napowietrzonych kompozytów cementowych.

### Streszczenie

Rozprawa doktorska pt. „Interakcja agresji siarczanowej i niszczenia mrozowego napowietrzonych kompozytów siarczanowych” zawiera szeroki plan badań zapraw i betonów z różnych cementów. W rozprawie poruszono nierozpoznane dotąd zagadnienie interakcji dwóch środowisk niszczących działających na zaprawy i betony w sposób synergiczny. Odnaleziono nieliczne publikacje dotyczące trwałości betonów poddanych jednocześnie korozji siarczanowej i niszczeniu mrozowemu. Jednak publikacje te skupiają się na betonach z dużą zawartością żużla wielkopieczowego oraz na betonach zbrojonych włóknami stalowymi. Autorzy tych pojedynczych publikacji stwierdzili, że połączone niszczenie przez roztwór siarczanu sodu i mróz miało zarówno pozytywne jak i negatywne skutki. Cykliczne zamrażanie i rozmrażanie spowodowało mikropęknięcia w strukturze betonu, co ułatwiło wnikanie roztworu siarczanowego w głębsze jego warstwy. Pozytywny efekt był taki, że niższa temperatura spowolniła dyfuzję jonów siarczanu, co doprowadziło do spowolnienia korozji siarczanowej. Wyniki tych doświadczeń potwierdzają potrzebę prowadzenia dalszych, szeroko zakrojonych badań mających na celu opracowanie norm i specyfikacji, które będą brać pod uwagę połączone sposoby niszczenia betonów (fizyczne i chemiczne). Powinno to prowadzić do wiarygodnych wniosków na temat trwałości betonów zwykłych i innych zapewniających najlepszą trwałość konstrukcji betonowych w złożonym środowisku korozyjnym. Innym aspektem dotąd nieporuszonym, a badanym w niniejszej rozprawie jest wpływ napowietrzenia na odporność siarczanową.

Głównymi celami rozprawy doktorskiej było określenie wpływu napowietrzenia betonów i zapraw z różnymi cementami na ich odporność siarczanową oraz określenie i analiza wpływu interakcji niszczenia mrozowego i agresji siarczanowej na trwałość napowietrzonych i nienapowietrzonych kompozytów cementowych. Realizując założone cele opisano zmiany zachodzące w mikrostrukturze napowietrzonych zapraw oraz miejsca i sposób wytrącania produktów korozji siarczanowej w napowietrzonych i nienapowietrzonych zaprawach. Wykonano 22 serie zapraw i 5 serii betonów, które poddano czterem sposobom niszczenia. Wykonano badania świeżej mieszanki, badania odkształceń liniowych, zmian masy i wytrzymałości na ściskanie oraz badania mikrostrukturalne. Wyniki badań poddano analizie statystycznej stosując tzw. analizę dewiancji typu II liczoną przy użyciu standardowego odpornego modelu.

Na podstawie analizy wszystkich wyników badań wyciągnięto następujące wnioski: napowietrzenie zapraw i betonów wykonanych z cementów portlandzkich wpływa korzystnie na ich odporność siarczanową. Interakcja wstępnego niszczenia mrozowego i następującej po

nim korozji siarczanowej przyspieszyła niszczenia wszystkich badanych zapraw nienapowietrzonych i części zapraw napowietrzonych. Interakcja wstępnej korozji siarczanowej i następującego po niej niszczenia mrozowego nie spowodowała przyspieszenia niszczenia nienapowietrzonych zapraw. Natomiast większość zapraw napowietrzonych uległa zniszczeniu w tych warunkach szybciej niż w przypadku indywidualnego niszczenia mrozowego. Optymalne napowietrzenie betonów z cementu portlandzkiego poprawia ich trwałość w środowisku siarczanowym oraz podczas interakcji wstępnego niszczenia mrozowego i korozji siarczanowej w stosunku do indywidualnej korozji siarczanowej. Jednak zwiększanie zawartości powietrza należy ograniczyć, ponieważ duża ilość powietrza istotnie pogarsza właściwości betonów zarówno podczas korozji siarczanowej jak i niszczenia mrozowego. Interpretując uzyskane wyniki badań można również zasugerować, że w warunkach naturalnych, w których występuje jednoczesne oddziaływanie korozji siarczanowej i niszczenia mrozowego największą trwałość wykażą optymalnie napowietrzone zaprawy i betony z cementu hutniczego.

