

Wykorzystanie urządzeń ferromagnetycznych w diagnostyce konstrukcji budowlanych

Mgr inż. Damian Urbanowicz, mgr inż. Maciej Warzocha, Barg Diagnostyka Budowli Sp. z o.o.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach coraz częściej przebudowuje się lub nadbudowuje istniejące konstrukcje i inne obiekty budowlane. Zmieniają się funkcję obiektów, co prowadzi do zmian warunków użytkowych i bardzo często wzrostu obciążeń na poszczególne elementy konstrukcyjne. Konstruktorzy i projektanci stają przed zadaniem przeliczenia nośności starych obiektów i sprawdzenia ich pod kątem nowych obciążeń, wynikających nie tylko ze zmian użytkowania, ale również ze wzrostu przyjmowanych obciążeń normowych (np. od śniegu, wiatru). Zdarza się, że inwestorzy nie dysponują dokumentacją techniczno-konstrukcyjną obiektów. W takiej sytuacji konstruktorzy stoją przed wyzwaniem, jak dokonać rozpoznania konstrukcji i sprawdzenia jej nośności. Pojawia się potrzeba sporządzenia/zweryfikowania inwentaryzacji budowlanej oraz określenia parametrów materiałowych poszczególnych elementów. Określenie wytrzymałości betonu na ściskanie czy wytrzymałości stali jest możliwe w oparciu o metody znormalizowane. Pozostaje jednak szereg innych parametrów, których badanie nie jest ujęte w normach, a ich określenie może mieć znaczący wpływ na możliwości adaptacyjne oraz koszty i czas remontu konstrukcji. Do elementów takich należą m.in. rozkład zbrojenia w elemencie, grubość otuliny, głębokość karbonatyzacji itp.

W niniejszym artykule chcemy przybliżyć dostępny na polskim rynku sprzęt do nieniszczącego badania rozkładu zbrojenia oraz grubości otuliny. Chcemy również wskazać problemy, z jakimi można się spotkać w diagnostyce elementów żelbetowych, stosując tzw. skanery zbrojenia – urządzenia pozwalającymi na określenie rozkładu prętów zbrojeniowych i grubości otuliny bez uszkodzania konstrukcji.

2. Przedstawienie aparatury badawczej

Tradycyjna diagnostyka elementów konstrukcji żelbetowej polega na określeniu geometrii elementów, określeniu wytrzymałości betonu, klasy stali oraz położenia prętów zbrojeniowych w elemencie. Tradycyjnym

rozwiązaniem w przypadku określenia rozkładu zbrojenia jest wykonanie odkrywek sprawdzających. Polega to na wykonaniu bruzdy w poprzek i wzdłuż elementu, odkuciu każdego z prętów zbrojeniowych na badanym odcinku i pomierzeniu ich rozstawu oraz średnicy. W przypadku określenia rozkładu zbrojenia głównego w słupach czy belkach nie stanowi to większego problemu. Zazwyczaj jest to bruzda do 50 cm długości i 3–4 cm głębokości (rys. 1). W przypadku określania rozkładu strzemion czy rozkładu zbrojenia w stropach konieczne jest wykonanie odkrywki na większej



Rys. 1. Przykładowa odkrywka zbrojenia w poprzek całej szerokości belki

powierzchni elementu. Wykonywanie dużej liczby dużych odkrywek w wielu elementach jest bardzo czasochłonnym i kosztownym rozwiązaniem. Dodatkowo dochodzi kwestia osłabienia poszczególnych elementów konstrukcyjnych. W celu skrócenia czasu, zmniejszenia kosztów realizacji oraz ochrony konstrukcji można zastosować metody nieniszczące pozwalające na rozpoznanie układu zbrojenia w konstrukcji.

