



Sika Poland Sp. z o.o.
ul. Karczkowska 89
02-871 Warszawa
tel. (0-22) 31-00-700
fax. (0-22) 31-00-800
sika.poland@pl.sika.com
www.sika.pl

Doświadczenia firmy Sika we wzmacnianiu obiektów zabytkowych

We współczesnym, dynamicznie rozwijającym się świecie człowiek pragnie zmieniać i ulepszać większość aspektów środowiska naturalnego. Ta nieunikniona działalność ludzka nie ominęła również budowli zabytkowych i ich bezpośredniego otoczenia. W budynkach swoje siedziby lokują rozmaite instytucje, budowle zabytkowe i przemysłowe niejednokrotnie adaptowane są na biura, hotele, restauracje lub nawet centra rozrywkowe.

Także bezpośrednie otoczenie konstrukcji zabytkowych podlega niejednokrotnie radykalnym zmianom: prowadzone w sąsiedztwie roboty ziemne często prowadzą do zmian warunków gruntowo-wodnych, wytyczane są nowe ulice, a w zwartej zabudowie miejskiej powstają linie tramwajowe oraz kolej podziemna. Niebagatelny wpływ na szybkość degradacji istniejących budowli ma także zanieczyszczenie chemiczne środowiska.

Wszystkie opisane powyżej czynniki powodują konieczność przeniesienia obciążeń i naprężeń w istniejącej konstrukcji, do których nie jest ona przystosowana. Taka sytuacja wymusza stosowanie do wzmocnień konstrukcji zabytkowych nowoczesnych technologii, które umożliwiają osiągnięcie aktualnych wymagań technicznych, przy jednoczesnej możliwie najmniejszej ingerencji w ich wygląd i estetykę.

W ciągu ponadstuletniej obecności na wszystkich rynkach budowlanych świata firma Sika stworzyła wiele komplementarnych, uzupełniających się systemów materiałowych, użytecznych na poszczególnych etapach budowy bądź rekonstrukcji, wymagających indywidualnego podejścia obiektów budowlanych. W ostatniej dekadzie XX w. wprowadzono technologię wzmacniania konstrukcji przyklejanymi zewnętrznymi materiałami kompozytowymi.

Wzmacnianie strukturalne obiektów zabytkowych

Obecnie prawie wszystkie drobiazgowo i szczegółowo roboty konserwatorskie wykonywane są przez wysoko specjalistyczne firmy, stosujące materiały odpowiednie do wieku i rodzaju remontowanej konstrukcji. W takim przypadku mało jest technologii materiałowych, stosowanych w budownictwie przemysłowym, które można, z powodzeniem, bez dodatkowych modyfikacji, zastosować do opisywanych prac.

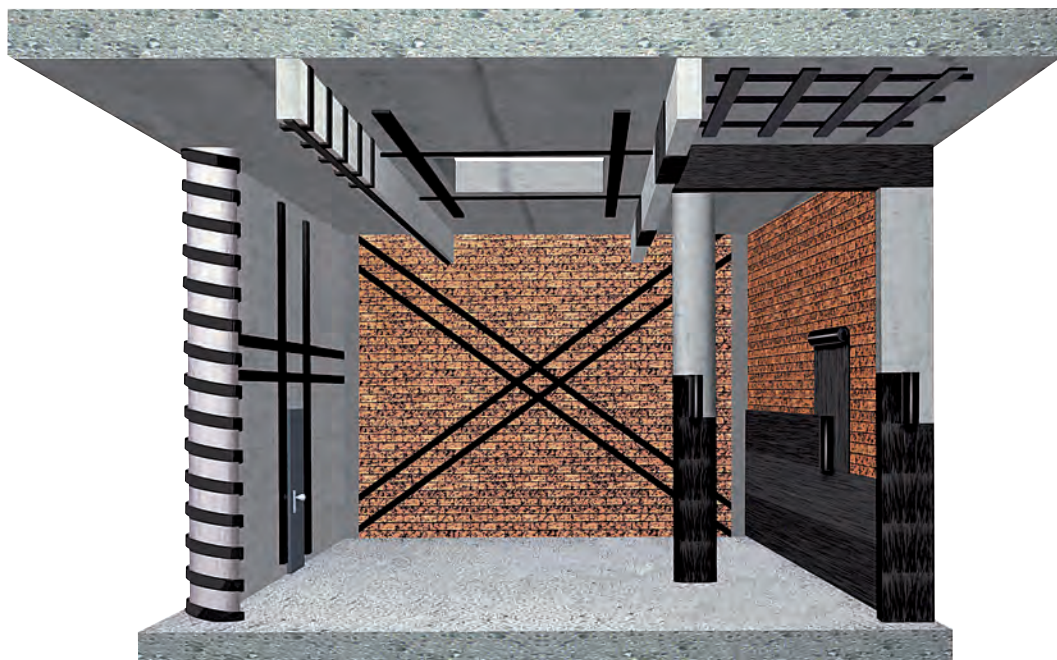
Jednym z nielicznych wyjątków jest, stosowana coraz częściej w Polsce i na świecie,

