

dr inż. Beata Ordon-Beska¹⁾
ORCID: 0000-0003-2236-6065

Badanie zbrojenia stropów monolityczno-prefabrykowanych parkingu metodą elektromagnetyczną

Examination of reinforcement of monolithic-precast car park ceilings with the use of electromagnetic method

DOI: 10.15199/33.2022.12.03

Streszczenie. W artykule opisano badania zbrojenia stropów Filigran w czterokondygnacyjnym parkingu otwartym. Ich celem było określenie zgodności zbrojenia z projektem i związku z uszkodzeniami w postaci rys różnego typu. Zbadano zbrojenie płyt prefabrykowanych i zbrojenie w nadbetonie. Stwierdzono niedostateczną grubość otuliny w płytach Filigran w stosunku do wymagań i nieregularny rozstaw prętów. Nie wykryto zbrojenia nadstykowego, a obserwowane uszkodzenia wskazują na występowanie klawiszowania. Zbyt cienka ze względu na trwałość otulina w nadbetonie została wykryta na ponad 30% powierzchni jednego ze stropów. Stwierdzono związek pomiędzy małą grubością otuliny i położeniem rys na obu powierzchniach stropów, których przyczyny dopatruje się w naprężeniach skurczowych.

Słowa kluczowe: strop monolityczno-prefabrykowany; parking; badania elektromagnetyczne; zbrojenie; otulina; zarysowanie.

Abstract. The article describes tests on the reinforcement of Filigree-type ceiling in a four-story open-air car-park. Their purpose was to investigate the compliance of the reinforcement with the design and the relationship to damage in the form of cracks of various types. Their reinforcement of the precast slabs and the reinforcement in the over concrete were examined. The thickness of the cover in the precast slabs was found to be insufficient compared to the requirements, and the spacing of the bars was found to be irregular. No reinforcement over the edges of slabs was detected, and the observed damage indicates the presence of faulting. The cover in the over concrete, which was too thin for durability reasons, was detected on more than 30% of the surface of one of the ceilings. A relationship was found between the low thickness of the cover and the location of cracks on both surfaces of the ceilings, the cause of which is attributed to shrinkage stresses.

Keywords: monolithic-precast ceiling; car park; electromagnetic tests; reinforcement; cover; cracking.

Stropy otwartych parkingów samochodowych są narażone na różne destrukcyjne oddziaływania wynikające z eksploatacji obiektu, a także pochodzenia klimatycznego. Odporność konstrukcji na te czynniki zależy od właściwej eksploatacji i konserwacji konstrukcji. Często przyczyną pojawiających się uszkodzeń są błędy projektowe i wykonawcze. Jak podano w [1], błędy projektowe posadzek parkingów są przyczyną aż 50% uszkodzeń. Wady projektowe i wykonawcze mogą ujawniać się już w krótkim czasie od rozpoczęcia eksploatacji [2, 3]. Ich skutki to m.in. zarysowania, przecieki przez konstrukcję, uszkodzenia dylatacji, pęcherze i odspojenia warstwy posadzki [4, 5].

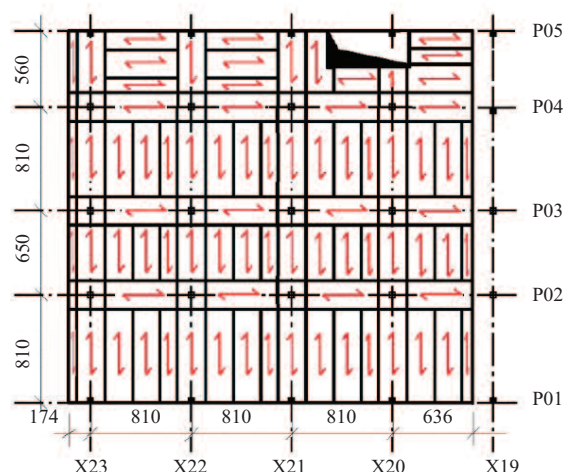
Opis obiektu i zakres badań

Parking zaprojektowano na planie prostokąta o wymiarach 220 x 30 m i siatce słupów 8,1 x 8,1; 8,1 x 6,5 m

oraz 8,1 x 5,6 m (rysunki 1, 2), ze stropami typu Filigran. Składa się on z sześciu oddylatowanych segmentów o czterech kondygnacjach. Kierunek ułożenia płyt Filigran przedstawiono na rysunku 1 czerwonym oznakowaniem. Płyty przeszłowe pomiędzy osiami P01 ÷ P04 biegną równoległe do osi X, a pomiędzy osiami P04 i P05 równoległe do osi P z wyjątkiem płyt na osiach X i jednej płyty przy otworze.

