

Tomasz GUTOWSKI
SIKA Poland

Grażyna ŁAGODA
Instytut Dróg i Mostów - Politechnika Warszawska

Marek ŁAGODA
Instytut Badawczy Dróg i Mostów – Warszawa

Wzmocnienia konstrukcje metodą wstępnie naprężonych taśm kompozytowych z włókien węglowych – doświadczenia polskie.

WSTĘP

Technologie wzmocnienia konstrukcji, doklejanymi zewnętrznymi taśmami kompozytowymi z włókien węglowych, po raz pierwszy zastosowano w Polsce w 1997 roku. w ten sposób wzmocniono nowobudowany szpitala miejski w Lubinie. w następnym roku taką samą technologię użyto do wzmocnienia pierwszego mostu nad rzeką Wiar k/Przemyśla. Od tego czasu, w Polsce, taśmy kompozytowe z włókien węglowych zastosowano do wzmocnień dziesiątków mostów i innych obiektów budowlanych. Środowisko inżynierskie w pełni doceniło możliwości i zalety, metody, która jest prostą i co najważniejsze znacznie krótsza w realizacji, a często także konkurencyjną ekonomicznie, alternatywą do tradycyjnych metod wzmocniania konstrukcji jak np. sprężenie zewnętrzne, zwiększenie przekroju czy zmiana schematu statycznego.

Od czasu pierwszego krajowego zastosowania taśm kompozytowych z włókien węglowych technologia ulegała kolejnym modyfikacjom i dalszemu rozwojowi. w 1999 roku po raz pierwszy zastosowano maty kompozytowe do wzmocniania stref ścinanych i elementów o skomplikowanej geometrii. Potem pojawiły się pierwsze zastosowania specjalnych L-kształtek kompozytowych z włókien węglowych oraz metoda aplikacji tzw. Sika CarboDur Heating Device, umożliwiająca osiągnięcie pełnej wytrzymałości systemu już w kilka godzin po aplikacji, niezależnie od temperatury otoczenia.

Pomimo ciągłego rozwoju, istniała ciągle potrzeba większego wykorzystania parametrów zastosowanych taśm kompozytowych. Taśmy przyklejane pracują jako dodatkowe zbrojenie konstrukcji betonowej. Z uwagi na to, że zaleca się nie przekraczanie wartości granicznych odkształceń konstrukcji wzmocnianej i istniejących stalowych wkładek zbrojeniowych, w doklejonych taśmach praktycznie nie osiągamy odkształceń powyżej wartości 0,4%. Uzyskiwany efekt jest niewspółmierny do możliwości zastosowanego materiału. Taśmy kompozytowe z włókien węglowych charakteryzują się bardzo dużym zakresem liniowych odkształceń sprężystych, dochodzących do wartości 1,5%. Dopuszczalne wydłużenie przyklejonego elementu kompozytowego jest parametrem decydującym o sposobie jego wykorzystania oraz wpływa na opłacalność stosowania tego typu wzmocnienia.

