

Dariusz Tomaszewicz, PhD, Eng.¹⁾
ORCID: 0000-0002-1359-902X

The work of single bonded anchors into the three layer walls of large slab panel buildings

Praca pojedynczych kotew wklejanych w ścianach trójwarstwowych budynków wielkopłytowych

DOI: 10.15199/33.2024.12.17

Abstract. This paper presents the issue of the load capacity of single bonded anchors depending on the method of attachment. They are used as elements fastening the textured layer with the construction layer. The focus was on the operation of individual threaded bonded anchors depending on the method of their installation. These methods differ in the mounting of threaded anchors using a washer and nut. The type of connection used affects the interaction load capacity of the anchors, i.e. the additional load on the pullout capacity of a single anchor (longitudinal force P) by the dead weight of the texture layer (transverse force V).

Keywords: three-layer wall; construction layer; textured layer; single bonded anchors; load capacity interaction.

Streszczenie. W artykule podjęto problematykę nośności pojedynczych zakotwień wklejanych w zależności od sposobu zamocowania. Mają one zastosowanie jako elementy łączące warstwę fakturową z warstwą konstrukcyjną. Skupiono się na pracy pojedynczych wklejanych kotew gwintowanych w zależności od sposobu ich osadzania. Sposoby te różnią się mocowaniem. W pierwszym wariantcie kotwy są wklejane bez zastosowania podkładki i nakrętki, dokręcane do warstwy fakturowej, a w drugim montaż kotwy jest zakończony podkładką i nakrętką dokręcaną do powierzchni warstwy fakturowej. Rodzaj zastosowanego połączenia ma wpływ na interakcyjną nośność kotew, czyli dodatkowe obciążenie pojedynczej kotwy na wrywanie (siła podłużna P) ciężarem własnym warstwy fakturowej (siła poprzeczna V).

Słowa kluczowe: ściana trójwarstwowa; warstwa konstrukcyjna; warstwa fakturowa; pojedyncze zakotwienia wklejane; interakcyjna nośność kotew.

The use of bonded anchors reinforcing the façade textured layer is the first step before performing thermal modernization works [1 ÷ 4]. The materials used in these works should be environmentally friendly while maintaining ecological safety, which is even the subject of analysis in countries neighbouring Poland and outside the European Union [5].

With the passage of time, large slab panel buildings requiring thermal insulation are increasing [6]. An important aspect in terms of the durability of connections and at the same time the technical condition of the façade textured layer is the appropriate selection of the diameter of the anchors [7], their surface (smooth, threaded, ribbed) [8] and the most durable possible consistency between the textured layer and the structural layer in external three-layer walls in large slab panel buildings. This is related to the correct method of injecting epoxy resin (threaded rods should be screwed into the resin mass equipped with a mesh sleeve – the anchor should not be pressed). At the same time, the method of fixing such an anchor is important, i.e. securing only in the structural layer or in both the structural and textured layer.

Analysis of the existing state

The walls of large slab panel buildings made of concrete with an average strength of 15MPa. Its equivalent, according to the

Zastosowanie kotew wklejanych wzmacniających elewacyjną warstwę fakturową jest pierwszym krokiem przed wykonaniem prac termomodernizacyjnych [1 ÷ 4]. Wykorzystane w tych pracach materiały powinny być przyjazne środowisku z zachowaniem bezpieczeństwa ekologicznego, co jest nawet przedmiotem analiz w krajach sąsiadujących z Polską i będących poza Unią Europejską [5].

Wraz z upływem czasu zwiększają się wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej budynków wielkopłytowych [6]. Duży wpływ na trwałość połączeń i stan techniczny elewacyjnej warstwy fakturowej ma odpowiedni dobór średnicy kotew [7], ich powierzchnia (gładka, gwintowana, żebrowana) [8] oraz możliwie jak najtrwalsze zapewnienie spójności między warstwą fakturową i warstwą konstrukcyjną w zewnętrznych ścianach trójwarstwowych budynków wielkopłytowych. Wiąże się to z prawidłowym sposobem iniekcji żywicy epoksydowej (pręty gwintowane należy wkładać w masę żywiczną wyposażoną w tulejkę siatkową – nie należy kotwy wciskać). Ponadto duże znaczenie ma sposób zamocowania takiej kotwy, czyli utwierdzenie tylko w warstwie konstrukcyjnej lub w warstwie konstrukcyjnej i fakturowej.

Analiza stanu istniejącego

Ściany budynków wielkopłytowych wykonywano z betonu o średniej wytrzymałości 15 MPa. Jego odpowiednikiem, zgodnie z normą PN-88/B-06250, był beton klasy B17,5.

¹⁾ International Academy of Applied Sciences in Lomza, Agricultural and Engineering and Technical Sciences; dt542@lomza.mans.edu.pl

PN-88/B-06250 standard, was B17.5 class concrete. Currently, it is class B15 concrete corresponding to the C12/15 concrete class according to PN-B-03264:2002 and PN-EN 206-1:2003 standards. In the analysed wall slabs, hangers were made with a bar diameter of \varnothing 12 mm made of St0 steel, anchored with rods \varnothing 8 mm made of St0S steel. The wall panels of the OWT system were made of B20 (C16/20) concrete.

Before the commencement of the reinforcement of the walls of three-layer large slab panel buildings as well as subsequent repair and modernization works, a diagnostic analysis should be carried out, which should take into account three aspects: technical, energy and social [9]. Due to the corrosion processes of steel, there may be connections between the textured layer and the structural layer, i.e. the displacement of wall prefabricated elements relative to each other due to the poor technical condition of hangers and anchor rods in the external walls of three-layer large slab panel buildings.

Threaded anchors bonded perpendicularly to the surface of concrete elements were analysed. A diagram of the variants of fixing a single bonded anchor is shown in Figure 1. The problem of anchor adhesion to the concrete substrate arose due to the hazardous durability of the fastening of the façade textured layer in large slab panel construction systems [3]. When commencing the examination of joints in three-layer wall slabs, the guidelines and instructions of the Building Research Institute should be taken into account [10, 11].