technologia wzmacniania konstrukcji przyklejanymi zewnętrznymi taśmami i matami kompozytowymi z włókien węglowych CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic).

Ze względu na postępującą degradację, utratę pierwotnych parametrów wytrzymałościowych oraz zmiany w obrębie oraz najbliższym otoczeniu budowli (drżania, ruch ciężkich pojazdów, obciążenia dynamiczne, budowle podziemne, zmiana warunków gruntowo-wodnych itp.), często zmuszeni jesteśmy odtwarzać pierwotne lub przystosować konstrukcje do nowych, często znacząco zwiększonych obciążeń. Wielokrotnie alternatywą do wymiany poszczególnych elementów konstrukcyjnych jest ich strukturalne wzmocnienie.

O przydatności doklejanych zewnętrznymi wzmocnień materiałami CFRP do remontów obiektów zabytkowych zdecydowało kilka podstawowych czynników.

Podstawową zaletą wzmacniania strukturalnego obiektów budowlanych systemem doklejanych zewnętrznymi elementami kompozytowych CarboDur jest jego uniwersalność. Dzięki zastosowaniu specjalnego kleju epoksydowego, taśmy i maty kompozytowe zestawu CarboDur można stosować na różnego rodzaju odpowiednio oczyszczone podłoża (drewno, cegła, kamień, beton, stal itp.), pracujące w różnych warunkach wilgotności i temperatury. Wzmocnienie nie wymaga ingerencji w strukturę konstrukcji, a jedynie odpowiednie przygotowanie podłoża. Dzięki temu metoda doklejania zbrojenia stała się znacznie prostsza, szybsza i bardziej ekonomiczna. Prostota i łatwość aplikacji umożliwia wykonanie wzmocnienia nie tylko przez wyspecjalizowane firmy. Parametry fizyczne użytych materiałów, takie jak ich wytrzymałość i ciężar właściwy elementów wzmacniających, umożliwiają zastępowanie znacznie większych elementów stalowych lub drewnianych cienkimi, lekkimi elementami CFRP.



Rys. 1. Uniwersalne zastosowanie elementów kompozytowych systemu CarboDur do wzmacniania różnych konstrukcji budowlanych.

Doklejane zewnętrznie materiały kompozytowe z włókien węglowych (CFRP), o znacznie wyższych parametrach wytrzymałościowych, praktycznie nie zwiększają ciężaru i wymiarów wzmacnianych elementów. Niewielkie przekroje użytych do wzmocnienia taśm i mat oraz dobra przyczepność kleju epoksydowego do ogromnej większości materiałów budowlanych, umożliwia łatwe „ukrycie” elementów wzmacniających, dzięki czemu oryginalna konstrukcja nie jest oszpecona materiałami „obcymi”.