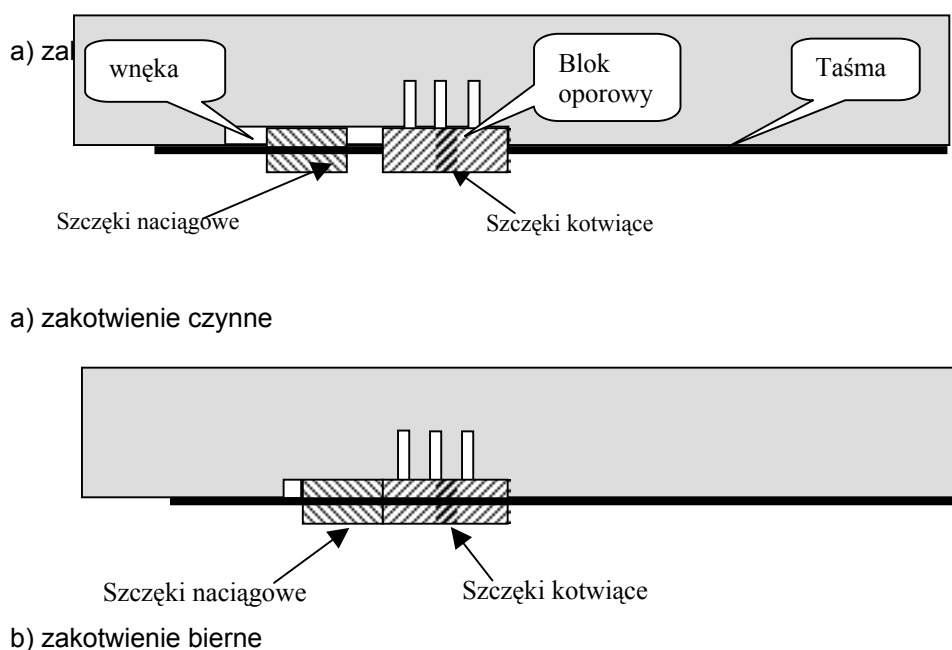
Od dawna istniały już liczne próby wzmocnienia konstrukcji taśmami wstępnie naprężonymi. Dotychczas w świecie wzmocniono przyklejanymi sprężonymi taśmami węglowymi kilkanaście mostów i innych konstrukcji budowlanych. Pierwszy most z betonu sprężonego wzmocniono taśmami wstępnie naprężonymi w Badenii Wirtembergii, w Niemczech. w Polsce, rozwijając istniejące rozwiązania, przetestowano w warunkach laboratoryjnych rodzimy system wstępnego naprężania taśm [1].

Opis technologii naprężania taśm - główne problemy

Taśmy kompozytowe z włókien węglowych mają wiele cech i parametrów stanowiących o ich uniwersalnym zastosowaniu. Należy jednak pamiętać, że charakteryzują się bardzo niską wytrzymałością w kierunku prostopadłym do włókien, a także wykazują znikomą zdolność przenoszenia momentów zginających we wszystkich płaszczyznach. Ponadto współczynniki tarcia między taśmą, a innymi trwałymi materiałami konstrukcyjnymi charakteryzują się niewielkimi wartościami. Najważniejszym, ale i najtrudniejszym, w przypadku wstępnego naprężania taśm, jest problem odpowiedniego ich zakotwienia. Kolejną przeszkodą jest odpowiedni sposób naciągania taśm tak, aby uniknąć koncentracji naprężeń o niebezpiecznym poziomie wartości.

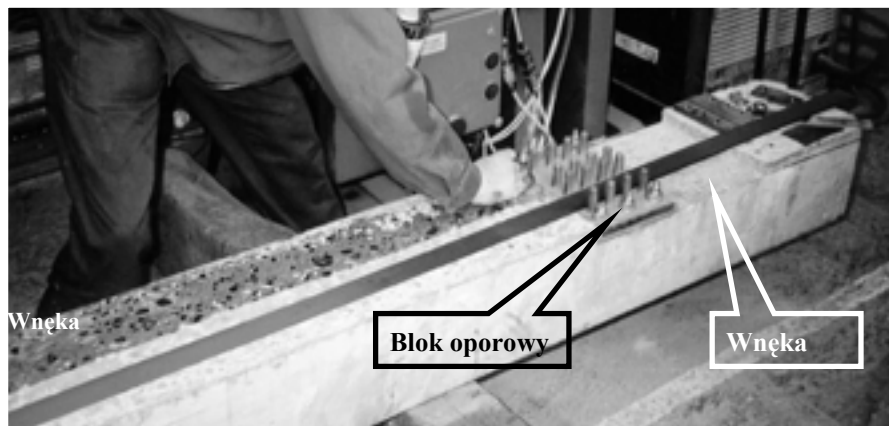
Opracowany przez autorów system naprężania taśm kompozytowych z włókien węglowych wykorzystuje doświadczenia zagraniczne, głównie niemieckie. Został jednak pomyślany jako bardziej uniwersalny, dostosowany do zróżnicowanych ze względu na materiał czy kształt konstrukcji wzmacnianych i różnych możliwości wywoływania sił sprężających.

Na rys. 1. pokazano schematycznie zasadę sprężania taśm.