The load-bearing capacity of anchors is mainly influenced by the method of mounting (which determines the depth of anchoring) and the nature of the work, i. e. whether the anchor is bonded or mechanical. The article focuses on the work of bonded anchors due to the lack of additional stresses in concrete, the possibility of mounting close to the edge of concrete or the possibility of using both cracked and non-cracked concrete. The direct effect of anchor failure is caused by: tensile strength (breaking of the anchor pin – in case of high loads), shear strength (shear of the anchor pin – in case of high loads) and bending of the anchor pin – lower loads. The determination of the shear resistance of anchors is influenced by both the steel class and the diameter of the anchor pin and the substrate material, in this case the concrete class. In the case of bonded anchors, adhesion and cohesion forces resist the shear force. The design of bonded anchors and the determination of their load-bearing capacity with various failure mechanisms are included in the technical specifications of CEN/TS [12, 13].

The load-bearing capacity of bonded anchors depends on both the steel and concrete class, resin adhesion stresses, and the effective depth of anchorage in the structural layer. The load-bearing capacity of bonded anchors also depends on the

Obecnie jest to beton klasy B15 odpowiadający klasie betonu C12/15 wg norm PN-B-03264:2002 i PN-EN 206-1:2003. W analizowanych płytach ściennych wieszaki wykonano o średnicy pręta \varnothing 12 mm ze stali St0 i kotwiono prętami \varnothing 8 mm ze stali St0S. Płyty ścienne systemu OWT były wykonywane z betonu B20 (C16/20).

Przed rozpoczęciem wzmacniania ścian trójwarstwowych budynków wielkopłytowych i kolejnych prac naprawczo-modernizacyjnych należy przeprowadzić analizę diagnostyczną, która powinna uwzględniać trzy aspekty: techniczny, energetyczny i społeczny [9]. Ze względu na procesy korozyjne stali może nastąpić osłabienie połączenia między warstwą fakturową i warstwą konstrukcyjną, a w efekcie przemieszczenie prefabrykatów ściennych względem siebie spowodowane złym stanem technicznym wieszaków i prętów kotwiących w zewnętrznych ścianach trójwarstwowych budynków wielkopłytowych.

Analizie poddano gwintowane kotwy wklejane prostopadle do powierzchni elementów betonowych. Schemat wariantów zamocowania pojedynczej kotwy wklejanej został przedstawiony na rysunku 1. Problem przyczepności kotew do podłoża betonowego pojawił się ze względu na zagrożoną trwałość mocowania elewacyjnej warstwy fakturowej w systemach budownictwa wielkopłytowego [3]. Przystępując do badania połączeń w płytach ścian trójwarstwowych, należy wziąć pod uwagę wytyczne i instrukcje Instytutu Techniki Budowlanej [10, 11].

Na nośność kotew ma wpływ przede wszystkim sposób montażu, z którego wynika głębokość zakotwienia oraz charakter pracy, tzn. czy kotew jest wklejana czy mocowana mechanicznie. W artykule skupiono się na pracy kotew wklejanych ze względu na brak wywoływania dodatkowych naprężeń w betonie, możliwość montażu blisko jego krawędzi oraz zastosowania zarówno w betonie spękanym, jak i niespękanym. Bezpośredni efekt zniszczenia kotwy wywołują: wytrzymałość na rozciąganie (zerwanie trzpienia kotwy – w przypadku dużych obciążeń); wytrzymałość na ścinanie (ścięcie trzpienia kotwy – w przypadku dużych obciążeń) i zginanie trzpienia kotwy – mniejsze obciążenia. Wpływ na określenie nośności kotew na wrywanie ma zarówno klasa stali, jak i średnica trzpienia kotwy oraz materiał podłoża (klasa betonu). W przypadku kotew wklejanych odpór sile wrywającej stawiają siły adhezji i kohezji. Projektowanie zakotwień wklejanych oraz określanie ich nośności przy różnych mechanizmach zniszczenia zawarte jest w specyfikacjach technicznych CEN/TS [12, 13].

Nośność kotew wklejanych zależy od: klasy stali i betonu; naprężeń; przyczepności żywicy; efektywnej głębokości zakotwienia w warstwie konstrukcyjnej oraz sposobu montażu

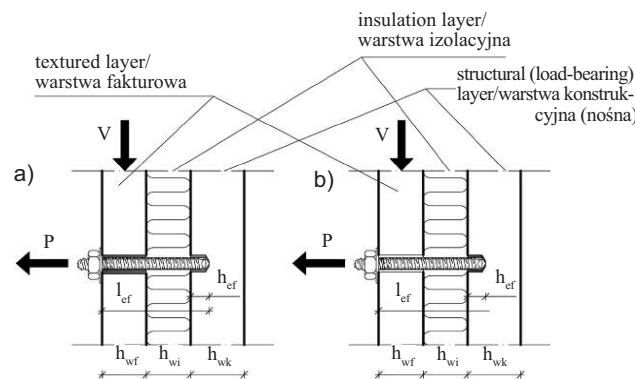


Fig. 1. Scheme of mounting a single bonded anchor: a) full anchoring in the textured layer and in the structural layer; b) anchoring only in the structural layer

Own elaboration
Rys. 1. Schemat zamocowania pojedynczej kotwy wklejanej: a) pełne zakotwienie w warstwie fakturowej i warstwie konstrukcyjnej; b) zakotwienie tylko w warstwie konstrukcyjnej

Opracowanie własne

installation method described below. The need for extensive modernization works results from the adaptation of large slab panel buildings to the current requirements and has been described in the publication [9].

Estimation of the load capacity depending on the mounting method

The theoretical estimation of the bearing capacity of anchors is a result that accurately reflects the result of a given form of anchorage failure. When proposing formulas for the theoretical estimation of the bearing capacity of anchors, it is necessary to take into account parameters and correction factors that correspond to the actual assumptions made in experimental studies [14]. As far as the phenomena occurring in the load-bearing tests of bonded anchors are concerned, the following should be mentioned: stresses in the steel causing the anchor pin to break; the adhesion of steel to resin and resin to concrete when the anchor is pulled out after the adhesion forces have been overcome; adhesion of the resin to the concrete and the related phenomenon of tearing out the cone of concrete in the bonded anchors; Destruction of the connection as a result of simultaneous pulling out of the anchor and breaking the concrete cone.