Zgodnie z projektem wszystkie płyty Filigran mają grubość 6 cm, szerokość 0,56 ÷ 2,2 m i długość 4,7 ÷ 5,9 m. Grubość stropu między osiami P01 i P02 wynosi 25 cm, a w pozostałych przeszłach 20 cm. Pasma podporowe wzdłuż osi P02 – P04 wzmocniono płytami (rysunek 1) o szerokości 2,2 m i grubości 27 cm, a stropy wokół słupów –

płytą tworzącą „grzybek” o wymiarach w planie 2,2 x 2,2 m. Mają one w tym miejscu grubość 40 cm. Na rysunku 3 przedstawiono przekrój przez strop 1 – 1 w pobliżu osi poprzecznej X21 i przekrój 2 – 2 przechodzący przez obszar przeszłowy pomiędzy osiami X22 i X23.



Rys. 1. Schemat ułożenia płyt Filigran w segmencie 5
Fig. 1. Scheme of arrangement of Filigree panels in segment 5

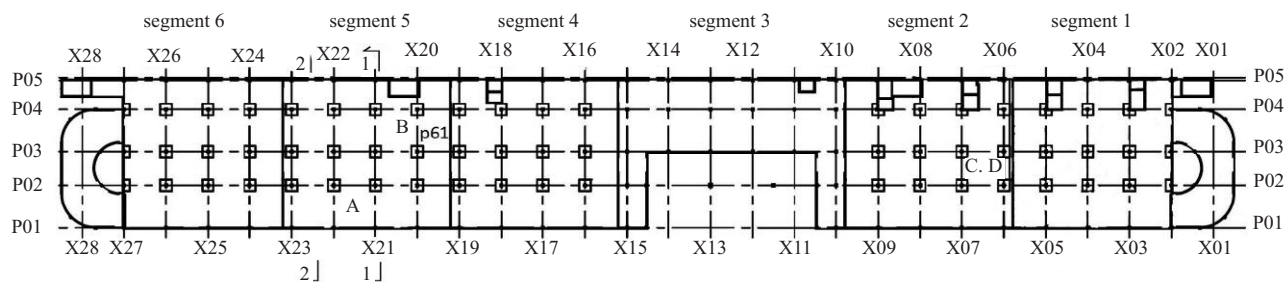

Rys. 2. Schemat stropu poziomu ±0,00

Fig. 2. Scheme of a ceiling of the ±0,00 level

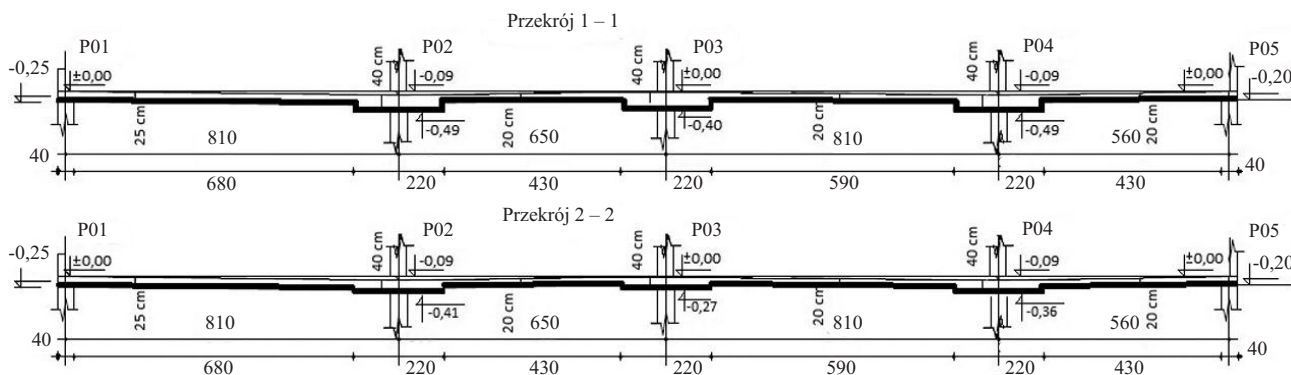

Rys. 3. Przekrój poprzeczny stropu. Płyty Filigran zaznaczono grubą linią. Położenie przekroju zaznaczono na rysunku 2

