

Streszczenie

Koszty kontroli jakości w ocenie betonu

Obszarem wiedzy, który jest słabiej rozpoznany, a w którym zauważono lukę teoretyczną, metodologiczną i badawczą, to koszty kontroli jakości w ocenie betonu.

Decyzja dotycząca oceny jakości betonu towarowego oraz kosztów z tym związanych należy do zbioru decyzji strategicznych, a konsekwencje takich decyzji mogą stanowić nie tylko o uzyskaniu lub utracie przewagi rynkowej danej wytwórni betonu towarowego, ale także mogą być gwarancją jakości, niezawodności oraz bezpieczeństwa realizowanych konstrukcji budowlanych. Zaniedbaniem jest utożsamianie kosztów jakości tylko z planem odbiorczym oraz brak świadomości występowania innych kosztów jakości niż koszt kontroli zgodności. Do kontroli jakości betonu, norma PN-EN 206 zaleca dwa rodzaje kart: Shewharta oraz CUSUM. Według autorki, w pierwszej fazie, mającej na celu ustabilizowanie procesu produkcyjnego, wykorzystywane powinny być klasyczne karty kontrolne Shewharta, a następnie, po wyeliminowaniu głównych czynników oddziałujących negatywnie na proces, należy stosować kontrolne karty stabilizujące. Ta faza to etap polegający na systematycznym eliminowaniu zmienności, dlatego w pracy zaproponowano autorski model doboru karty kontrolnej.

Ponieważ analiza kosztów jakości w ocenie jakości betonu towarowego powinna być obciążona jak najmniejszym ryzykiem, a poniesione koszty jakości powinny być ponoszone w warunkach minimalnego ryzyka. Dlatego w kolejnym kroku analiz zastosowano metodologię *FMECA* - Failure Mode and Effect Critical Analysis, metodę efektywnej i krytycznej identyfikacji czynników, w ramach zdefiniowanych czterech kategorii kosztów do zarządzania ryzykiem, w ocenie jakości betonu towarowego. Przeprowadzono również analizę czynników wpływających na koszty kontroli jakości w ocenie betonu towarowego. Zastosowano podejście do jakościowej analizy zagrożeń wewnętrznych i zewnętrznych tj. czynników determinujących koszty kontroli jakości w wytwórniach betonu towarowego to metoda *DeMatel*. Na podstawie zebranych informacji opracowano katalog czynników generujących największe koszty. Do określenia ich priorytetyzacji zastosowano subiektywne oceny i czterostopniową skalę Likerta. Przeprowadzone obliczenia oraz opracowany graf bezpośredniego wpływu wskazuje, że badania wyrobu, nienaprawialne niezgodności, kompetentny personel i rozbiórka

konstrukcji to czynniki determinujące wartość całkowitych kosztów w procesie oceny jakości betonu towarowego.

W pracy zaproponowano także autorską propozycję wykorzystania metody analizy niezawodności konstrukcji do projektowania mieszanki betonowej. Wprowadzone podejście bazuje na metodzie optymalizacyjnej oraz wykorzystaniu niezawodności i umożliwia określenie wymaganej wytrzymałości na ściskanie przy założonym współczynniku zmienności charakteryzującym poziom jakości rozważanej wytwórni betonu towarowego i minimalnym koszcie całkowitym kontroli jakości betonu.

Kolejnym etapem badań były autorskie analizy wyników wytrzymałości pozyskanych z czterech wytwórni betonu towarowego, dla których określono ilościowo zmienność wytrzymałości na ściskanie na różnych poziomach hierarchicznych (producent/wytwórnia, receptura, partia). Do analiz wykorzystano twierdzenie Bayes'a. Prezentowane wyniki analiz można łatwo łączyć z dodatkowymi danymi, m.in. z rynku europejskiego lub z innych dostaw czy partii betonu.

Słowa kluczowe: *wytrzymałość na ściskanie, ocena betonu, koszty kontroli jakości, koszty jakości, niezawodność, projektowanie mieszanki betonowej, twierdzenie Bayes'a, hierarchiczny model zmienności*

Summary

Costs of quality control in concrete evaluation

An area of knowledge that is less well recognized, and in which a theoretical, methodological and research gap has been noted, is the cost of quality control in concrete evaluation.

The decision to assess the quality of ready-mixed concrete and the associated costs is one of a set of strategic decisions, and the consequences of such decisions can determine not only the gain or loss of market advantage for a given ready-mixed concrete plant, but can also be a guarantee of the quality, reliability and safety of building structures under construction. It is negligent to equate the cost of quality with the acceptance plan only, and to be unaware of the existence of quality costs other than the cost of evaluation of conformity. To control the quality of concrete, the PN-EN 206 standard recommends two types of control charts: Shewhart and CUSUM. According to the author, in the first phase, aimed at stabilizing the production process, classical Shewhart control charts should be used, and then, after the elimination of the main factors negatively affecting the process, stabilizing control charts should be used. This phase is the stage involving the systematic elimination of variability, so the paper proposes an author's model for control charts selection.

The quality cost analysis in the quality assessment of ready-mix concrete should have as little risk as possible, and the quality costs incurred should be incurred under conditions of minimal risk. Therefore, in the next step of the analysis, the FMECA methodology - Failure Mode and Effect Critical Analysis, a method for effective and critical identification of factors, within the defined four cost categories for risk management, was applied in the quality assessment of ready-mix concrete. An analysis of factors affecting quality control costs in the evaluation of ready-mix concrete was also carried out. The approach used for qualitative analysis of internal and external risks, i.e. factors determining the cost of quality control in ready-mix concrete plants - the DeMatel method. Based on the collected information, a catalog of factors generating the highest costs was developed. Subjective ratings and a four-point Likert scale were used to prioritize them. The calculations carried out and the direct impact graph developed indicate that

product testing, unrepairable nonconformities, competent personnel and demolition of structures are the factors determining the value of total costs in the process of assessing the quality of ready-mix concrete.

The paper also includes the author's proposal to use the method of structural reliability analysis for the design of ready-mix concrete. The introduced approach is based on the optimization method and the use of reliability and makes it possible to determine the required compressive strength with the assumed coefficient of variation characterizing the quality level of the considered ready-mix concrete plant and the minimum total cost of concrete quality control.

The next stage of the research was the author's analyses of compressive strength results obtained from four ready-mix concrete plants, for which the variability of compressive strength at different hierarchical levels (producer/manufacturer, formulation, batch) was quantified. Bayes' theorem was used for the analyses. The presented analytical results can be easily combined with additional data, including data from other concrete supplies or batches or data from the European market.

Keywords: *compressive strength, concrete evaluation, quality control costs, quality costs, reliability, concrete mix design, Bayes' theorem, hierarchical variational model.*