The estimation of the theoretical load capacity of bonded anchors depends on the mounting method (Fig. 2). In addition to the mounting method, the load-bearing capacity of a single anchorage is influenced by: the type of steel, the diameter of the anchor, the concrete class of the structural layer and the condition of this concrete (degree of cracking, factors resulting from the execution of panel elements, etc.), as well as the effective depth of anchorage in the structural layer. The variant in Figure 2a) takes into account the possibility of rotation of the façade slab of the textured layer in relation to the structural layer. This connection mechanism occurs when the resin connecting the steel anchor to the concrete is only in a part of the hole in the structural layer. The rotation may take place in the cross-section of the slab of the textured layer additionally due to the fact that the washer with a nut is not used. On the other hand, variant 2b) is an anchoring mechanism without the possibility of rotation of the façade slab of the textured layer. This is a connection that ensures full anchorage rigidity at its effective anchorage depth. The connection of the concrete layers with the anchor by means of epoxy resin additionally stiffens the use of a washer with a nut. The depth a_3 is considered due to the fact that when drilling a hole on the concrete surface, chipping occurs, thus increasing the length of the anchor from the applied shear load. Concrete chipping does not need to be taken into account if the fastener is attached to the concrete surface with a nut and washer or if the gap is filled with mortar.

In the case of using fasteners with a concrete-embedded head into the concrete element as in Figure 3 while maintaining

opisanego w dalszej części artykułu. Prace modernizacyjne wynikają z konieczności dostosowania budynków wielkopłytowych do obecnych wymagań [9].

Określenie nośności kotew w zależności od sposobu montażu

Oszacowanie teoretyczne nośności kotew dokładnie oddaje wynik danej formy zniszczenia zakotwienia. Proponując wzory na oszacowanie teoretyczne nośności kotew, należy uwzględniać parametry oraz współczynniki korygujące, które odpowiadają rzeczywistym założeniom przyjętym w badaniach eksperymentalnych [14]. Zjawiska występujące w badaniach nośności kotew wklejanych są następujące: naprężenia w stali powodujące zerwanie trzpienia kotwy; przyczepność stali do żywicy i żywicy do betonu, gdy następuje wyciągnięcie kotwy po pokonaniu sił adhezji; przyczepność żywicy do betonu i związane z tym zjawisko wyrwania stożka betonu w kotwach wklejanych; zniszczenie połączenia na skutek jednoczesnego wyciągnięcia kotwy oraz wyłamania stożka betonu.

Nośność teoretyczna kotew wklejanych zależy od: sposobu montażu (rysunek 2); gatunku stali; średnicy kotwy; klasy betonu warstwy konstrukcyjnej oraz stanu tego betonu (stopień zarysowania, czynniki wynikające z wykonawstwa elementów płytowych itp.), a także efektywnej głębokości zakotwienia w warstwie konstrukcyjnej. Wariant przedstawiony na rysunku 2a) uwzględnia możliwość obrotu płyty elewacyjnej warstwy fakturowej względem warstwy konstrukcyjnej. Taki mechanizm połączenia ma miejsce wówczas, gdy żywica łącząca kotew stalową z betonem znajduje się tylko w części otworu warstwy konstrukcyjnej. Obrót w przekroju płyty warstwy fakturowej może nastąpić dodatkowo ze względu na niestosowanie podkładki z nakrętką. Wariant z rysunku 2b) przedstawia natomiast mechanizm zakotwienia bez możliwości obrotu płyty elewacyjnej warstwy fakturowej. Jest to połączenie zapewniające pełną sztywność zakotwienia na jego efektywnej głębokości zakotwienia. Połączenie warstw betonowych z kotwą za pośrednictwem żywicy epoksydowej usztywnia dodatkowo podkładki wraz z nakrętką. Głębokość a_3 uwzględniana jest, ponieważ podczas wiercenia otworu na powierzchni betonu powstają odpryski, w wyniku czego zwiększa się długość kotwy w zależności od przyłożonego obciążenia ścinającego. Odpryskiwania betonu nie należy brać pod uwagę, jeśli łącznik mocowany jest do powierzchni betonu za pomocą nakrętki i podkładki lub jeśli szczelina jest wypełniona zaprawą.

W przypadku zastosowania łączników z łbem wbetonowanym w element betonowy, jak na rysunku 3, z zachowaniem odległości od powierzchni betonu, to

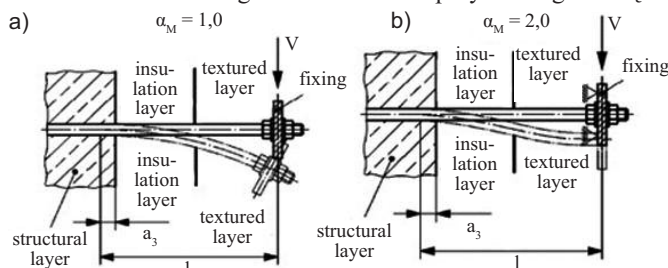


Fig. 2. Lever arm V: a) without fixing the anchor on the concrete surface; b) with fixing the anchor on the concrete surface [10]

Rys. 2. Ramię siły V: a) bez utwierdzenia kotwy na powierzchni betonu warstwy fakturowej; b) z utwierdzeniem kotwy na powierzchni betonu warstwy fakturowej [10]

the distance from the concrete surface, $a_3 = 0$ can be assumed, because there is no concrete chipping. Figure 3a shows a concrete anchor, and Figure 3b shows an anchor for aerated concrete.

The type of restraint should be determined by the designer in accordance with good engineering practice. This article analyzes the work of fully threaded anchors. Section a_3 is replaced by the effective anchorage depth of the anchor rod in the structural layer of the three-layer partition. The layout of such a partition from the outside consists of: a textured layer, an insulating layer (omitted in calculations, treated as an air void, because in this part of the cross-section there is no adhesion between the resin and the insulation, most often in the form of polystyrene) and the structural layer (Fig. 1). The operation of a single bonded anchorage and components resulting from the given loads is shown in Figure 4. No restraint ($\alpha_M = 1.0$) should be assumed if the fastener is free to rotate (Figures 5a and 5c). A full restraint ($\alpha_M = 2.0$) can only be installed if the fastener cannot rotate and the textured layer is pressed together with the insulation layer to the construction layer by means of a nut and washer (Figure 5b and 5d). It should be remembered that the fastened element must be able to accept a restraining moment. In case of doubt, it is recommended to assume $\alpha_M = 1.0$.

In the case of restraint in Figure 5a), in addition to the lack of a washer and nut, there is also a lack of anchorage in the façade textured layer. Figure 5b) is a full anchorage with anchorage both in the textured layer and at the effective anchorage depth in the structural layer. In the OWT-67/N large slab panel system, the insulation layer was 60 mm thick and was most often in the form of polystyrene. In the OWT-67 system, on the other hand, this thickness was 50 mm. In the case of adhesion stresses and the resulting load-bearing capacity of the anchors, this was of no consequence.