Na polskim rynku dostępnych jest kilkanaście urządzeń pozwalających na wykrycie prętów zbrojeniowych. Są to np.: ProfoScope firmy Proceq, Bosch D-tect 150, Hilti PS 50, Hilti PS1000. Niestety tylko kilka posiada możliwość zarejestrowania wyników i raportowania układu prętów. Możliwość taka jest bardzo przydatna

przy tworzeniu dokumentacji badanych elementów i pozwala osobom korzystającym z takiej dokumentacji na późniejszą analizę uzyskanych wyników oraz ewentualną własną ich interpretację. Autorzy w codziennej pracy dysponują trzema takimi urządzeniami o podobnej charakterystyce. Wszystkie działają na zasadzie indukcji elektromagnetycznej i prądów wirowych. W naszej pracy wykorzystujemy urządzenia:

- Ferroskan PS200 firmy Hilti,
- Lithoscope firmy Würth,
- Profometer PM650 firmy Proceq.

Każde z tych urządzeń ma możliwość rejestrowania oraz późniejszej obróbki wyników oraz przygotowania raportów z przeprowadzonych badań. Nie ma potrzeby, tak jak to było w przypadku starszych modeli skanerów (np. polskiej produkcji Femetr), znaczenia rozkładu prętów na elemencie i spisywania go później do notatnika (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowe rozpoznanie układu zbrojenia skanem bez możliwości rejestrowania

Wymienione urządzenia ferromagnetyczne pozwalają na określenie rozkładu prętów zbrojeniowych oraz oszacowanie rozkładu belek stalowych w elemencie. Dla każdego z elementów stalowych określają grubość otuliny. Pomiar grubości otuliny jest jednak pomiarem szacunkowym. Wraz ze wzrostem głębokości, na której znajduje się obiekt, zmniejsza się dokładność pomiarów. Problemem w przypadku wykonywania badań jest niewielka odległość pomiędzy sąsiadującymi elementami zbrojenia. Bardzo trudno jest dokładnie określić liczbę prętów, jeśli odstęp między nimi jest mniejszy niż dwie średnice poszczególnych prętów.

Producenci poszczególnych urządzeń podają, że pomiar rozkładu może być wykonywany nawet do 15 cm zagłębienia prętów, jednakże z praktyki wynika, że efektywna praca urządzeń to zasięg 10 cm od powierzchni, po której porusza się głowica skanująca.

Największą zaletą opisywanych urządzeń jest czas wykonywanej pracy. Rozpoznanie rozkładu prętów zbrojeniowych w stupie, tj. układu zbrojenia głównego w każdym kierunku oraz rozstawu strzemion zajmuje około 2 minut. Natomiast wykonanie takiego rozpoznania przy

tradycyjnej odkrywce nawet do 30–40 minut. Po zakończeniu badania nie ma też potrzeby naprawy badanych powierzchni elementu.

Dodatkowym atutem w przypadku urządzenia firmy Hilti i Proceq jest wykonywanie skanów „dwuwymiarowych” umożliwiających zobrazowanie na ekranie komputera przebiegu poszczególnych prętów oraz warstwową analizę głębokości ich ułożenia. Urządzenie Ferroskan ma ograniczenie powierzchni skanowania do pola 60x60 cm (180x180 cm w przypadku złożenia maksymalnie 9 obrazów). Urządzenie Profometer PM650 nie ma takiego ograniczenia.

Producenci urządzeń Ferroskan PS200 i Profometer PM650 jako jedną z zalet podają możliwość szacowania średnicy prętów zbrojeniowych bez ich odkrywania. Z naszej praktyki wynika, że jest to obarczone bardzo dużym błędem. Na przykładzie pręta o średnicy 12 mm i otulinie 30 mm, błąd pomiarowy wyno-



Rys. 3. Rejestrujące urządzenia badawcze (skanery zbrojenia)

si ± 2 mm. W przypadku otrzymanego pomiaru uzyskamy wynik średnicy pręta w granicach 10–14 mm. Taka dokładność pomiaru potwierdza firma Hilti w instrukcji obsługi urządzenia. Dokładność ta dodatkowo spada wraz ze wzrostem grubości otuliny, zmniejszeniem odległości pomiędzy sąsiadującymi prętami lub w przypadku innych zakłóceń. Dla projektanta taki błąd pomiarowy czyni uzyskany wynik nieprzydatnym. Różnica w polu przekroju pręta o średnicy 10 i 14 mm wynosi ponad 50%. Pole przekroju pręta o średnicy 10 mm wynosi 0,785 cm², a przy polu pręta o średnicy 12 mm – 1,539 cm².

