

Doktorant: **mgr inż. Aleksandra Krampikowska**
Promotor: **dr hab. inż. Grzegorz Świt, prof. PŚk**
Promotor pomocniczy: **dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz**

**ZASTOSOWANIE METODY EMISJI AKUSTYCZNEJ DO SZACOWANIA SZEROKOŚCI RYS
W ELEMENTACH BETONOWYCH**

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące problemu trwałości i oceny stanu technicznego elementów betonowych. Opisano podstawowe zalecenia zawarte w różnych normatywach i przepisach prawnych związane z zapewnieniem bezpieczeństwa konstrukcji z uwzględnieniem trwałości. Zaprezentowano wyniki, wnioski i zalecenia wybranych naukowców z różnych ośrodków badawczych oraz stowarzyszeń zawodowych z ich badań nad oceną wpływu szerokości rozwarcia rys na aspekt trwałości elementów betonowych. Podkreślono potrzebę wykorzystywania metod, które by wykrywały i monitorowały proces degradacji elementów betonowych w całej objętości a nie tylko w wybranych subiektywnie miejscach. Wskazano metodę emisji akustycznej, bazującą na analizie aktywnych procesów destrukcyjnych, jako spełniającą te warunki.

Zaprezentowano i omówiono podział metod nieniszczących stosowanych w budownictwie do oceny trwałości i stanu technicznego elementów betonowych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na metody akustyczne. Podano podstawy teoretyczne każdej z tych metod, zaprezentowano najczęściej stosowaną aparaturę badawczą wraz z oprzyrządowaniem. Opisano podstawowe obszary zastosowania tych metod oraz ich zalety i wady.

W pracy zamieszczono także przegląd literaturowy najczęściej stosowanych kryteriów oceny trwałości elementów betonowych w metodzie emisji akustycznej. Przedstawiono w skrócie rys historyczny rozwoju kryteriów bazujących na pomiarach sygnałów emisji akustycznej. Omówiono kryterium efektu Kaisera i współczynnika Felicity, kryteria Ohtsu bazujące na dwóch parametrach: amplitudzie i czasie trwania sygnałów EA skorelowanych z uszkodzeniami elementów oraz amplitudy, intensywności sygnałów EA w czasie i współczynnika obciążenia skorelowanych z uszkodzeniami i szerokością rys. Podano podstawowe zalety i wady tych kryteriów. Opisano kryteria amerykańskie opracowane na Uniwersytecie w Austin, które zmodyfikował Ledeczki. Zaprezentowano sposób kwantyfikacji

A. Kramp

uszkodzeń zaprezentowany przez Nair i Grosse, którzy wprowadzili dwa nowe parametry: wskaźnik historii uszkodzeń i współczynnik zagrożenia. Podano ograniczenia w stosowaniu tego kryterium. W dalszej części omówiono kryteria oceny intensywności procesów destrukcyjnych poprzez analizę wartości b . Podano założenia metody, podstawowe zależności oraz wady i zalety w odniesieniu do innych kryteriów. Zaprezentowano także kryteria oceny elementów konstrukcyjnych bazujące na metodzie RPD i IADP.

Podano podstawowe wiadomości na temat tworzenia bazy sygnałów wzorcowych, sposób budowy bazy (niehierarchiczne metody grupowania), opisano charakterystyczne mechanizmy destrukcyjne i przypisane im symbole graficzne oraz podano średnie wartości deskryptorów wykorzystanych do budowy bazy. Omówiono metody lokalizacji stosowane w procesorach emisji akustycznej, podano podstawy teoretyczne oraz wady i zalety poszczególnych rozwiązań.

Zaprezentowano przykład analizy procesów destrukcyjnych z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych dla belki poddanej procesowi zniszczenia.

Przedstawiono wykonane badania własne, omówiono charakterystykę badanych elementów oraz budowę nowej bazy sygnałów wzorcowych poprzez badania uzupełniające na elementach sześciennych, prostopadłościennych, belkach żelbetonowych oraz strunobetonowych, poddanych ściskaniu, ścinaniu, zginaniu oraz działaniu podwyższonej temperatury. Przedstawiono budowę zmodyfikowanej bazy danych sygnałów wzorcowych IADP-BIS z zastosowaniem różnych metod grupowania sygnałów emisji akustycznej: hierarchicznych, niehierarchicznych (iteracyjnych, najbliższego sąsiada, rozmytych) i sieci neuronowych. Pokazano wpływ liczby deskryptorów EA w nowotworzonej bazie danych sygnałów wzorcowych na dokładność identyfikacji procesów destrukcyjnych, dla bazy składającej się z 13, 11, 9, 7 i 5 parametrów. Dokonano oceny intensywności procesów destrukcyjnych i zmiany szerokości rozwarcia rys poprzez analizę występowania poszczególnych klas sygnałów EA, na przykładzie czterech belek, z różnym typem zbrojenia i rodzajem obciążenia. Na podstawie tych badań opracowano i podano kryterium oceny trwałości elementów betonowych bazujące na analizie kodów zagrożenia, nr klasy sygnałów EA oraz szerokości rys im przypisanych.