Usually, the load capacity of such an anchor is tested up to the limit force of 10 kN in ac-

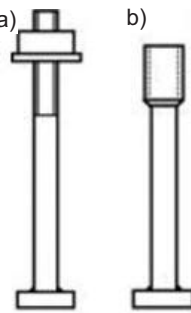


Fig. 3. Anchors with a head that should be embedded in concrete in the reinforced concrete element [10] (description in the article)

Rys. 3. Kotwy z łbem, który powinien być wbetonowany we wzmacniany element betonowy [10] (opis w artykule)

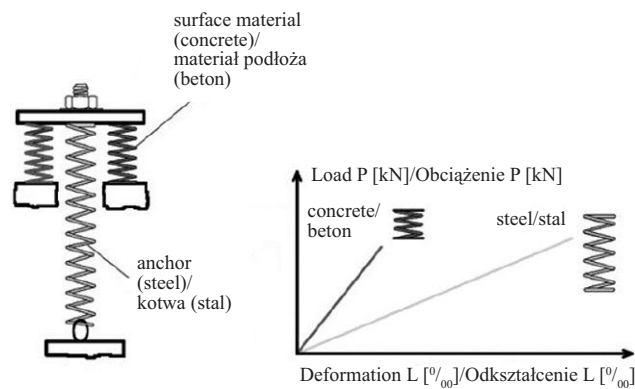


Fig. 4. Interaction of components of a single anchorage

Own elaboration

Rys. 4. Interakcja składowych pojedynczego zakotwienia

Opracowanie własne

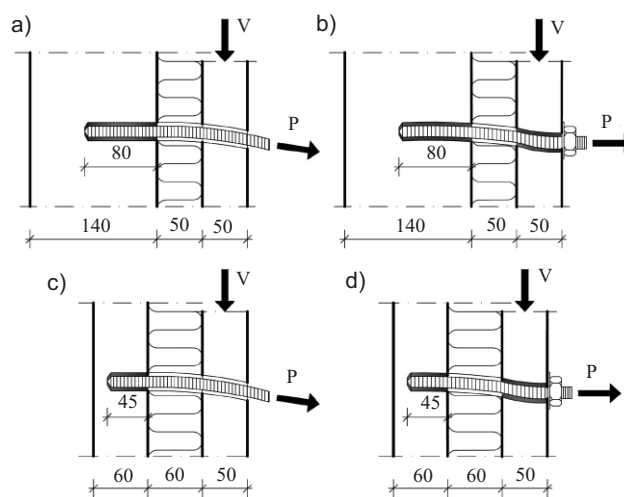


Fig. 5. Examples of bonded anchors in the gable wall of a large slab panel building: a) and c) without restraint in the fixture; b) and d) with full restraint in the fixture

Own elaboration

Rys. 5. Przykładowe zakotwienia wklejane w ścianie szczytowej budynku wielkopłytkowego: a) i c) bez utwierdzenia; b) i d) z pełnym utwierdzeniem

Opracowanie własne

można przyjąć $a_3 = 0$, gdyż nie występuje odpryskiwanie betonu. Na rysunku 3a przedstawiono kotew do betonu, a na rysunku 3b kotew do betonu komórkowego.

Rodzaj utwierdzenia powinien zostać określony przez projektanta zgodnie z dobrą praktyką inżynierską. W artykule analizowana jest praca kotew gwintowanych. Odcinek a_3 jest zastępowany efektywną głębokością zakotwienia pręta kotwiącego w warstwie konstrukcyjnej przegrody trójwarstwowej. Układ takiej przegrody stanowią od zewnątrz: warstwa fakturowa; warstwa izolacyjna (pomijana przy obliczeniach, traktowana jako pustka powietrzna, gdyż w tej części przekroju nie ma żadnej przyczepności między żywicą a izolacją najczęściej w postaci styropianu) oraz warstwa konstrukcyjna (rysunek 1). Pracę pojedynczego zakotwienia wklejanego oraz składowych wynikających z zadanych obciążeń przedstawiono na rysunku 4. Nie należy zakładać żadnego utwierdzenia ($\alpha_M = 1,0$), jeśli element mocujący może się swobodnie obracać (rysunek 5a i 5c).

Pełne utwierdzenie ($\alpha_M = 2,0$) można założyć tylko wtedy, gdy element mocujący nie może się obracać, a warstwa fakturowa jest dociśnięta wraz z warstwą ocieplenia do warstwy konstrukcyjnej za pomocą nakrętki i podkładki (rysunek 5b i 5d). Należy pamiętać, że mocowany element musi przyjąć moment utwierdzający. W razie wątpliwości zaleca się przyjęcie $\alpha_M = 1,0$.

W przypadku utwierdzenia na rysunku 5a, oprócz braku podkładki i nakrętki, brakuje też zakotwienia w elewacyjnej warstwie fakturowej. Rysunek 5b pokazuje pełne utwierdzenie z zakotwieniem zarówno w warstwie fakturowej, jak i na efektywnej głębokości zakotwienia w warstwie konstrukcyjnej. W systemie wielkopłytkowym OWT-67/N warstwa izolacyjna miała grubość 60 mm i była najczęściej w formie styropianu. Natomiast w systemie OWT-67 ta grubość wynosiła 50 mm. W przypadku naprężeń przyczepności i wynikających z nich nośności kotew nie miało to żadnego znaczenia.

Zwyczajowo badanie nośności pojedynczej kotwy wklejanej na wyrywanie przeprowadza się do granicznej siły

cordance with the standard [15]. The destruction of the bonded anchorage in this case occurred at a limit force of 27 kN. The results of field tests of the pull out capacity of anchors are presented in Table 1. The research was carried out on the well-known and often used in practice reinforcement of walls of three-layer large slab panel buildings in the COPY-ECO system [16]. Then, for the results of the resistance of the anchorages, a computer program was selected to generate a linear model (Figure 6) of the dependence of perpendicular anchorages and diagonal anchorages. Only one result did not meet the standard criteria, namely in the first test of the diagonal anchor, where the value of 6 kN was obtained.