Fig. 3. The cross-section of the ceiling. Filigree plates are marked with a thick line. The location of the cross-section is shown in Figure 2

Z dokumentacji stropu poziomu ±0,00 wynika, że zbrojenie dolne ułożone na płytach Filigran prostopadle do długości płyt przęsłowych zostało zaprojektowane jako Ø12 co 10 cm, Ø10 co 20 cm lub Ø10 co 12 cm, a w strefach podporowych jako Ø10 co 10 cm lub Ø10 co 12 cm. W dostępnej dokumentacji nie znaleziono informacji o dozbrojeniu styków płyt przeciw klawiszowaniu ani o zbrojeniu w płytach Filigran.

Zgodnie z projektem wykonawczym, w nadbetonie zastosowano siatki zgrzewane o masie odpowiadającej w przeliczeniu zbrojeniu z prętów Ø8 co 15 cm. Z dokumentacji wynika, że w obszarach stropów badanych wokół słupów usytuowanych na osi P03 (rysunek 2) dozbrojenie w obu kierunkach powinno być wykonane z prętów Ø20 co 20 cm. Dostarczona dokumentacja nie zawierała informacji o odbiorach robót zbrojarskich.

Na podstawie projektu stwierdzono, że na płycie wykonano spadki odwadniające w warstwie nadbetonu wynoszące 1 ÷ 2%. Otwory spustowe ułożone zostały w pobliżu słupów, co drugą oś poprzeczną. Na stropach międzykon-

dygnacyjnych zastosowano posadzkę żywiczną grubości ok. 2,5 mm.

Badano trzy płyty stropowe międzykondukcyjne (poziomy ±0,00, +3,00 i +6,00). Analizowano zbrojenie górne i dolne w miejscu występowania rys, pęcherzy i korozji (fotografie 1 ÷ 4). Celem badań było sprawdzenie poprawności wykonania robót żelbetowych, ich zgodności z projektem i sztuką budowlaną. Badania stanowiły jeden z elementów prac mających na celu określenie przyczyn pęknięcia stropów.


Fot. 1. Rozwój rysy naprawionej na górnej powierzchni stropu poziomu +3,00. Położenie rysy oznaczono literą „A” na rysunku 2

Photo 1. The development of the repaired crack on the upper surface of the ceiling level +3,00. The position of the crack is marked with the letter „A” in Figure 2


Fot. 2. Rysy w obszarach przysłupowych. Położenie rys oznaczono literą „B” na rysunku 2

Photo 2. Cracks in the area around columns. The position of the cracks is marked with the letter „B” in Figure 2


Fot. 3. Rysy tworzące siatkę na dolnej powierzchni stropu poziomu +3,00. Położenie rys oznaczono literą „C” na rysunku 2

Photo 3. Cracks forming a grid on the upper surface of the ceiling level +3,00. The position of the cracks is marked with the letter „C” in Figure 2



Fot. 4. Rysy w płytach Filigran stropu poziomu +3,00 od uderzenia o podporę tymczasową. Położenie rys oznaczono literą „D” na rysunku 2

Photo 4. Cracks in the Filigree panels on the ceiling level +3,00 caused by an impact against a temporary support. The position of the cracks is marked with the letter „D” in Figure 2

Uszkodzenia

Oględzinom poddano wszystkie stropy wewnętrzne oraz strop wieńczący obiekt. Uszkodzenia opisane m.in. w [4] zostały stwierdzone na powierzchniach górnych i dolnych stropów. Najliczniej na powierzchni górnej występują rysy. W obszarach przeszłowych biegną na ogół równoległe do dłuższych krawędzi płyt Filigran, bezpośrednio nad stykiem płyt lub w połowie ich szerokości. Największe rysy nadstykowe pojawiły się na stropie ostatniej kondygnacji. Zarysowanie ma charakter postępujący, o czym świadczy wydłużanie się rys i powstawanie nowych odcinków w otoczeniu rysy po naprawie (fotografia 1). Występują również rysy odchodzące promieniście od słupów skrajnych, przechodzące w rysy na attykach oraz rysy w strefach przysłupowych bezpośrednio nad prętami zbrojenia, ze śladami korozji (fotografia 2).