System taśm CFRP Sika CarboDur jest kombinacją włókien węglowych, zatopionych w matrycy z żywicy epoksydowej. Włókna węglowe są ułożone równolegle, jednokierunkowo, tworząc materiał o własnościach anizotropowych. Uzupełnieniem taśm jest system mat CFRP SikaWrap®, przeznaczony głównie do wzmacniania elementów konstrukcji, w których występują naprężenia rozciągające i ścinające. Maty stosowane są głównie do wzmacniania dużych powierzchni (np. murów i ścian) oraz tam, gdzie stosowanie taśm (Sika® CarboDur) jest, ze względu na skomplikowaną geometrię wzmacnianego elementu, utrudnione lub ekonomicznie nieuzasadnione. Maty CFRP (SikaWrap®) są szczególnie przydatne do wzmocnień słupów, dźwigarów i innych elementów o skomplikowanej geometrii.

System odpornych na korozję, doklejanych klejami na bazie żywic epoksydowych, elementów CFRP (systemu Sika® CarboDur) zastępuje metodę wzmacniania konstrukcji przez doklekanie płaskowników stalowych.

Dodatkowym elementem systemu wzmocnień są kształtki Sika® CarboShear. Jest to system L-kształtnych elementów z włókien węglowych, przeznaczony do wzmacniania stref ścinanych w konstrukcjach betonowych. Efektywność kształtek z włókien węglowych została potwierdzona pełnymi badaniami laboratoryjnymi i zastosowaniem praktycznym, najczęściej w przypadku zmiany schematu statycznego konstrukcji, jej uszkodzenia, pożaru, trzęsienia ziemi, tąpnięcia lub powstania błędu projektowego lub wykonawczego.

Materiały CFRP (systemu CarboDur), nawet bez stosowania jakichkolwiek zabezpieczeń antykorozyjnych, są odporne na korozję, wpływ wilgoci, agresywnego środowiska i innych procesów związanych ze starzeniem się materiału. W praktyce nie istnieje problem zmniejszenia nośności konstrukcji, ze względu na np. korozję materiału i obniżenia jego parametrów wytrzymałościowych.

Taśmy CFRP (Sika® CarboDur) mogą być dostarczone w dowolnej długości. W ten sposób eliminowana jest konieczność połączeń, które w przypadku zastosowania płaskowników stalowych często nie były możliwe do uniknięcia.

Technologia Sika® CarboDur jest żywa i systematycznie rozwijana i ulepszana, coraz powszechniej stosowany jest (szczególnie w budownictwie mostowym) system wzmacniania za pomocą taśm węglowych wstępnie naprężonych. Wykonanie wzmocnienia nawet w ujemnych temperaturach (choćby aby przebiegał proces wiązania kleju, wymagane są temperatury powyżej +10°C) jest obecnie możliwe przy użyciu urządzenia Sika® CarboDur Heating Device. Jego działanie jest oparte na przepływie prądu o określonych parametrach przez taśmy węglowe, powoduje to wzrost temperatury, podgrzanie kleju i, co za tym idzie, jego znacznie szybsze utwardzenie.

Materiały CFRP są 40-krotnie lżejsze od stali, a ich wytrzymałość na rozciąganie przekracza 300 000 MPa. Cechy wytrzymałościowe, w połączeniu z niewielkim ciężarem, umożliwiają wykonanie prac, które wcześniej były niemożliwe albo bardzo trudne, bez użycia ciężkiego sprzętu, długiego wyłączania obiektu z użytkowania czy budowania skomplikowanych rusztowań.

Wszystkie wyżej wymienione argumenty sprawiły, że osoby odpowiedzialne za prace remontowe w obiektach zabytkowych chętnie stosują opisane rozwiązania. Jednym z pierwszych obiektów wzmocnionych materiałami CFRP jest zabytkowy, drewniany most w Sins w Szwajcarii. Wzmocnienie zostało przeprowadzone w 1991 r., i od tego czasu obiekt jest stale monitorowany, stanowiąc jedną z bazowych referencji wprowadzanego w tamtym czasie nowego systemu.



Przykłady wzmocnień konstrukcji materiałami kompozytowymi CFRP budowli zabytkowych.

