

mgr inż. Krzysztof Girus

Streszczenie rozprawy doktorskiej:

Wielokryterialna diagnostyka systemów naprawczych wtórnego mocowania warstw ściennych w technologii wielkopłytywowej.

promotor: prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak

Technologia betonowego budownictwa prefabrykowanego, wielkopłytywowego ukształtowana w powojennych realiach Europy (choć nie tylko), podległa znacznej ewolucji na przestrzeni kilkudziesięciu lat swojej prosperity. Jednym z istotniejszych rozwiązań modernizacyjnych dotyczących większości systemów było wprowadzenie trójwarstwowych ścian zewnętrznych. Poszczególne warstwy elementu miały za zadanie przenosić obciążenia wynikające z pracy konstrukcji, izolować termicznie oraz trwale chronić obiekt i pozostałe warstwy ściany przed wpływem warunków atmosferycznych. Ściana tego typu jest odporna na zmiany temperatury, zawilgocenie (poprzez odprowadzanie wilgoci za zewnątrz) i nie wymaga dalszych zabiegów na placu budowy. To właśnie sandwichowe, warstwowe elementy ścienne są do dzisiaj wykorzystywane w realizowanych budynkach wielkopłytywych.

Na przestrzeni lat pojawiło się wiele systemowych i indywidualnych rozwiązań trójwarstwowych elementów, jednak założenia konstrukcyjne były niezmiennie: na części nośnej (lub też samonośnej) mocowanej do budynku zawieszano punktowo - z wykorzystaniem stalowych wieszaków i szpilek - warstwę fakturową. Pomiędzy nimi znajdowała się izolacja termiczna. To właśnie system stalowych łączników oraz trwałość warstwy licowej okazują się decydujące dla bezpieczeństwa użytkowania wielu zrealizowanych obiektów.

Popularne w ostatnich latach systemy wtórnego mocowania warstw z wykorzystaniem kotew wklejanych, stosowane są w wielu przypadkach dość bezkrytycznie, a ich dobór (najczęściej ograniczony do weryfikacji przypadających obciążeń) nie jest poprzedzony należyłą diagnostyką stanu technicznego elementów ściennych.

Przedmiotem niniejszej pracy stała się zatem w pierwszej kolejności możliwie pełna diagnostyka trójwarstwowych elementów ściennych, wraz z ustaleniem metodologii badań do prowadzenia oceny systemowej. Diagnostyka oparta została w dużej mierze na często unikanych badaniach niszczących – ze względu na najlepsze uzyskane rezultaty.

Wyniki badań własnych, poddane próbie statystycznej oraz przykłady literaturowe posłużyły do sformułowania autorskiej klasyfikacji istotności uszkodzeń i wad, czyli „wagi defektu”. Oparto ją o zamianę zmiennych jakościowych, niemierzalnych, na zmienne quasi-ilościowe określające częstotliwość występowania (w skali 1-3) i potencjalne zagrożenie dalszą degradacją (w skali 1-4). Suma wartości nadanych cech quasi-ilościowych określa wprowadzoną tzw. „wagę defektu”. Na tej podstawie ustalono listę 32 defektów (częściowo powtarzalnych), które mają istotny wpływ na trwałość elementu, z czego zaproponowane metody badawcze uwzględniają analizę 29 spośród nich.

Celem zarówno pracy jak i przeprowadzonej diagnostyki było wykazanie, że stan techniczny oraz wady warstwy fakturowej i warstwy izolacyjnej mają istotne znaczenie dla doboru systemu wtórnego mocowania opartego na kotwach wklejanych. Stąd w piątym rozdziale opisano istotne parametry oraz wymagania stawiane wykorzystywanym łącznikom. Wykonano obliczenia szacujące nośność, a docelowo przeprowadzono na wybranych rozwiązaniach badania wytrzymałościowe z oceną wzajemnych przemieszczeń warstw. W ramach badań zastosowano zróżnicowanie: kotew (3 typy), układu kotew (pojedyncze i podwójne) oraz betonu warstwy fakturowej (4 klasy: C16/20, C12/15, LC16/18, LC12/13).

Pomierzone wyniki i analiza destrukcji posłużyły do przeprowadzenia kontrolnej weryfikacji obliczeniowej oraz określenia kryteriów decyzyjnych doboru mocowania. W następnym kroku rozwiązano wielokryterialne zadanie optymalizacyjne, w którym uwzględniono kryteria ugięcia kotwy δ oraz jej średnicy (w zakresie 12-50 mm) – kryteria te opisano funkcjami celu. Wprowadzono ograniczenia dla zadania w postaci warunku wytrzymałościowego $F_{Rdu} = A_{c0} \cdot \sigma_{Rd,max} \geq F_{c,Sd}$ oraz warunku sztywnościowego z założeniem $\delta_{max} \leq \delta_{dop} = 3 \text{ mm}$. Parametrami w zadaniu są m.in. wyniki przeprowadzonej diagnostyki, tj.: pomierzony przedział wytrzymałości na ściskanie f_{ck} , grubości warstwy fakturowej h_f oraz warstwy izolacyjnej h_i . Ostatecznie wyznaczono przedziały rozwiązań dopuszczalnych oraz określono obszar rozwiązań niedopuszczalnych - stanowiący potencjalne ryzyko nieświadomego przekroczenia nośności betonu, przy jednoczesnym spełnieniu pozostałych warunków. Wykazano, że do takiej sytuacji może dojść w przypadku błędnego ustalenia klasy betonu oraz grubości warstw. Weryfikacji pola powierzchni docisku A_{c0} dokonano z wykorzystaniem uproszczonego modelowania w metodzie elementów skończonych.