Stwierdzono także ubytki posadzki żywicznej (fotografia 1) oraz pęcherze. Na spodzie stropów widoczne są przecieki wody zarobowej przez szczeliny między płytami i przez dylatacje. Na wielu płytach występują rysy równoległe lub prostopadłe do ich rozpiętości albo rysy tworzące siatkę, jak na fotografii 3. Przedstawione na fotografii 4 rysy, ich lokalizacja i przebieg oraz zaobserwowane na płytach zabrudzenia i ubytki betonu na krawędzi wskazują, że powstały wskutek uderzenia o podporę tymczasową.

Opis przyrządów pomiarowych

Do badania grubości otuliny i rozmieszczenia zbrojenia zastosowano metodę elektromagnetyczną [6 ÷ 8]

i przyrządy: Ferroskan PS300 [9] i Profometr PM-650 [10]. W przypadku użycia Ferroskanu określono, że otulina zbrojenia wynosiła 120 mm przy średnicy prętów $\varnothing 6$ i 180 mm przy średnicy $\varnothing 20$ i dopuszczalnym odchyleniu ± 5 oraz ± 9 mm. Pojedyncze pręty wykrywane są, jeżeli stosunek odległości w świetle do otuliny wynosi nie mniej niż 1,2. Minimalna odległość w świetle to 30 mm.

Profometr działa w trzech zakresach. W tzw. szerokim zakresie, w którym błędy pomiarowe są największe, pręty $\varnothing 6$ są wykrywane do głębokości 105 mm z maksymalnym błędem ± 2 mm, a pręty o średnicy $\varnothing 20$ do głębokości 150 mm z maksymalnym błędem ± 3 mm. Możliwość wykrycia pojedynczych prętów uzależniona jest od odległości między nimi i od zakresu pomiarowego. Minimalny stosunek odległości w osiach między prętami do otuliny wynosi ok. 2,0 w przypadku zakresu standardowego (najdokładniejszego) i 1,8 dla prętów $\varnothing 6$ oraz 1,3 dla prętów $\varnothing 20$ w przypadku zakresu szerokiego.

Przebieg badań

Badano zbrojenie górne zlokalizowane w nadbetonie na całej powierzchni stropu poziomu $\pm 0,00$ m i w dziewięciu wydzielonych obszarach w pobliżu słupów na wszystkich stropach międzykondygnacyjnych. Badanie powierzchniowe stropu zostało wykonane Ferroskanem przez zleceniodawcę. Strop skanowano pasmami w dwóch kierunkach, co ok. 1 m. Do lokalizacji zbrojenia zastosowano tzw. pomiar „szybki”. Badania wycinkowo zweryfikowano za pomocą tzw. pomiarów „liniowych pojedynczych” wykonanych Profometrem. W pobliżu słupów zastosowano Profometr, przy użyciu opcji pomiaru „powierzchniowego”. Do badań wybrano miejsca występowania uszkodzeń.

Wykonano pomiar otuliny zbrojenia górnego stropu poziomu $\pm 0,00$ m w miejscu występowania rys w pobliżu słupa (fotografia 2), wokół którego warstwa nadbetonu była najgrubsza ze względu na ukształtowanie spadku odwadniającego. Fragmenty obrazu z najmniejszą pomierzoną otuliną pokrywa-

ją się z położeniem rys. Lokalizacja sygnału, zmierzona grubość otuliny i wskazana w analizie średnica sugeruje, że wykryto pręty dozbrajające płytę wokół słupa (fragmenty z najmniejszą otuliną) oraz zbrojenie górne siatkowe ułożone w nadbetonie. Najgrubsza otulina została zmierzona w kierunku spadku. Z analizy dokumentacji rysunkowej i fotograficznej wynika, że w omawianym obszarze rysy powstały w miejscu zakładu siatek zbrojenia górnego. Rozstaw zbrojenia jest dość regularny i wynosi w jednym kierunku ok. 10 cm (pręty równoległe do osi P z rysunku 2), a w drugim ok. 15 cm (pręty równoległe do osi X z rysunku 2).