W praktyce konieczne jest wykonanie co najmniej jednej odkrywki sprawdzającej w miejscu przebiegu dwóch prętów zbrojeniowych (np. pręt główny oraz strzemie) dla każdego jednego elementu. Oznacza to, że układ zbrojenia rozpoznaje się przy wykorzystaniu skanerów, ale średnicę prętów potwierdza poprzez pomiar rzeczycywiście. W wykonanej odkrywce na podstawie układu ozebrowania uzyskuje się informację na temat klasy stali zbrojeniowej. Przedstawiona metoda jest rozwiązaniem ekonomicznym i efektywnym czasowo.

Oprócz skanerów ferromagnetycznych na rynku dostępne są również inne urządzenia pozwalające na rozpoznanie konstrukcji na większej głębokości, np. georadary. Jednakże są to urządzenia znacznie droższe i najczęściej dużo większe. Ich funkcjonalność w dużej liczbie przypadków jest mniejsza niż wspomnianych skanerów.

3. Przykład rozpoznania zbrojenia

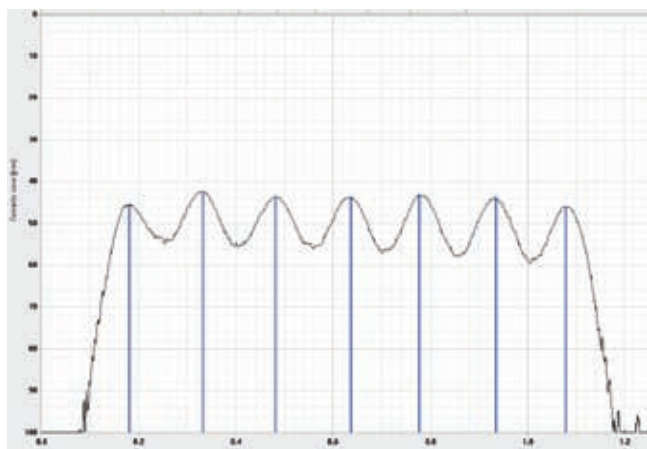
W celu porównania wykorzystywanych w naszej firmie urządzeń wykonano badania porównawcze na dwóch referencyjnych elementach o wiadomym rozkładzie, średnicy i otulinie prętów zbrojeniowych.

Każdy z dwóch elementów badawczych to płyty żelbetowe o wymiarach 80x120 cm i grubości 20 cm zbrojone dwoma siatkami prętów zbrojeniowych. W pierwszym przypadku zbrojenie górne (poddane badaniu) miało średnicę 8 mm, a w drugim przypadku 12 mm. Otulina prętów zbrojeniowych w pierwszym przypadku wynosiła 45 mm, a w drugim 35 mm. Rozstaw prętów zbrojeniowych był w obydwu przypadkach równy i wynosił 15 cm.

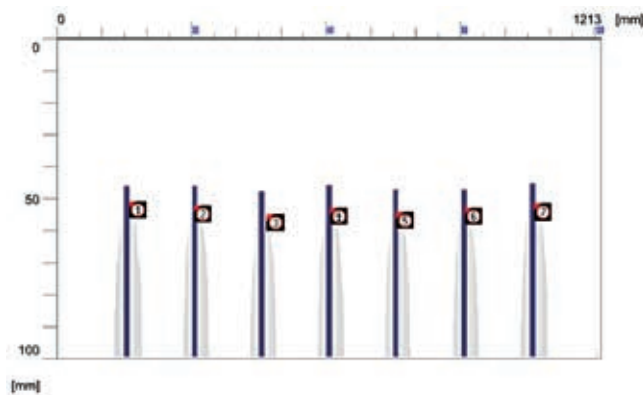
Badane elementy zostały wykonane i udostępnione przez przedstawicieli Instytutu Inżynierii Budowlanej Politechniki Warszawskiej.