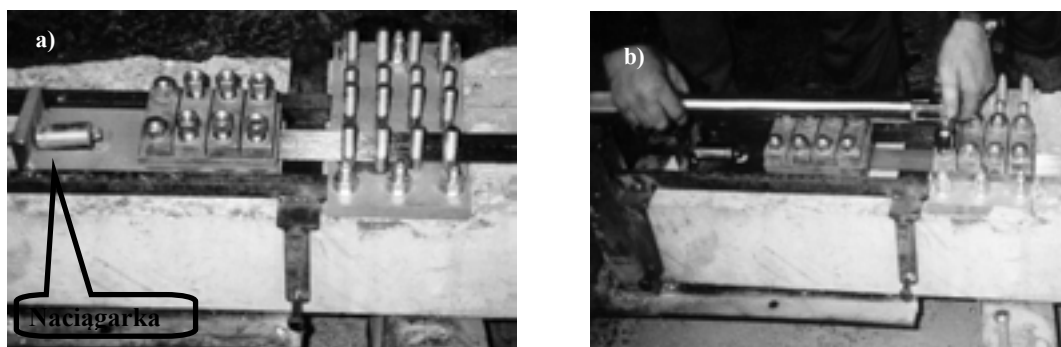


Rys. 1. Schemat systemu sprężania taśm.

W strefie zakotwienia każdej taśmy należy wykonać wnękę w powierzchni konstrukcji, potrzebną do umieszczenia bloku oporowego. Ponadto wnęka ta umożliwi umieszczenie na odpowiednim poziomie i miejscu szczęk naciagowych. w pierwszej kolejności we wnękę umieszczamy blok oporowy, który kotwiony jest w konstrukcji wzmacnianej w taki sposób, aby tworzył z powierzchnią elementu konstrukcji wzmacnianej jedną płaszczyznę. Między blokami oporowymi w torze taśmy na powierzchnię wzmacnianej konstrukcji nanosi się 1 mm warstwę systemowego kleju epoksydowego (rys. 2). Następnie taśma jest sekwencyjnie mocowana w szczekach naciagowych po obu jej stronach (biernej i czynnej) i stopniowo naprężana do uzyskania założonych wartości (rys.3a). Taśmę naciąga się jedynie od strony czynnej. Po ostatecznym naciągnięciu taśmy, jest ona przymocowana (przy pomocy specjalnej, dodatkowej szczęki kotwiącej) do, wcześniej zakotwionych w podłożu, bloków oporowych (rys. 3b).



Rys. 2. Belka przygotowana do sprężania. Blok oporowy wbudowany w konstrukcję. Widoczna odpowiednio ukształtowana wnęka. Przygotowany (oczyszczony) do nałożenia kleju tor taśm.



Rys. 3 a) Naciąganie i sekwencyjne mocowanie taśmy w szczękach naciągowych, b) po ostatecznym naprężeniu taśma mocowana jest do bloku oporowego.

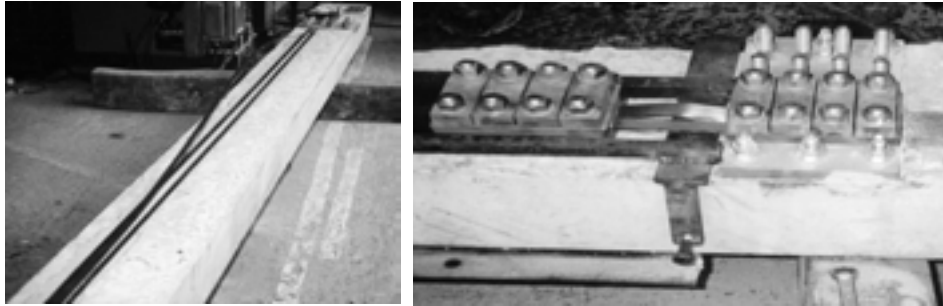
W zależności od użytego urządzenia naciągowego i/lub ukształtowania konstrukcji (oraz np. odległości od podpory), szczęki naciągowe po stronie czynnej mogą być ciągnięte lub pchane w zależności od dostępnego urządzenia siłowego. Może to być np. lewara lub naciągarka. Oprócz pokazanych na rys. 1. urządzeń potrzebne jest oparcie dla urządzenia naciągowego. Oparcie to może być usytuowane za lub przed szczękami naciagowymi. Gdy będzie używana naciągarka, to opór znajdzie się za szczękami, gdy użyjemy lewara, to oparcie umieścimy przed nimi. Po zakończonym procesie naprężania taśm szczęki naciągowe są po obu stronach (czynnej i biernej) demontowane, a końcówki taśmy przyklejane do konstrukcji po uprzednim wypełnieniu wnęk zaprawą klejową (rys. 4).