Pomiar otuliny i położenia zbrojenia górnego (siatkowego) w nadbetonie wykonano na całej powierzchni górnej stropu w połowie rozpiętości pola o symbolu „p61” wg rysunku 2. Pręty równoległe do osi X są w rozstawie $13 \div 16$ cm, a pręty równoległe do osi P – co 14 cm na odcinku początkowym długości ok. 1,3 m i 10 cm na pozostałej części pasma pomiarowego. Wzrost grubości otuliny jest zgodny ze wzrostem grubości nadbetonu kształtującego spadek. Z dokumentacji projektowej wynika, że otulina zbrojenia powinna wynosić 30 mm, podczas gdy maksymalne określone wartości wynoszą 90 – 100 mm. Lokalizacja występujących zafalowań wykresu z urządzenia odpowiada w przybliżeniu miejscom zakładów siatek przyjętych w projekcie, a wzmocnienie i zagęszczenie sygnału na odcinku 6 – 6,5 m spowodowane jest obecnością dylatacji i zbrojenia w jej pobliżu. W badaniach tego i innych pól nie stwierdzono zbrojenia przypowierzchniowego [4] oraz zbrojenia rozproszonego [11] przeciw ry- som skurczowym.

Na dolnej powierzchni stropu wykonano pomiary „powierzchniowe” i „liniowe pojedyncze” z użyciem Profometru. Miały one na celu wykrycie zbrojenia ułożonego w płytach Filigran i zbrojenia nadstykowego. Do badania wybrano płyty stropu poziomu +3,00 m, na których występowały rysy. Szczególną uwagę poświęcono strefie przykrawędziowej płyt. Łącznie wykonano 7 pomiarów „powierzchniowych” o wymiarach pola ok. 0,6 x 0,6 m i 4 pomiary liniowe

o długości $0,65 \div 1,92$ m. Badania „powierzchniowe” wykazały, że otulina zbrojenia poszczególnych płyt nie jest jednakowa. Średnia otulina prętów poprzecznych wyniosła $22 \div 28$ mm przy skrajnych wartościach 17 i 30 mm, a średnia otulina prętów podłużnych $25 \div 32$ mm przy skrajnych pomiarach 20 i 40 mm.

W celu przeanalizowania zbrojenia nadstykowego wykonano badania wzdłuż krawędzi płyty oraz badanie wyćinka powierzchni tak, by ustalić zasięg prętów. Odległość pomiędzy prętami jest nieregularna. Wahań grubość otuliny $12 \div 25$ mm przy jednoczesnym występowaniu na obrazach znacznych średnic prętów mogą być skutkiem nakładania się na siebie sygnałów generowanych przez pręty sąsiednie leżące w zbyt małej odległości od siebie lub jeden nad drugim (zbrojenie w płycie i zbrojenie ułożone na płycie). W pomiarach liniowych i w pomiarze powierzchniowym nie wykryto prętów, które powinny znajdować się na głębokości nie mniejszej niż 60 mm, odpowiednio do grubości płyty prefabrykowanej.

Wyniki badań

W wyniku analizy sygnału można określić znaczne różnice grubości otuliny zbrojenia i średnicy. Problem ten wystąpił we wszystkich badanych obszarach. W części z nich należy liczyć się z zakłóceniami wywołanymi obecnością elementów oświetlenia oraz barier stalowych i innego wyposażenia w pobliżu miejsc badań. Znaczenie może mieć również łączenie prętów przez zgrzewanie [10] oraz różnice średnicy prętów sąsiednich, zbyt bliskie położenie lub nakładanie się prętów na siebie, np. w strefach kotwienia. Analiza wyników badań utrudniona była ze względu na niekompletność dostarczonej dokumentacji projektowej i brak dokumentacji powykonawczej.

Minimalna otulina zbrojenia płyt Filigran powinna być dobrana do klasy ekspozycji wg XC3, XD1 i wynosić co najmniej 40 mm [12]. Wyniki badań sugerują, że otulina zbrojenia nie spełnia wymagań normy. Miejscami wynosi nawet mniej niż 20 mm. Nie zaobserwowano śladów korozji.