As already mentioned, the limit for determining the destructive force for this type of test according to the standard [15] and the formula below is 10 kN:

$$10 \text{ kN} \leq P \leq 60 \text{ kN} \quad (1)$$

Figure 7 is an example of the destruction of an anchorage by extrusion in the structural layer and the tearing out of a short cone of concrete in the textured layer. However, this case was considered in such a way as if full anchoring through a three-layer cross-section was important.

The theoretical resistance assessment of bonded anchors, known from the literature, concerns the study of the pull-out resistance of anchors [17 ÷ 20], as well as the interactive resistance of anchors (Fig. 8), taking into account the simultaneous action of the pull-out force P and, depending on the method of installation, the load from the transverse force V (bending or shear). If the fastened element is offset from the concrete substrate (eccentric), the anchors are subjected to bending moments. The connections of the textured layer with the structural layer by means of bonded anchors considered in the article are loaded with the shear force of the textured layer relative to the structural layer. It is practically impossible for the mandrel of a new threaded anchor (the author considered on-

Table 1. The results of pull-out capacity of anchors in the area
Tabela 1. Wyniki nośności kotew na wrywanie w badaniach terenowych

Test number/ Numer badania	COPY-ECO double anchor system/System dwukotwowy COPY-ECO		Comments/Uwagi
	pull-out force of anchors [kN/Siła wrywająca kotew [kN]		
	perpendicular anchor/kotwa prostopadła	diagonal anchor/kotwa ukośna	
1	27,0	6,0	tearing out a concrete cone/wyrwanie stożka betonu
2	47,1	13,2	concrete cone wedging/zaklinowanie stożka
3	13,3	14,7	concrete cone wedging/zaklinowanie stożka

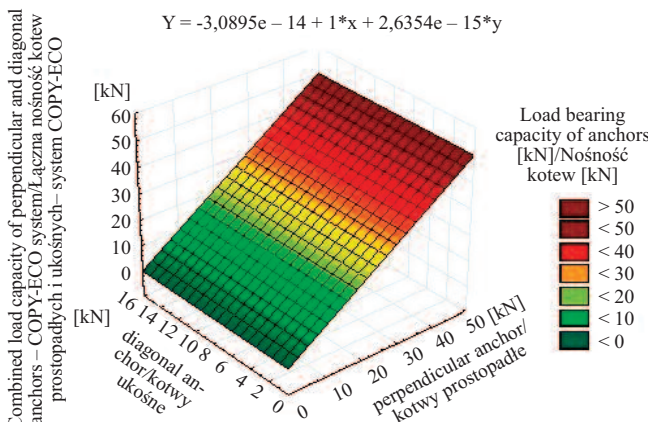


Fig. 6. Relationship of pull-out load capacity between perpendicular anchors and diagonal anchors

Rys. 6. Zależność nośności na wrywanie między kotwami prostopadłymi a kotwami ukośnymi



Fig. 7. Combination of the effects of pull-out and concrete cone failure

Rys. 7. Kombinacja efektów zniszczenia przez wyciągnięcie i wrywanie stożka betonu

10 kN zgodnie z normą [15]. W tym przypadku zniszczenie zakotwienia wklejonego nastąpiło przy sile granicznej 27 kN. Wyniki pogładowych badań terenowych nośności kotew na wrywanie zestawiono w tabeli 1. Badania zostały przeprowadzone na znanym i często stosowanym w praktyce wzmocnianiu ścian trójwarstwowych budynków wielkopłytowych w systemie COPY-ECO [16]. Następnie po uzyskaniu wyników nośności zakotwień wybrano program komputerowy w celu wygenerowania modelu liniowego (rysunek 6) zależności zakotwień prostopadłych od zakotwień ukośnych. Tylko jeden wynik nie spełniał wymagań normowych, a mianowicie w pierwszym badaniu kotwy ukośnej, gdzie uzyskano wartość 6 kN.

Jak już wspomniano, limit oznaczania siły niszczącej w przypadku tego typu badań, zgodnie z normą [15] i poniższym wzorem, to 10 kN:

$$10 \text{ kN} \leq P \leq 60 \text{ kN} \quad (1)$$

Rysunek 7 pokazuje przykład zniszczenia zakotwienia przez wyciągnięcie w warstwie konstrukcyjnej i wrywanie w warstwie fakturowej krótkiego stożka betonu. Ten przypadek rozpatrzono jednak w taki sposób, jakby istotne było pełne zakotwienie przez przekrój trójwarstwowy.

Znane z literatury oszacowanie teoretycznej nośności kotew wklejanych dotyczy badania

nośności kotew na wrywanie [17 ÷ 20], a także interakcyjnej nośności kotew (rysunek 8), uwzględniający jednoczesne oddziaływanie siły wrywającej P i, w zależności od sposobu montażu, obciążenie od siły poprzecznej V (zginanie lub ścinanie). Jeśli element mocowany jest odsunięty od betonowego podłoża (mimośród), to kotwy są poddane działaniu momentów zginających. Rozpatrywane w artykule połączenia warstwy fakturowej z warstwą konstrukcyjną za pośrednictwem kotew wklejanych są obciążone siłą ścinającą warstwę fakturową względem warstwy konstrukcyjnej. Wystąpienie ścicia trzpienia nowej kotwy gwintowanej (rozpatrywałem tylko pręty gwintowane $\varnothing 12 \text{ mm}$) od obciążenia ciężarem własnym warstwy fakturowej jest praktycznie niemożliwe. W pojedyn-

ly threaded rods $\varnothing 12$ mm) to be sheared off by the self-weight of the textured layer. In a single anchorage, therefore, the design moment, the restraint moment and the bending moment M_z can be determined. It is necessary to ensure that the bending moment caused by such a load is not greater than the permissible bending moment (given for each anchor type and diameter in the catalogues or manufacturer's guidelines).

The design moment is the effect of the transverse force load V of the anchor at its total anchorage depth l_{ef} and has an effect on the full anchorage restraint of the anchorage. It can be expressed according to the following relationship:

$$M_o = V \cdot \frac{l}{\alpha_M} \quad [\text{Nmm}] \quad (2)$$

where:

M_o – design moment [Nmm];

V – the transverse force from the dead weight load of the façade textured layer, acting on a single anchor, is shown in Figure 2 [kN];

$l = l_{ef}$ – total embedment depth [mm] (Fig. 1);

α_M – the fixing factor of the element (anchor), depending on the method of strengthening external walls in large slab panel buildings [4], assumed as: $\alpha_M = 1,0$ – in the absence of restraint, when there is a possibility of free rotation, $\alpha_M = 2,0$ – in the case of full restraint, when there is no free rotation and the anchor is fixed to the fastened element by means of a washer and nut.