Rys. 4. a) Zakończenie sprężania pierwszej taśmy na belce, b) zakończenie sprężania drugiej taśmy

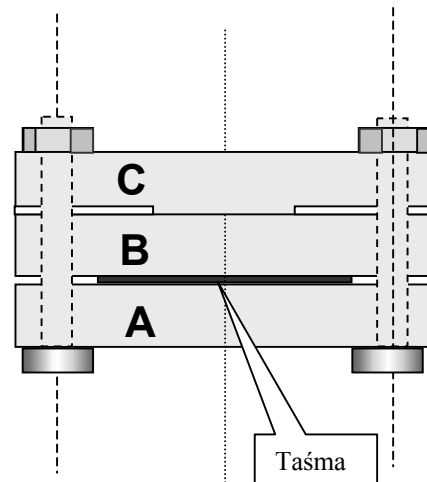
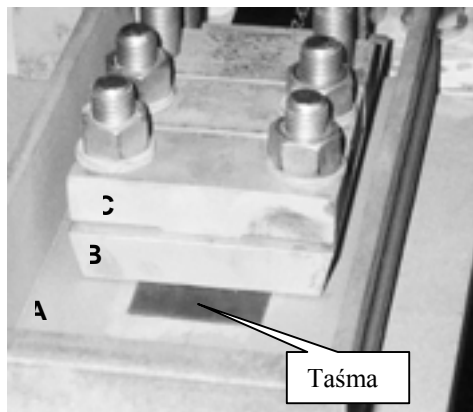
Szczęki naciągowe

Szczęki naciągowe to jeden z najważniejszych elementów całego systemu wstępnego naprężania taśm kompozytowych z włókien węglowych. Są one wykorzystywane w najtrudniejszym momencie całej operacji. Od odpowiednio dobranej siły naciągu i docisku zależy powodzenie procesu sprężania. w czasie naciągania taśmy możliwe jest rozwarstwienie taśmy i jej zniszczenie. Szczęka musi być bardzo starannie przesuwana tak, aby taśma była prowadzona idealnie równo, bez skręcania. Również docisk do taśmy musi być równomierny. w przeciwnym razie istnieje duże prawdopodobieństwo, że taśma może ulec zniszczeniu (rys. 5).



Rys. 5. Różne postacie zniszczenia taśmy sprężanej.

Równomierny rozkład naprężeń, wywołanych dociskiem, jest zapewniony przez odpowiednią konstrukcją szczęk naciagowych. Składają się one z dwóch płyt stalowych, klocków dociskowych i śrub sprężających z nakrętkami (rys. 6).



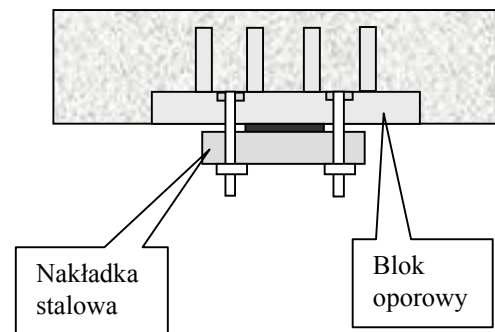
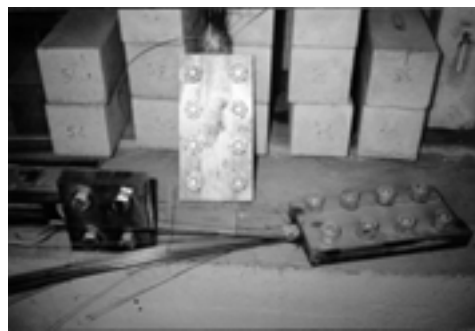
Rys. 6. Konstrukcja szczęk naciagowych.

Płyta „A” jest podstawą szczęki, na niej układa się taśmę kompozytową. Na taśmę położony jest element dociskowy „B”, na który dodatkowo położone są klocki „C”. Klocki te są ukształtowane tak, aby docisk śrub sprężających rozkładał się na taśmę kompozytową centralnie, w sposób równomierny. Po naprężeniu taśmy, jej zakotwieniu do bloku oporowego za pomocą szczęki kotwiącej, szczęki naciągowe mogą być zdemontowane i usunięte. Demontaż szczęk musi być przeprowadzany w ściśle określonej kolejności, aby równomiernie i stopniowo zmniejszać docisk taśmy.