W Polsce jednym z pierwszych przykładów zastosowania materiałów kompozytowych do wzmocnienia obiektu zabytkowego było, wykonane w 1998 r., wzmocnienie kamiennych kolumn dziedzińca zamku w Baranowie Sandomierskim. Przed przyklejeniem wzmocnienia wykonano iniekcję zespalającą zarysowaną konstrukcję. Wzmocnienie polegało na przyklejeniu po obwodzie kolumny paska maty SikaWrap®, a następnie, po związaniu kleju, pokryciu go warstwą zaprawy mineralnej o wyglądzie zbliżonym do pierwotnego podłoża kamiennego. Jednym z argumentów, przemawiających za zastosowaniem wzmocnienia z kompozytów węglowych, było usunięcie wzmocnienia dotychczas istniejącego, wykonanego z obręczy stalowych (rys. 3).

Rys. 2. Wzmocnienie kamiennych kolumn, przyklejenie paska maty SikaWrap®.



Rys. 3. Kolumny, wzmocnione matami SikaWrap® po lewej stronie (wzmocnienie oznaczone strzałką), po prawej wcześniej istniejące wzmocnienia za pomocą obręczy stalowych.



Obecny stan konstrukcji potwierdził trafność wyboru metody wzmocnienia, a także dokładność i jakość przeprowadzonych prac. Po ponad sześciu latach użytkowania wzmocnionej konstrukcji należy stwierdzić, że jej wygląd nie zmienił się od momentu zakończenia prac (rys. 4).

System materiałów kompozytowych CarboDur został także wykorzystany do wykonania niewielkich wzmocnień zarysowanych konstrukcji murowanych w wielu kościołach, głównie krakowskich, m.in.: św. Katarzyny, św. Idziego, św. Krzyża, św. Łazarza oraz w bazylice w Miechowie, opactwie Benedyktynów w Tyńcu. W 2000 r., w zamku w Baranowie Sandomierskim wykonano wzmocnienie stropów. W archikatedrze lubelskiej z pasków maty SikaWrap® wykonano szkielet wzmacniający kopułę podtrzymującą latarnie nad nawą boczną. Najdłuższy kawałek taśmy Sika® CarboDur w Polsce użyto przy wzmacnianiu obwodowym baszty na zamku w Krasicy. W 2002 r. wykonano wzmocnienia w budynku Muzeum Archeologicznego w Krakowie. Budynek, przed przystąpieniem do prac oraz obecnie, jest poddawany obserwacjom i pomiarom. Wykonane prace na tym obiekcie, których znaczącą część stanowiły wzmocnienia wykonane taśmami Sika® CarboDur, spowodowały między innymi znaczne zmniejszenie szerokości rozwierania się rys pracującej konstrukcji.

W 1999 r. wykonano strukturalne wzmocnienie stropów XVII-wiecznego kościoła pod wezwaniem św. św. Piotra i Pawła w Krakowie. Najprawdopodobniej osłabienie warstw podłoża spowodowało postępujące nierównomierne osiadanie fundamentów, co doprowadziło do powstania zarysowań na ceglanych sklepieniu w głównej nawie świątyni. Jedną z przyczyn osłabienia podłoża pod fundamentami były odpady organiczne i śmieci ze znajdujących się w pobliżu zakładów garbarskich. Ze względu na łatwość wykonania i mały ciężar zdecydowano się na wzmocnienie sklepienia taśmami Sika® CarboDur.

Również ciekawą realizacją jest wzmocnienie najwyższej konstrukcji drewnianej w Europie – zbudowanej w 1935 r. wieży radiostacji gliwickiej. Będąca pod stałym nadzorem Politechniki Śląskiej maszt wzmocniono w 1999 r. Wzmocnienie miało na celu zespolenie rysującego się wzdłuż włókien przekroju (rys. 5). Krótkie kawałki taśm przyklejono po obwodzie na każdy z boków belki, prostopadle do kierunku słoju drewna.

Rys. 4. Stan obecny wzmocnionej konstrukcji.