According to formula (2) and diagrams in Figure 1 and Figure 2, the moment confirming M_u can be determined according to formula (3):

$$M_u = V \cdot \frac{l_{ef} - h_{wi}}{\alpha_M} \quad [\text{Nmm}] \quad (3)$$

where:

M_u – the moment of anchor fixation [Nmm];

h_{wi} – thickness of the insulation layer [mm] (fig. 1).

Then the bending moment M_z can be determined according to the formula (4):

$$M_z = V \cdot \frac{h_{ef}}{\alpha_M} \quad [\text{Nmm}] \quad (4)$$

where:

M_z – bending moment of anchors [Nmm];

h_{ef} – effective embedment depth in the structural layer [mm] (Fig. 1).

The tightening moment is the value of fully tightening the nut on the anchor and pressing it through the washer to the textured layer. It is necessary to determine if we are dealing with expansion anchors [21]. The author also suggests in the case of bonded anchors, due to the fastening scheme, in which a nut and washer are used, also taking into account the tightening moment, which gives a full picture of the anchoring load-bearing capacity.

Calculation example of determining the restraint moment taking into account the diagrams from Figure 5. Determination of the value of the transverse force V – in the case of the gable wall of the OWT-67/N system building:

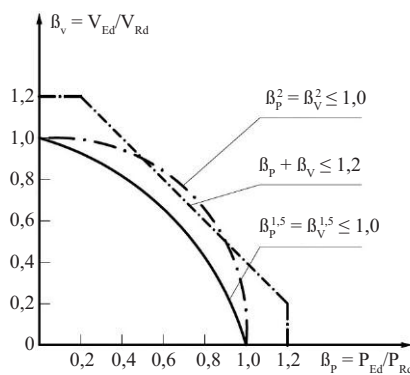


Fig. 8. Interaction diagram in combined anchor pull-out force and shear force [13]
Rys. 8. Diagram interakcji w połączeniu nośności kotwy na wyrwanie i ścinanie [13]

czym zakotwieniu można zatem wyznaczyć: moment obliczeniowy; moment utwierdzający oraz moment zginający M_z . Konieczne jest zagwarantowanie tego, aby moment zginający wywołany przez takie obciążenie był nie większy niż dopuszczalny moment zginający (podany w przypadku każdego rodzaju i każdej średnicy kotwy w katalogach lub wytycznych producenta).

Moment obliczeniowy jest efektem obciążenia siłą poprzeczną V kotwy na jej całkowitej głębokości zakotwienia l_{ef} i ma wpływ na pełne utwierdzenie zakotwienia. Można go wyrazić wg zależności:

$$M_o = V \cdot \frac{l}{\alpha_M} \quad [\text{Nmm}] \quad (2)$$

gdzie:

M_o – moment obliczeniowy [Nmm];

V – siła poprzeczna pochodząca od obciążenia ciężarem własnym elewacyjnej warstwy fakturowej, oddziałującym na pojedynczą kotwę przedstawioną na rysunku 2 [kN];

$l = l_{ef}$ – całkowita głębokość zakotwienia [mm] (rysunek 1);

α_M – współczynnik mocowania elementu (kotwy), zależny od sposobu wzmacniania ścian zewnętrznych w budynkach wielopłytowych [4], przyjmowany jako: $\alpha_M = 1,0$ – w przypadku braku utwierdzenia, gdy występuje możliwość swobodnego obrotu, $\alpha_M = 2,0$ – w przypadku pełnego utwierdzenia, gdy nie ma swobodnego obrotu i kotwa jest utwierdzona do mocowanego elementu za pośrednictwem podkładki i nakrętki.

Zgodnie z wzorem (2) i schematami na rysunkach 1 i 2 można wyznaczyć moment utwierdzający M_u wg wzoru (3):

$$M_u = V \cdot \frac{l_{ef} - h_{wi}}{\alpha_M} \quad [\text{Nmm}] \quad (3)$$

gdzie:

M_u – moment utwierdzenia kotwy [Nmm];

h_{wi} – grubość warstwy izolacyjnej [mm] (rysunek 1).

Następnie można wyznaczyć moment zginający M_z wg wzoru (4):

$$M_z = V \cdot \frac{h_{ef}}{\alpha_M} \quad [\text{Nmm}] \quad (4)$$

gdzie:

M_z – moment zginający kotwę [Nmm];

h_{ef} – efektywna głębokość zakotwienia w warstwie konstrukcyjnej [mm] (rysunek 1).

Moment dokręcający to wartość pełnego dokręcenia nakrętki na kotwie i dociśnięcie jej przez podkładkę do warstwy fakturowej. Jest on konieczny do wyznaczenia, jeśli mamy do czynienia z kotwami rozprężnymi [21]. W przypadku kotew wklejanych, ze względu na schemat mocowania, w którym ma miejsce zastosowanie nakrętki i podkładki, sugeruje także uwzględnianie momentu dokręcającego, który daje pełny obraz nośności zakotwienia.

Przykład obliczeniowy wyznaczenia momentu utwierdzającego uwzględniający schematy z rysunku 5. Wartość siły poprzecznej V można określić w przypadku ściany szczytowej budynku systemu OWT-67/N:

• dimensions of a single gable wall slab 4.97 m x 2.76 m; hence, the transverse force $V = 1,7 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,97 \text{ m} \cdot 2,76 \text{ m} = 23,32 \text{ kN} = 23320 \text{ N}$.

According to Figure 5a, the restraint moment should be calculated as the bending moment according to formula (4):

$$M_u = M_2 = 23320 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} / 1,0 = 1865600 \text{ Nmm} = 1865,60 \text{ Nm} = 1,87 \text{ kNm}.$$

According to Figure 5c, the moment of restraint should be calculated according to formula (3):

$$M_u = 23320 \text{ N} \cdot (80 \text{ mm} + 50 \text{ mm}/2,0) = 1515800 \text{ Nmm} = 1515,80 \text{ Nm} = 1,52 \text{ kNm}:$$

• dimensions of a single curtain wall slab – long window slab 5.38 m x 1.29 m;

Hence, the transverse force $V = 1,7 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,38 \text{ m} \cdot 1,29 \text{ m} = 11,80 \text{ kN} = 11798 \text{ N}$.