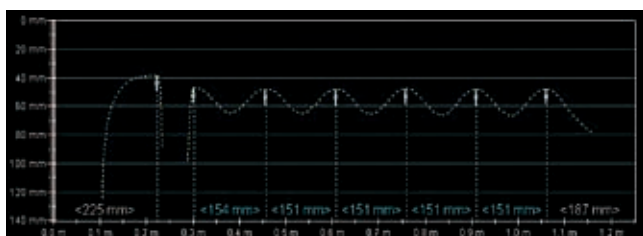
Rys. 4. Element badawczy. Płyta żelbetowa o wymiarach 80x120 cm zbrojona dwoma siatkami zbrojeniowymi



Rys. 5. Obraz raportu skanu urządzeniem Lithoscope ze zbrojeniem o średnicy 12 mm



Rys. 6. Obraz raportu skanu urządzeniem Ferroskan PS200 ze zbrojeniem o średnicy 12 mm



Rys. 7. Obraz raportu skanu urządzeniem Profometer PM650 ze zbrojeniem o średnicy 12 mm

Każdym z urządzeń wykonano po dwa badania przez całą długość płyty rejestrując obraz poszczególnych prętów. Poniżej przedstawiono obrazy uzyskane z raportów poszczególnych urządzeń. Na każdym z obrazów (rys. 5, 6, 7) przedstawiona jest wizualizacja rozkładu prętów, gdzie na rzędnej widać rozstaw, a na odciętej grubość otuliny. Każdy z przygotowanych przez operatora pojedynczych raportów zawiera statystykę rozkładu i otuliny.

Zestawienie uzyskanych wyników przedstawiono w tabeli 1. Przedstawiono średnią grubość otuliny oraz rozstaw prętów zbrojenia pomierzone dla każdego z przeprowadzonych skanów zbrojenia na dwóch elementach badawczych.

Przy porównywaniu otrzymanych wyników skanowania w odniesieniu do średniej z rzeczywistych pomiarów na elemencie żelbetowym wynika, że najdokładniejszym urządzeniem pod względem określenia otuliny jest Profometer firmy Proceq (tabela 2). Natomiast przy uwzględnieniu określenia rozstawu prętów zbrojeniowych najdokładniejszym urządzeniem jest Ferroskan PS200.

Przedstawione średnie odchylenia standardowe oraz współczynnik zmienności dla zestawienia wyników pokazują, że dokładność pomiarów rozstawu prętów zbrojeniowych jest na bardzo dobrym poziomie jednorodności ze stanem rzeczywistym (tabela 2). Natomiast oszacowanie grubości otuliny prętów zbrojeniowych jest na poziomie bardzo dobrym lub dobrym w zależności od wykorzystywanego sprzętu.

Tabela 1. Zestawienie wyników dla poszczególnych skanerów

| Otulina [mm] | | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------|--------|-----|---------|------------|-----|---------|-------|-----|---------|
| Element skan | Rzeczywista pomierzona | Proceq | | | Lithoscope | | | Hilti | | |
| | średnia | min | max | średnia | min | max | średnia | min | max | średnia |
| 1.1 | 35 | 33 | 43 | 35 | 31 | 32 | 31 | 33 | 34 | 33 |
| 1.2 | 35 | 27 | 51 | 34 | 29 | 32 | 30 | 32 | 33 | 32 |
| 2.1 | 45 | 38 | 48 | 46 | 42 | 46 | 44 | 46 | 48 | 46 |
| 2.2 | 45 | 42 | 56 | 49 | 28 | 34 | 31 | 47 | 49 | 47 |

| Rozstaw [cm] | | | | | | | | | | |
|--------------|------------------------|--------|------|--------|------------|-----|--------|-------|------|--------|
| Element skan | Rzeczywisty pomierzony | Proceq | | | Lithoscope | | | Hilti | | |
| | średni | min | max | średni | min | max | średni | min | max | średni |
| 1.1 | 15 | 7,7 | 15,9 | 14,1 | 15 | 17 | 16 | 14,8 | 15,4 | 15,1 |
| 1.2 | 15 | 2,5 | 16,2 | 11,2 | 15 | 17 | 16 | 14,4 | 15,7 | 15,1 |
| 2.1 | 15 | 11,6 | 15,7 | 14,4 | 15 | 16 | 15 | 14,2 | 16,1 | 15,1 |
| 2.2 | 15 | 15 | 15,4 | 15,1 | 13 | 19 | 16 | 14,3 | 15,6 | 15 |