Zamykając ten etap doświadczenia można wskazać kierunki przyszłych badań. Mianowicie należy rozszerzyć badania kompozytów cementowych o różne zawartości powietrza, by móc wyznaczyć optymalne napowietrzenie pozwalające na uzyskanie największej trwałości. Można również zbadać trwałość kompozytów cementowych w dwóch środowiskach niszczących zmienianych cyklicznie po założonych (krótszych niż w niniejszej rozprawie) okresach czasu.

Julia Marazewna

Interaction of sulphate expansion and frost deterioration of air entrainment cement composites.

### Summary

The doctoral dissertation entitled "Interaction of sulphate expansion and frost deterioration of air entrained cement composites" includes a comprehensive plan for testing mortars and concretes with various cements. In the dissertation, the problem of interactions of two destructive environments influencing on mortar and concrete in a synergic way was discussed. A few publications on the durability of concretes under sulphate attack and frost deterioration have been found. However, these publications focus on high content of blast furnace slag cement concrete and the steel fibres reinforced concrete. The authors of these individual publications have found that the simultaneous and combined attack of sodium sulphate solution and cyclic freezing had both positive and negative effects. Freezing and thawing caused microcracks in the concrete microstructure, which facilitated penetration of concrete by sulphate solution. The retarding effect was that the lower temperature slowed the diffusion of sulphate ions leading to a slowdown of, sulphate attack. The results of these experiments confirm the need for further, extensive research to develop standards and specifications that will consider the methods of combined physical and chemical concrete deterioration.

Another aspect which is studied in this dissertation is an effect of air entrainment on sulphate resistance.

The main aim of the dissertation was to determine the effect of air entrainment of concrete and mortar with different cements on their sulphate resistance and to determine and analyse the effect of frost and sulphate attack interaction on the durability of air entrainment and non-air entrained cement composites. The microstructure and location of sulphate attack products precipitated in air-entrained and non-air entrained mortars are described. Twenty two series of mortars and 5 series of concrete were made, which were subjected to four methods of destruction. Fresh mixture studies, linear deformation tests, mass changes and compressive strength and microstructural studies were performed. The study results were subjected to statistical analysis using Analysis of Type II Deviation calculated using a standard robust model.

Based on the analysis of all the results of the study, the following conclusions were drawn: air entrainment of mortar and concrete with Portland cement has a favourable effect on their sulphate resistance. Interaction of the initial frost damage and subsequent sulphate attack accelerated the destruction of all non- and air-entrained mortars. Interaction of the initial sulphate attack and subsequent frost deterioration did not accelerate the destruction of non-air entrained mortar. Most of the air-entrained mortars under these conditions were damaged

faster than those under individual frost deterioration. Optimal air entrainment of concrete made from Portland cement improves their durability under sulphate attack and under interactions of pre-frost and sulphate attack with respect to individual sulphate attack. However, the increase in air content should be limited as a large amount of air significantly degrades the properties of concrete both during sulphate attack and frost damage. Interpretation of the obtained results can suggest, that in the natural conditions where the simultaneous sulphate attack and frost deterioration occur the most durable are air-entrained mortar and blast cement concretes.

By closing this stage of the research, one can point to the directions of future research. Namely, the research of cement composites with different air contents should be extended to determine the optimum air entrainment for maximum durability. The durability of cementitious composites should be tested in two destructive environments that are cyclically changed after the time periods set for (shorter than in this study).

Milica Moravcicka