According to Figure 5b, the moment of restraint should be calculated as the bending moment according to formula (4):

$$M_u = M_2 = 11798 \text{ N} \cdot 45 \text{ mm}/1,0 = 530910 \text{ Nmm} = 530,91 \text{ Nm} = 0,53 \text{ kNm}.$$

According to Figure 5d), the moment of restraint should be calculated according to formula (3):

$$M_u = 11798 \text{ N} \cdot (45 \text{ mm} + 50 \text{ mm}/2,0) = 584001 \text{ Nmm} = 584,00 \text{ Nm} = 0,58 \text{ kNm}.$$

The above calculations show that greater durability of bonded anchors can be obtained in gable walls due to the greater thickness of the structural layer. Therefore, diagonal anchors should be used in curtain walls to increase the effective embedment depth of the h_{ef} .

Summary

Work related to the use of new bonded anchors in the walls of three-layer panel buildings is necessary. The installation of the new anchors is intended to take over the loads of the existing hangers that connect the textured and the structural layer in the long term. An individual approach to the design analysis of the load-bearing capacity of bonded anchors is suggested. The anchorage load capacity depends mainly on the effective anchorage depth H_{ef} , as shown in this article on the example of the OWT-67/N large slab panel system, in which the structural layer in the curtain wall is 6 cm thick, while in the gable walls it is 14 cm. In the case of a relatively small thickness of the structural layer, the use of diagonal anchors should be considered [15].

The determination of the pull-out and shear strength of bonded anchors is checked using pull-out equipment in the form of a hydraulic cylinder or tester. A complex problem is to check the shear load of the anchors. Depending on the force applied to the anchor and the way the anchor is fixed in the concrete (with or without eccentricity), a force must be applied

Table 2. Summary of permanent loads from external layers of the OWT-67/N system per single anchor

Tabela 2. Zestawienie obciążeń stałych od warstw zewnętrznych systemu OWT-67/N przypadających na pojedynczą kotwę

Load/Obciążenie	Value characteristic/Wartość charakterystyczna	Coefficient γ loads/Współczynnik obciążenia γ	Value calculated/Wartość obliczeniowa
Textured layer 5 cm thick: 0,05 m · 25 kN/m ² Warstwa fakturowa grubości 5 cm: 0,05 m · 25 kN/m ²	1,25 kN/m ²	1,35	1,6875 kN/m ²
Insulation layer made of polystyrene 6 cm thick: 0,06 m · 0,45 kN/m ² /Warstwa docieplenia ze styropianu grubości 6 cm: 0,06 m · 0,45 kN/m ²	0,027 kN/m ²	1,35	0,03645 kN/m ²
Together/Razem: 1,7 kN/m²			

• wymiar pojedynczej płyty ściany szczytowej 4,97 m x 2,76 m; stąd siła poprzeczna $V = 1,7 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,97 \text{ m} \cdot 2,76 \text{ m} = 23,32 \text{ kN} = 23320 \text{ N}$.

Zgodnie z rysunkiem 5a moment utwierdzenia należy obliczać jako moment zginający wg wzoru (4):

$$M_u = M_2 = 23320 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} / 1,0 = 1865600 \text{ Nmm} = 1865,60 \text{ Nm} = 1,87 \text{ kNm}.$$

Zgodnie z rysunkiem 5c moment utwierdzenia należy obliczać wg wzoru (3):

$$M_u = 23320 \text{ N} \cdot (80 \text{ mm} + 50 \text{ mm}/2,0) = 1515800 \text{ Nmm} = 1515,80 \text{ Nm} = 1,52 \text{ kNm}:$$

• wymiar pojedynczej płyty ściany osłonowej – płyty podokiennej dłuższej 5,38 m x 1,29 m; stąd siła poprzeczna $V = 1,7 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,38 \text{ m} \cdot 1,29 \text{ m} = 11,80 \text{ kN} = 11798 \text{ N}$.

Zgodnie z rysunkiem 5b moment utwierdzenia należy obliczać jako moment zginający wg wzoru (4):

$$M_u = M_2 = 11798 \text{ N} \cdot 45 \text{ mm}/1,0 = 530910 \text{ Nmm} = 530,91 \text{ Nm} = 0,53 \text{ kNm}.$$

Zgodnie z rysunkiem 5d moment utwierdzenia należy obliczać wg wzoru (3):

$$M_u = 11798 \text{ N} \cdot (45 \text{ mm} + 50 \text{ mm}/2,0) = 584001 \text{ Nmm} = 584,00 \text{ Nm} = 0,58 \text{ kNm}.$$

Z obliczeń tych wynika, że większą trwałość zakotwień wklejanych można uzyskać w ścianach szczytowych ze względu na większą grubość warstwy konstrukcyjnej. W związku z tym w ścianach osłonowych należy stosować kotwy ukośne, aby zwiększyć efektywną głębokość zakotwienia h_{ef} .

Podsumowanie

Prace związane ze stosowaniem nowych zakotwień wklejanych w ścianach trójwarstwowych budynków wielkopłytowych są konieczne. Montaż nowych kotew ma na celu przejęcie, w perspektywie czasu, obciążeń istniejących wieszaków, które łączą ze sobą warstwę fakturową i warstwę konstrukcyjną. Sugerowane jest podejście indywidualne do analizy obliczeniowej nośności zakotwień wklejanych. Nośność zakotwienia zależy przede wszystkim od efektywnej głębokości zakotwienia h_{ef} . W artykule przedstawiono to na przykładzie systemu wielkopłytowego OWT-67/N, w którym warstwa konstrukcyjna w ścianie osłonowej ma grubość 6 cm, natomiast w ścianach szczytowych 14 cm. Nośność zakotwienia jest zatem zależna od grubości warstwy konstrukcyjnej, która umożliwia dobranie odpowiedniej długości kotwy. W przypadku małej grubości warstwy konstrukcyjnej należy rozważyć zastosowanie kotew ukośnych [15].

Określenie wytrzymałości na wrywanie i ścinanie kotew wklejanych sprawdza się za pomocą oprzyrządowania do wrywania w postaci siłownika hydraulicznego lub testera. Złożonym problemem jest sprawdzenie obciążenia ścinającego

to the anchor that causes the anchor to bend or shear. There are different ways to do this. For example, you can apply a load of 23.32 kN to a single anchor in the gable wall from the dead weight of the façade textured layer. This is a very complicated matter, as there is a risk of cracking the textured layers. Therefore, the number of anchors is increased to reduce the load per anchor.