Tabela 2. Szacowanie błędów pomiarowych dla poszczególnych skanerów

| Otulina [mm] | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------|-------------------|------------|-------------------|---------|-------------------|
| Element skan | Rzeczywista pomierzona | Proceq | | Lithoscope | | Hilti | |
| | średnia | średnia | odchylenie stand. | średnia | odchylenie stand. | średnia | odchylenie stand. |
| 3.1 | 35 | 35 | 0,0 | 31 | 2,8 | 33 | 1,4 |
| 3.2 | 35 | 34 | 0,7 | 30 | 3,5 | 32 | 2,1 |
| 4.1 | 45 | 46 | 0,7 | 44 | 0,7 | 46 | 0,7 |
| 4.2 | 45 | 49 | 2,8 | 31 | 9,9 | 47 | 1,4 |
| Średnia | | 41,0 | 1,1 | 34,0 | 4,2 | 39,5 | 1,4 |
| Współczynnik zmienności | | 2,6% | | 12,5% | | 3,6% | |

| Rozstaw [cm] | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|--------|-------------------|------------|-------------------|--------|-------------------|
| Element skan | Rzeczywisty pomierzony | Proceq | | Lithoscope | | Hilti | |
| | średni | średni | odchylenie stand. | średni | odchylenie stand. | średni | odchylenie stand. |
| 3.1 | 15 | 14,1 | 0,6 | 16 | 0,7 | 15,1 | 0,1 |
| 3.2 | 15 | 11,2 | 2,7 | 16 | 0,7 | 15,1 | 0,1 |
| 4.1 | 15 | 14,4 | 0,4 | 15 | 0,0 | 15,1 | 0,1 |
| 4.2 | 15 | 15,1 | 0,1 | 16 | 0,7 | 15 | 0,0 |
| Średni | | 13,7 | 1,0 | 15,8 | 0,5 | 15,1 | 0,1 |
| Współczynnik zmienności | | 7,0% | | 3,4% | | 0,4% | |

4. Podsumowanie

Wymienione urządzenia ferromagnetyczne Ferroskan PS200 firmy Hilti, Lithoscope firmy Wurth oraz Profometer PM650 firmy Proceq są bardzo przydatne w trakcie prowadzenia badań diagnostycznych elementów żelbetowych. W stosunkowo prosty i szybki sposób pozwalają na określenie rozstawu prętów zbrojeniowych i grubości ich otuliny. Skanowanie pozwala skrócić czas badań, obniżyć koszt ich realizacji oraz ochronić konstrukcję przed uszkodzeniem koniecznym w przypadku realizacji tradycyjnych odkrywek.

Przedstawione w niniejszym artykule badania porównawcze potwierdzają dobrą skuteczność w rozpoznaniu rozkładu zbrojenia i oszacowaniu grubości jego otuliny. Przy pracy ze skanerami należy jednak pamiętać o ograniczeniach pomiarowych i możliwości powstania błędów. Wpływają na nie głównie: maksymalny efektywny zasięg pracy skanera do 10 cm, bardzo głębokie

usytuowanie prętów względem powierzchni skanowanej, duże zagęszczenie prętów w jednym miejscu oraz złe szacowanie średnicy prętów zbrojeniowych.

W przypadku ostatniej wymienionej, praktyka prac diagnostycznych wskazuje, że korzystnie jest wykonać jedną odkrywkę zbrojenia na skrzyżowaniu dwóch prętów zbrojeniowych. Z wykonanej odkrywki po układzie ożebrowania uzyskuje się dodatkową informację o klasie stali zbrojeniowej oraz o stanie stali zbrojeniowej wewnątrz elementu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ł. Drobiec, R. Jasiński, A. Piekarczyk, Diagnostyka konstrukcji żelbetowych, Metodologia, badania polowe, Badania laboratoryjne betonu i stali, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
- [2] Lista opracowanych metod badawczych wykonywanych przez Barg Diagnostykę Budowli Sp. z o.o.; listopad 2014
- [3] Materiały reklamowe firmy Hilti
- [4] Materiały reklamowe firmy Lithoscope
- [5] Materiały reklamowe firmy Proceq
- [6] Materiały własne firmy Barg Diagnostyka Budowli Sp. z o.o.