Ostatnim elementem pracy stało się opracowanie algorytmu diagnostyki elementów trójwarstwowych w celu doboru wtórnego mocowania warstw. W ramach schematu postępowania uzgodniono wartości graniczne, związane z oceną techniczną elementu, dla których wzmocnienie jest dyskusyjne i należy rozważyć demontaż warstwy fakturowej. Przejście pełnej ścieżki diagnostyki, ze spełnieniem wszystkich pośrednich założeń umożliwia natomiast podjęcie decyzji o braku potrzeby wykonania wzmocnień.

Co istotne, wyniki badań własnych potwierdziły w wielu przypadkach (przebadano łącznie kilkanaście budynków i około 2000 elementów ściennych) konieczność zastosowania wtórnego mocowania, a tym samym brak odpowiedniej stateczności ścian, co może powodować zagrożenie dla ludzi i mienia.

Abstract

Multicriterial diagnostics of repair systems for a secondary fastening of wall elements' layers in a large-panel technology.

The technology of concrete pre-fabricated, large-panel construction, shaped in the post-war realities of Europe (but not limited to), has undergone a significant evolution over several decades of its prosperity. One of the most important modernisation solutions for the majority of systems was the introduction of three-layer external walls. The individual layers of the element were used to transfer the loads, resulting from the structure's work, thermally insulating and permanently protecting the building, as well as other layers of the wall, against the influence of weather conditions. A wall of this type is resistant to temperature changes and moisture (through the removal of moisture from the outside) and does not require any further treatments at the construction site. The sandwiched, layered wall elements are used in large-panel buildings today.

Over the years, many systemic and individual solutions for three-layer elements have appeared. Still, the construction assumptions have remained unchanged: on the load-bearing (or self-supporting) part attached to the building, the textured layer was freely hung with the use of steel hangers and pins, with thermal insulation between them. The system of steel fasteners and the durability of the facing layer prove to be decisive for the safety of the use of many completed facilities.

The systems of the secondary fixing of layers, with the use of chemical anchors, popular in recent years, are used in many cases quite indiscriminately, and their selection (usually limited to the verification of the loads involved) is not preceded by proper diagnostics of the technical condition of the wall elements.

Therefore, the subject of this study was, in the first place, the most complete possible diagnostics of three-layer wall elements, together with the determination of the research methodology for the system assessment. The diagnostics was based largely on the often avoided destructive tests as they provided the best results.

The results of the research conducted as part of this study, which were subjected to a statistical test, and literature examples were used to formulate the author's classification of the significance of damage and defects, termed the "defect severity". This classification was based on the replacement of qualitative, non-measurable variables into quasi-quantitative variables determining the frequency of occurrence (on a scale of 1-3) and potential risk of further degradation (on a scale of 1-4). The sum of values of the assigned quasi-quantitative characteristics determines the introduced so-called "defect severity". On this basis, a list of 32 defects (partially repetitive) was established that has a significant impact on the durability of the element, of which the proposed research methods take into account the analysis of 29 of them.

The aim of both the work and the diagnostics carried out was to demonstrate that the technical condition and defects of the texture layer and the insulation layer are of significant importance for the selection of the secondary fixing system based on chemical anchors. Hence, the fifth chapter examines the important parameters and requirements for the fasteners used. Carrying capacity calculations were made, and ultimately, strength tests were carried out on selected solutions with the assessment of mutual displacements of layers. As part of the research, the differentiation used was: anchors

(3 types), an anchor layout (single and double) and concrete of the textured layer (4 classes: C16/20, C12/15, LC16/18, LC12/13).

The measured results and the destruction analysis were employed to implement the control verification (computational) and to define the decision criteria for the selection of the fastening. In the following step, the multi-criteria optimisation task was solved, in which the criteria for the deflection of the anchor δ and its diameter (in the range of 12-50 mm) were taken into account - these criteria were described with the objective functions. Restrictions were introduced for the task in the form of the strength condition $F_{Rdu} = A_{c0} \cdot \sigma_{Rd,max} \geq F_{c,sa}$ and the stiffness condition with the assumption $\delta_{max} \leq \delta_{dop} = 3 \text{ mm}$. The parameters in the task are, among others, the results of the diagnostics carried out, i.e.: the measured compressive strength range, the thickness of the texture layer and the insulation layer. Finally, the ranges of acceptable solutions were determined and the area of unacceptable solutions was determined - representing a potential risk of unknowingly exceeding the load capacity of concrete, while meeting other conditions. It has been demonstrated that such a situation may occur in the case of incorrect determination of the concrete class and layer thickness. The pressure area was verified with the use of simplified modelling in the finite element method.

The last element of the work was the development of an algorithm for the diagnosis of three-layer elements in order to select the secondary fastening of the layers. As part of the flowchart, limit values related to the technical assessment of the element have been agreed, for which the anchoring is questionable and the dismantling of the texture layer should be considered. On the other hand, completing the full diagnostic path with the fulfilment of all intermediate assumptions makes it possible to conclude the decision about no need to perform reinforcements.

Importantly, the results of the undertaken research confirmed in many cases (a total of several buildings and about 2,000 wall elements were tested) the necessity to use secondary fastening, and thus the lack of adequate stability of the walls, which may pose a threat to people and property.