The author carried out research until the full destruction of the anchorage was achieved, i.e. obtaining one of the known forms of such destruction. In large slab panel buildings, the load-bearing capacity of bonded anchors is checked by applying the pull-out force to the limit value of 10 kN. If the bonded anchorage is not destroyed, then the load-bearing capacity of the bonded anchorage is considered sufficient to carry the imposed loads.

A very important issue is also the proper preparation of holes for bonded anchors. Thorough cleaning of the hole affects the adhesion of the resin to the concrete.

Received: 20.06.2024
Revised: 13.09.2024
Published: 20.12.2024

kotew. W zależności od sposobu zamocowania kotwy w betonie (z mimośrodem lub bez mimośrodu) należy przyłożyć do kotwy taką siłę, która spowoduje jej wygięcie lub ścięcie. Można to zrobić na różne sposoby, np. zadać obciążenie na pojedynczą kotwę w ścianie szczytowej 23,32 kN od ciężaru własnego elewacyjnej warstwy fakturowej. Jest to sprawa bardzo skomplikowana, gdyż istnieje ryzyko pęknięcia warstw fakturowych. W związku z tym zwiększana jest liczba kotew, żeby zmniejszyć obciążenie na pojedynczą kotwę.

Przeprowadziłem badania do uzyskania pełnego zniszczenia zakotwienia. W budynkach wielkopłytych kontrole nośności zakotwień wklejanych polegają na przyłożeniu siły wyrwywającej do granicznej wartości 10 kN. Jeśli nie nastąpi zniszczenie zakotwienia, wówczas jego nośność uznaje się za wystarczającą do przenoszenia zadawanych obciążeń. Bardzo ważną kwestią jest też odpowiednie przygotowanie otworów pod zakotwienia wklejane. Dokładne oczyszczenie otworu wpływa na przyczepność żywicy do betonu.

Artykuł wpłynął do redakcji: 20.06.2024 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 13.09.2024 r.
Opublikowano: 20.12.2024 r.

Literatura

- [1] Słowik M, Błazik-Borowa E. Wpływ doboru prętów zbrojeniowych na rozkład naprężeń w elemencie betonowym. *Eksploatacja i Niezawodność*. 2001; 5: 43 – 46.
- [2] Ściślewski Z. Trwałość elementów wielkiej płyty. *Materiały Budowlane*. 2004; 11: 3 – 4 i 38.
- [3] Ignatowicz R, Gierczak J. Zabezpieczenia faktur zewnętrznych w budynkach z „wielkiej płyty”. *Materiały Budowlane*. 2006; 2: 34 – 36.
- [4] Tomaszewicz D. Wzmacnianie ścian zewnętrznych w budynkach wielkopłytych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*. 2014; 5, (3): 125 – 130.
- [5] Kisel A, Sryukina L. Environmental safety of construction processes in the Republic of Belarus. *International Conference on Building Energy Conservation, Thermal Safety and Environmental Pollution Control (ICBTE 2020)*. E3S Web Conf. Volume 212.
- [6] Jeromiko T, Cichowicz R. Sposoby obniżenia wskaźników energetycznych w istniejących budynkach mieszkalnych wielorodzinnych z wielkiej płyty podłączonych do miejskiej sieci ciepłowniczej. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 2023; Tom 54, No 2, s. 3 – 7.
- [7] Albarwary IHM, Haido JH. Bond strength of concrete with the reinforcement bars polluted with oil. *European Scientific Journal*. February 2013 edition vol. 9, No. 6 ISSN: 1857 – 7881, s. 255 – 272.
- [8] Tomaszewicz D, Baryłka A. Wpływ kształtu powierzchniowego kotew wklejanych na ich nośność – *Materiały Budowlane*. 2020; 6: 52 – 53.
- [9] Taczanowska T, Ostańska A. Dokładność realizacji, a potrzeba modernizacji budynków wielkopłytych. *Dom Wydawniczy MEDIUM*, Warszawa 2002.
- [10] Instrukcja ITB nr 371/2002 – *Metodyka oceny stanu technicznego konstrukcji budynków wielkopłytych*. Warszawa, 2002.

- [11] Instrukcja ITB nr 374/2002 „Metodyka oceny stanu technicznego wielkopłytych warstwowych ścian zewnętrznych. Dodatkowe połączenia warstwy fakturowej z warstwą konstrukcyjną wielkopłytych ścian zewnętrznych”. Warszawa, 2002.
- [12] DD CEN/TS 1992-4-1:2009 „Design of fastenings for use in concrete. Part 4-1: General”.
- [13] DD CEN/TS 1992-4-5:2009 „Design of fastenings for use in concrete. Part 4 – 5: Post-installed fasteners – Chemical systems”.
- [14] Szlendak JK, Jabłońska-Krysiewicz A, Tomaszewicz D. Oszacowanie teoretyczne nośności grup ukośnych kotew wklejanych na podstawie metody składnikowej. *Materiały Budowlane*. 2022, DOI: 10.15199/33.2022.10.04.
- [15] PN-EN 12504-3:2006. *Badania betonu w konstrukcjach – Część 3: Oznaczenie siły wyrwywającej*.
- [16] *Katalog rozwiązań technicznych dla Spółdzielni Mieszkaniowych*. 2020. KOELNER/RAWLPLUG.
- [17] Cook RA. Behavior of chemically bonded anchors, *Journal of Structural Engineering*. 1993; 119, 2744 – 2762.
- [18] Subramanian N, Cook RA. Installation, behavior, and design of bonded anchors. *Indian Concr J*. 2002; 76 (1): 47 – 56.
- [19] Rao GA, Sundeep B. Strength of Bonded Anchors in Concrete in Direct Tension, Research student. Departemen of Civil Engineering Indian Institute of Technology Madras, Chennai-600 036. 2013. India.
- [20] Epackachi S, Esmaili O, Mirghaderi SR, Behbahani AAT. Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads. *Journal of Constructional Steel Research*. 2015; 114: 269 – 280.
- [21] Chudzik R. *Kotwy mechaniczne i kotwy wklejane – podział, montaż, zastosowanie*. Inżynier Budownictwa. 2024; 2.