Otulina zbrojenia w nadbetonie powinna spełniać wymagania klas ekspozycji XC4, XF4 i XD3 i wynosić co najmniej 40 mm. Na podstawie badań stwierdzono, że na części powierzchni wymaganie to nie jest spełnione. Faktyczna otulina jest miejscami zbyt mała ze względu na zapewnienie właściwej ochrony zbrojenia przed korozją wywołaną chlorkami. W projekcie przyjęto otulinę 30 mm – być może z uwagi na zastosowanie powłoki żywicznej o grubości 2,5 mm jako dodatkowego zabezpieczenia górnej powierzchni posadzki przed oddziaływaniem środków odladzających. Zgodnie z badaniami wykonanymi i przeanalizowanymi przez zleceniodawcę na ok. 31% powierzchni górnej stropu poziomu $\pm 0,00$ otulina jest mniejsza niż projektowana (30 mm), a z oględzin wynika, że miejscami jest bliska zeru. Z drugiej strony, na dużej powierzchni stropu jest znacznie większa niż projektowana. Obszary o najmniejszej otulinie znajdują się w pobliżu słupów. Widoczne są tam ślady korozji. Fakt, że rysy przedstawione na fotografii 2 nie znajdują się bezpośrednio przy słupach, sugeruje, że podczas układania prętów wzmacniających strop wokół nich nie uwzględniono zmieniającej się grubości nadbetonu i ułożono zbrojenie zbyt wysoko. Może to mieć także związek z niedostatecznym podparciem siatek w nadbetonie i w konsekwencji podniesieniem ich brzegów w zakładach. W badaniu nie stwierdzono zbrojenia przypowierzchniowego.

Stropy typu Filigran powinny być zabezpieczone przed klawiszowaniem dodatkowymi prętami ułożonymi prostopadle do krawędzi sąsiadujących płyt. W zbadanych obszarach nie stwierdzono takiego zbrojenia. Fakt ten oraz układ rys na górnej powierzchni stropów wskazują na zjawisko klawiszowania. Zlokalizowane zbrojenie płyt Filigran ma często nieregularny rozstaw.

Pomiary szerokości rozwarcia rys wskazały przekroczenie dopuszczalnego rozwarcia, a maksymalne pęknięcie posadzki dochodziło nawet do 0,7 mm. Położenie części rys widocznych na nadbetonie pokrywa się z położeniem zbrojenia i może być skutkiem nadmiernych odkształceń skurczowych.

Na dolnej powierzchni płyt stwierdzono rysy o kierunku zgodnym z kierunkiem ułożenia zbrojenia, powstałe w wyniku nadmiernych odkształceń skurczowych oraz rysy biegnące pod różnym kątem względem krawędzi, które mogły powstać wskutek uderzenia płyt o podpory podczas montażu. Maksymalna szerokość rys wynosi ok. 0,2 mm i nie przekracza dopuszczalnej szerokości.

Literatura

- [1] Czarniecki L. Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane. 2008; 9 (433): 20-24 i 26-27.
- [2] Starosolski W, Czerwieńska M. Problemy odkształceń i uszkodzeń monolitycznej płyty stropowej w dużym parkingu. XX Konferencja naukowo-techniczna Awarie budowlane, Szczecin – Międzyzdroje 2001.
- [3] Ajdukiewicz A, Hulimka J, Kliszczewicz A. Błędy projektowe i realizacyjne w żelbetowych konstrukcjach parkingów. XXI Konferencja naukowo-techniczna Awarie budowlane, Szczecin – Międzyzdroje 2003.
- [4] Ślusarczyk J, Wójcicka A. Podstawowe wymagania i wytyczne konstruowania struktury parkingowej płyty dachowej. Przegląd Budowlany. 200; 12: 38-42.
- [5] Rzyński W. Projektowanie, realizacja i eksploatacja betonowych nawierzchni parkingów zewnętrznych. Materiały Budowlane. 2010; 9 (457): 29-31.
- [6] Lewińska-Romicka A. Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2001.
- [7] Chady T, Runkiewicz L, Sikora R, Wójtowicz S. Lokalizacja zbrojenia w budowlanych elementach żelbetowych, 31 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Szczyrk 2002, s. 233-236.
- [8] Drobiec L, Jasiński R, Piekarczyk A. Lokalizacja wad konstrukcji i stali zbrojeniowej – metody. XXI Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 8-11 marzec 2006, s. 133-208.
- [9] PS 300. Original operating instruction. https://www.hilti.pl/medias/sys_master/documents/h48/ha1/9781711536158/Operating-Instruction-PS-300-01-Operating-Instruction-PUB-5493111-000.pdf, dostęp 14.10.2022.
- [10] Profometer. Operating Instructions, Proceq SA. 2017.
- [11] Czajkowska A, Raczkiwicz W, Bacharz M, Bacharz K. Influence of maturing conditions of steel-fiberreinforcedconcrete on itsselectedparameters. Construction of Optimized Energy Potential (CoOEP), Vol. 9, No 1/2020, 47-54, <https://doi.org/10.17512/bozpe.2020.1.05>.
- [12] PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Obliczenia statyczne i projektowanie.

Przyjęto do druku: 26.10.2022 r.