Rys. 5. Maszt radiowy w Gliwicach, wzmocnienie belek kawałkami taśm.



Rys. 6. Dzwon Zygmunta.



Rys. 7. Kościół św. Mikołaja.

W katedrze na Wawelu taśm CarboDur użyto do wzmocnienia drewnianego jarzma, podtrzymującego dzwon Zygmunta. Wzmocnienie polegało na wklejeniu w istniejące pęknięcie, uprzednio wypełnione klejem, taśm Sika® CarboDur. Taśma węglowa była jednym z elementów naprawy i wzmocnienia jarzma.

Kościół św. Mikołaja (rys. 6) jest jednym z najstarszych obiektów zabytkowych Krakowa. Obiekt jest objęty ochroną konserwatorską (wpis do rejestru zabytków pod nr. A-77). Kościół zlokalizowany jest w centralnej części Krakowa, przy ul. Kopernika 9, tuż przy linii kolejowej nr 91.

W roku 2009 pracownicy Politechniki Krakowskiej opracowali ekspertyzę konstrukcyjną, ukazującą szereg uszkodzeń konstrukcji obiektu, w tym pęknięć i zarysowań w strukturze muru. W pierwszej kolejności wykonano prace konstrukcyjne, związane z stabilizacją posadowienia, następnie montażem elementów wzmacniających (ramy i ściągi stalowe) oraz pracami naprawczymi, związanymi ze wzmocnieniem elementów konstrukcyjnych drewnianych. W kolejnym etapie natomiast wykonano wzmocnienia taśmami i matami z włókna węglowego oraz scalenia przez iniekcję pęknięć i zarysowań murów, a także odtworzenie ocieplenia sklepień.

Autor projektu wzmocnień (Firma Konstrukcyjna L. Sobieszek) i Sika Poland wzięły udział w prestiżowym, międzynarodowym konkursie, dotyczącym projektów naprawy i zabezpieczenia betonu: 2013 Awards for Outstanding Concrete Repair Project. Konkurs organizowany jest przez amerykańskie stowarzyszenie International Concrete Repair Institute z siedzibą w Chicago.

14 listopada 2013 r. otrzymaliśmy nagrodę Award of Excellence przyznaną za "Excellence in the Repair of Historic Structures".

Możliwości opisanej technologii zostały wielokrotnie wykorzystane do wzmacniania zabytkowych obiektów sakralnych z różnych epok w wielu krajach. Najwięcej kościołów i innych obiektów zabytkowych wzmocniono we Włoszech. Tam też, w Ankonie, prowadzono wielkoskalowe badania i testy laboratoryjne, określające przydatność materiałów systemu CarboDur do wzmocnień ścian, sklepień, łuków w murowanych konstrukcjach ceglanych i kamiennych. Znane są także zastosowania elementów kompozytowych CarboDur do wzmocnień obiektów zabytkowych i sakralnych w obu Amerykach i na Dalekim Wschodzie.

Podsumowanie

Remonty konstrukcji zabytkowych wymagają od wszystkich stron, zaangażowanych w proces, indywidualnego podejścia do problemu oraz zastosowania materiałów spełniających zarówno kryteria ochrony konserwatorskiej obiektu, jak i posiadających odpowiednie parametry mechaniczne. W celu zapewnienia jak najlepszej jakości i trwałości wykonywanych prac konieczne jest, aby wszelkie prace były wykonywane ściśle według reżimu technologicznego, wymaganego przez dostawcę technologii. Wskazana jest też kontrola poprawności prowadzonych prac przez kompetentną osobę z ramienia dostawcy, najlepiej w porozumieniu z osobą nadzorującą całość prac. Bardzo przydatna jest możliwość empirycznego sprawdzenia proponowanych rozwiązań i poznanie ich przydatności na podstawie istniejących obiektów referencyjnych. Odpowiednio wyremontowane i zabezpieczone obiekty są najlepszym potwierdzeniem trafności wyboru technologii naprawy.

*mgr inż. Tomasz Gutowski
dr inż. Janusz Potrzebowski
mgr inż. Marek Kawalec*