Do najważniejszych osiągnięć można zaliczyć:

1. Skorelowanie szerokości rys z odpowiednimi klasami procesów destrukcyjnych w metodzie emisji akustycznej.
2. Opracowanie kryterium oceny stanu technicznego elementów betonowych bazujące na analizie kodów zagrożenia, nr klasy sygnałów EA oraz szerokości rozwarcia rys im przypisanych.
3. Wykazanie na bazie analizy statystycznej z wykorzystaniem kryteriów *Wilksa*, R_i i *Tou* możliwości budowy poprawnie działającej bazy sygnałów wzorcowych opartych na 7 deskryptorach w metodzie emisji akustycznej.

4. Zastosowanie i porównanie metod hierarchicznych, niehierarchicznych i sieci neuronowych do budowy nowej bazy sygnałów wzorcowych dla elementów betonowych z wykorzystaniem metody emisji akustycznej.

SUMMARY

This dissertation focuses on the issues relating to the assessment of durability and structural condition of concrete members. It covers basic guidelines contained in a variety of standards and regulations concerning the provision of structural integrity within the durability context. It also summarises the results, recommendations and conclusions related to the relationship between crack widths and concrete element durability, formulated by accredited researchers. The need to use the methods that comprehensively detect and monitor the degradation of concrete element in the whole of its volume and not only at subjectively selected sites is strongly emphasized in the work. This requirement is satisfied by acoustic emission methods, based on the analysis of active destructive processes.

The classification of non-destructive methods employed in construction to test concrete structures for damage assessment are discussed, especially with regards to acoustic methods. Theoretical grounds for each of those methods are presented along with the devices and instruments most commonly used, major areas of application, advantages and shortcomings.

The literature review section summarizes durability assessment criteria most commonly employed in the acoustic emission method. A brief history of acoustic emission signal measurements outlines the development of the Kaiser effect, the Felicity effect and the Ohtsu criteria based on two acoustic signal descriptors: the amplitude and AE signal duration time correlated to damage and the amplitude, signal intensity in time and load ratio correlated to damage and crack width. Fundamental merits and shortcomings of these criteria are described. American criteria developed at the university in Austin and modified by Ledeczi are discussed alongside the quantitative evaluation method proposed by Nair and Grosse, who introduced two new parameters: the historic index and severity. The *b*-value based evaluation criteria for the intensity of destructive processes are discussed further in this work. The assumptions, essential relationships, advantages and drawbacks of the method are compared with other criteria, including those based on RPD and IADP methods.

Basic information is provided about generating reference database for event classification, non-hierarchical grouping methods used, characteristic destructive mechanisms and their graphic symbols and averaged values of the descriptors used to build the database. Methods for defect localization, their theoretical grounds, as well as merits and shortcomings of particular solutions are discussed.



Analysis of the destructive processes, conducted with the use of the reference signal database, is illustrated with an example of a beam subjected to loading until failure.

The in-house research is presented along with the characteristics of the elements under test and the structure of the new reference signal database evaluated through supplementary testing on cube- and rectangular prisms-shaped elements, reinforced and prestressed concrete beams in compression, shear, bending and under elevated temperatures. The structure of the modified reference signal database IADP-BIS is described showing various methods of acoustic signal grouping: hierarchical, non-hierarchical (iterative, nearest neighbour, fuzzy) and neural networks. The influence of the number of AE descriptors in the newly generated reference signal database on the accuracy of destructive process identification is shown for the database consisting of 13, 11, 9, 7 and 5 parameters. The intensity of the destructive process and crack width changes are evaluated in an analysis of the occurrence of particular AE signal classes in four beams with different reinforcement and load types. This research allowed developing and presenting the criterion for concrete member durability assessment based on the analysis of risk codes, the AE signal number and the crack widths assigned.

The major contribution of this project includes:

1. The correlation of crack widths to corresponding classes of destructive processes in the acoustic emission method.
2. The development of assessment criterion for concrete member durability, based on the analysis of risk codes, the number of AE signal class and the crack widths assigned to them.
3. The evidence, based on the results from the statistical analysis with *Wilk's*, R_{ij} and *Tou* criteria, that it is possible to generate an effective reference signal database for event classification based on seven descriptors in the acoustic emission method.
4. The comparison and application of hierarchical and non-hierarchical methods and neural networks to generate a new reference signal database for concrete members, using acoustic emission technology.

Aleksandra Krumpikowska