Elementy szczęk naciagowych mogą być używane wielokrotnie. Jednak za każdym razem powierzchnie kontaktowe elementów „A” i „B” z taśmą kompozytową muszą być odpowiednio spiaskowane i oczyszczone.

Szczęki kotwiące i blok oporowy

Zadaniem szczęk kotwiących jest utrzymywanie taśm w stanie naprężonym po zdemontowaniu szczęk naciągowych. Jednym z głównych elementów konstrukcji jest płyta bloku oporowego. Powierzchnia kontaktująca się z naprężoną taśmą musi być przed operacją sprężania odpowiednio przygotowana. Najlepiej rozbić to metodą strumieniowo-ścierną, przez tzw. piaskowanie. Drugi ważny element to stalowa nakładka przylegająca do taśmy kompozytowej. Powierzchnie kontaktowe tego elementu również muszą być odpowiednio oczyszczone, najlepiej metoda strumieniowo-ścierną. Dobór odpowiedniej powierzchni i siły docisku wymagał żmudnych badań statycznych i dynamicznych. Na rys. 7a przedstawiono różne rozwiązania, dające pozytywny wynik. w końcu spośród nich wybrano takie, które gwarantuje dobre kotwienie i montaż w jak najkrótszym czasie (rys. 7b). Z tego względu wyeliminowano również pochodne dobre rozwiązania, w których jednak wymagany był montaż z użyciem kleju. Czas montażu jest tu niezwykle istotny z uwagi na to, że dopiero po jego zakończeniu można zwolnić szczęki naciągowe, a to oznacza, że również całą resztę aparatury i osprzętu sprężającego.



Rys. 7. a) Różne szczęki kotwiące, b) przyjęte rozwiązanie.

Oparcia są konstrukcjami koniecznymi do tego, aby wywołać i utrzymać siłę sprężającą dopóty, dopóki nie przejmą jej szczęki kotwiące. Potem oparcia są demontowane i usuwane. Konieczne jest, aby były jak najprostsze i nie pozostawiały skutków, mających wpływ na pracę elementów, do których były montowane.

Konstrukcje oparcia zależą od kształtu konstrukcji wzmacnianej oraz od tego, jak realizowana jest siła sprężająca. Sprowadza się to do ustalenia, czy element jest konstrukcją belkową, czy płytową. Ważne jest także czy można kotwić oparcia od spodu, czy tylko z boku konstrukcji. Ważne jest również, czy szczęki naciągowe są pchane, czy ciągnięte. Właściwie, są to konstrukcje niewiele różniące się w pomysłach od konstrukcji oporowych przy sprężaniu konwencjonalnych cięgien sprężających.

Podsumowanie

Możliwość wstępnego naprężania taśm kompozytowych z włóknami węglowymi (CFRP) otwiera nowe możliwości wzmocnienia istniejących konstrukcji. Dzięki sprężaniu, przyklejane taśmy CFRP włączają się do przenoszenia obciążeń stałych konstrukcji oraz powodują redukcję naprężeń w istniejącym zbrojeniu wewnętrznym. Zakotwienia przejmują znaczną część siły rozwarstwiającej i zdecydowanie zmniejszają naprężenia ścinające w sklepinie.

W przypadku wzmocnienia konstrukcji taśmami kompozytowymi z włókien węglowych (CFRP) bez sprężenia, bardzo duża wytrzymałość na rozciąganie wykorzystywana jest tylko w niewielkim stopniu. Wstępne naprężanie taśm pozwala na pełniejsze wykorzystanie ich nośności, a przez to zwiększenie efektywności ekonomicznej wzmocnienia.

Technologia wstępnego naprężania taśm kompozytowych Sika CarboDur jest chroniona patentem i posiada Aprobate Techniczną IBDiM.



Sika Poland Sp. z o.o.
ul. Karczkowska 89
02-871 Warszawa
Polska

Telefon +48 22 31 00 7004
Fax +48 22 31 00 800
e-mail sika.poland@pl.sika.com
www.sika.pl

