

Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa
Katedra Mechaniki i Mostów
Autor:
Mgr inż. Faustyn Recha

Gliwice, 07.01.2021

Promotor:
Dr hab. inż. Tomasz Krykowski, prof. PŚ
Promotor pomocniczy:
Dr inż. Tomasz Jaśniok

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.:

„Modelowanie degradacji elementów żelbetowych w wyniku korozji zbrojenia”

Konstrukcje budowlane są narażone na działanie czynników środowiskowych, które wpływają negatywnie na ich trwałość i mogą w skrajnych sytuacjach prowadzić nawet do katastrofy obiektu. Szczególnie niebezpieczne dla elementów konstrukcji żelbetowych są zanieczyszczenia spowodowane oddziaływaniem środowiska zawierającego związki i substancje chemiczne takie jak: sole chlorkowe, kwasy czy siarczany bezpośrednio oddziałujące na powierzchnię betonu oraz powodujące stopniowe obniżanie jego właściwości ochronnych. Powstające uszkodzenia na skutek rozwoju procesów korozyjnych zbrojenia są silnie związane z kosztami utrzymania obiektów budowlanych oraz koniecznością wykonywania okresowych remontów w trakcie ich eksploatacji. Aspekty związane z bezpieczeństwem pracy konstrukcji, ekonomią utrzymania oraz estetyką obiektu budowlanego uzasadniają konieczność podejmowania badań z zakresu problematyki trwałości konstrukcji żelbetowych oraz analizy propagacji uszkodzeń na skutek procesów elektrodowych zachodzących w trakcie korozji zbrojenia. W pracy skupiono się wyłącznie na degradacji otuliny betonowej zbrojenia wskutek ciągłego przyrostu produktów korozji.

Praca liczy 119 stron i składa się z sześciu rozdziałów poprzedzonych spisem ważniejszych symboli, umieszczonego na końcu dodatku precyzującego pewne zagadnienia natury formalnej oraz spisu literatury.

Pierwszy rozdział pracy stanowi wprowadzenie do tematyki, opisuje tło pracy oraz precyzuje cele i zakres pracy.

Rozdział drugi skupia się na omówieniu uwarunkowania i problematyce korozji stali zbrojeniowej w betonie. Przedstawione zostały mechanizmy inicjacji procesów korozyjnych spowodowanych oddziaływaniem agresywnego środowiska zewnętrznego. Omówione zostały zagadnienia polaryzacji elektrod, nadpotencjałów, stanu pasywnego oraz depasywacji stali zbrojeniowej. W ostatnim punkcie odniesiono się do kluczowego dla opisu zagadnień badawczych rozważanych w tej pracy problemu przyspieszania procesu korozji zbrojenia prądem stałym.

Rozdział trzeci dotyczy zagadnień termomechaniki ośrodków wieloskładnikowych oraz formułowania równań pozwalających na modelowanie procesu korozji zbrojenia. W tej części pracy zostały sformułowane ogólne równanie pozwalające na opis zagadnień niszczenia otulin w teście przyspieszonej korozji, jak również sformułowano modele materiałów zastosowane w analizie komputerowej dla betonu, stali oraz modelu pozwalającego na ujęcie zagadnienia kontaktu stal-beton. W rozdziale trzecim sformułowany został również tensor prędkości odkształceń objętościowych, który jest zależny od natężenia prądu korozyjnego, fazy procesu korozji zbrojenia, efektywnej wartości elektrochemicznego równoważnika stali oraz parametru λ ujmującego efekty wynoszenia produktów korozji do roztworu (wszystkie efekty związane z zaburzeniami procesu korozji zbrojenia).

W rozdziale czwartym przedstawiono badania eksperymentalne i ich wyniki. W rozdziale skupiono się między innymi na opisie sposobu przeprowadzenia badań, wyznaczeniu obliczeniowego elektrochemicznego równoważnika stali oraz czasu krytycznego t_{cr} z zastosowaniem metody, której idea została sformułowana w rozdziale 2, a która stanowi jeden z elementów oryginalnych przedstawionych w pracy. W tym rozdziale zostały przedstawione badania eksperymentalne i ich wyniki. Rozdział składa się z dwóch części. Pierwsza część zawiera opis sposobu przygotowania próbek żelbetowych do badań wraz z opisem uzyskanych parametrów materiałowych betonu oraz opisem stanowiska do badań procesu przyspieszonej korozji zbrojenia w betonie. W części drugiej skupiono się na wyznaczeniu efektywnego elektrochemicznego równoważnika stali, oceny ubytków masy pręta, jak również oceny efektywności oddziaływania produktów korozji na beton otuliny.

Rozdział piąty przedstawia wyniki obliczeń uzyskane z zastosowaniem modelu komputerowego przedstawionego w rozdziałach 2 i 3. W celu weryfikacji poprawności modelu w środowisku Matlab został napisany program komputerowy, pozwalający na określenie tensora korozyjnych odkształceń objętościowych ε^V , który jest rezultatem procesu korozji zbrojenia. W celu oceny czasu propagacji uszkodzeń zbudowano w programie GID-ATENA model MES mechanicznego procesu propagacji uszkodzeń w elementach testowych. Wyniki

obliczeń symulacji komputerowych porównano z rezultatami uzyskanymi z badań doświadczalnych próbek poddanych testom przyspieszonej korozji zbrojenia. Dodatkowo w celu oceny wrażliwości modelu na możliwą rozbieżność parametrów materiałowych wykonano symulacje komputerowe z zastosowaniem metody Monte Carlo zakładając, że parametry materiałowe są zmiennymi losowymi o rozkładzie jednostajnym (przedziałami liczbowymi). Wynikiem przeprowadzonych badań były graniczne czasy uszkodzenia otulin betonowych.

Szósta i ostatnia część pracy stanowi podsumowanie całości pracy. W tej części pracy sformułowane zostały wnioski oraz propozycje dalszych tematów badań. Dodatkowo w kolejnych załącznikach uszczegółowione zostały pewne pojęcia i symbole, które były stosowane w opisie teoretycznym pracy.

Do oryginalnych elementów pracy należy zaliczyć:

- Rozwinięcie teoretycznego opisu problemów korozji zbrojenia pozwalającego na analizowanie procesów tzw. przyspieszonej korozji zbrojenia poprzez wprowadzenie prędkości zmian tensora odkształceń objętościowych, którego współrzędne zmieniają się zależnie od fazy procesu korozji zbrojenia, efektywnego równoważnika elektrochemicznego stali zbrojeniowej oraz parametru λ pozwalającego na uwzględnienie wymywania produktów korozji zbrojenia. Efekt stopniowego wzrostu oddziaływania produktów korozji na beton otuliny został uwzględniany poprzez zastosowanie liniowej funkcji intensywności oddziaływania produktów korozji zbrojenia zależnej od czasu wypełnienia przestrzeni porowych t_0 oraz czasu krytycznego procesu korozji zbrojenia t_{cr} (analityczna liniowa postać funkcji została przyjęta na podstawie literatury).
- Określenie sposobu doświadczalnego wyznaczania wielkości czasu krytycznego t_{cr} z zastosowaniem prostych regresji liniowej oraz techniki optycznego pomiaru deformacji próbki w wyniku korozji zbrojenia.
- Wykonanie doświadczalnej weryfikacji modelu komputerowego i parametrów modelu z zastosowaniem między innymi metod pomiaru optycznego.