

awarie budowlane 2015

PROJEKTOWANIE I OBLICZANIE WZMOCNIEŃ KONSTRUKCYJNYCH Z DOKLEJANYMI I WKLEJANYMI ELEMENTAMI KOMPOZYTOWYMI SYSTEMU SIKA® CARBODUR®

DAVID VAZQUEZ, SIKA Services AG

Tomasz Gutowski Janusz Potrzebowski SIKA POLAND

Streszczenie: Coraz częstsze stosowanie doklejanych i wklejanych wzmocnień konstrukcji taśmami, matami, prętami i kształtkami z włókien węglowych CFRP wymaga narzędzi wspomagających odpowiednie projektowanie i wymiarowanie. Prostota, funkcjonalność i ciągle wzrastająca liczba tego typu wzmocnień powodują konieczność opracowania programów obliczeniowych coraz to bardzie zaawansowanych, obejmujących różne warunki i jednocześnie przyjaznych dla licznej rzeszy użytkowników. Nowością jest uwzględnienie warunków pożarowych.

Prezentowany poniżej program obliczeniowy ma za zadanie pomóc użytkownikowi w obliczaniu wymaganej ilości wzmocnienia kompozytami polimerowymi zbrojonymi włóknami węglowymi (CFRP, ang. *Carbon Fiber Reinforced Polymer*) w przypadku (a) wzmacniania elementów zginanych, (b) wzmacniania elementów ścinanych oraz (c) wzmacniania elementów ściskanych. Te trzy zagadnienia są tematem kolejnych rozdziałów, w których zaprezentowano zarówno podstawy teoretyczne obliczeń, jak i instrukcję obsługi samego programu opartego na tej wiedzy.

Procedury obliczeniowe dotyczące wzmacniania materiałami kompozytowymi CFRP zaimplementowane w programie są oparte na wytycznych fib Bulletin No. 14: Design and use of Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures (z ang. Projektowanie i stosowanie zewnętrznego wzmocnienia kompozytowego w konstrukcjach żelbetowych). W pozostałych zagadnieniach programam oparty jest na wytycznych zawartych w Eurokodzie 2: Projektowanie konstrukcji z betonu oraz Eurokodzie 1: Oddziaływania na konstrukcje.

Najbardziej aktualna wersja opisanego poniżej programu obliczeniowego dostępna jest w polskiej wersji językowej na stronie www.sika.pl

1. Program Sika® Carbodur®

1.1. Instalacja i uruchomienie

Po zainstalowaniu programu wymagana jest rejestracja użytkownika, aby zapewnić działanie programu na czas nieokreślony. Należy wypełnić formularz aktywacji i wysłać go przez naciśnięcie przycisku żądania kodu aktywującego (rys. 1). W przeciwnym razie program będzie działał tylko przez 7 dni. Po kilku dniach użytkownik otrzyma kod aktywujący. Posiadając kod aktywacji można korzystać (automatycznie lub ręcznie z aktualizacji programu.

🛕 Sika - Activation	×	
First name:		
Last name:		
Company:		
Street address:		
Postal/ZIP code:		
City:		
Country:		
Phone:		
Email:		
Compatibility mode	Request activation code	
Activation code:		
	Activate software	
Days remaining: 7	OK Cancel	

Rys. 1.

1.2. Wstęp

Pakiet oprogramowania Sika® Carbodur® jest przyjaznym dla użytkownika, prostym i niezawodnym narzędziem do projektowania wzmocnienia elementów konstrukcyjnych pracujących na zginanie, ścinanie oraz ściskanie (wybór na pierwszej witrynie (rys. 2). Witryna ta umożliwia ponadto wprowadzenie informacji o projekcie



Wybór dokonywany jest albo przez wybranie jednej z ikon umieszczonych w lewym górnym rogu, lub jednego z głównych rysunków pokazanych na pierwszej witrynie. Bez względu na wybrany rodzaj wzmocnienia, proces obliczeniowy postępuje w kolejnych etapach, pokazanych na zakładkach umieszczonych w górnej części ekranu. Rodzaj oraz ilość etapów różni się w zależności od wybranej metody wzmacniania oraz danych wprowadzonych przez użytkownika Zawsze w prawym dolnym rogu umieszczony jest przycisk przejścia do następnej witryny, natomiast powrót do poprzedniej realizuje się przez naciśnięcie przycisku w lewym dolnym rogu. W przypadku wpisania do programu niedopuszczalnych lub niespójnych wartości, informacja o tym pojawi się w lewej, dolnej części ekranu.

1.3. Wzmocnienie na zginanie

Sprawdzenie stanu granicznego nośności SGN zginanego elementu wzmocnionego kompozytowymi taśmami Sika® Carbodur® lub SikaWrap® jest wykonywane przez program standardowo. Weryfikacja obliczeniowa stanu granicznego użytkowalności SGU, nośności strefy zakotwienia oraz jako nowość tego programu sprawdzenie nośności wymiarowanej konstrukcji w stanie wyjątkowym, tzn. w sytuacji pożaru jest uruchamiana jako opcja na życzenie użytkownika. Geometria przekroju poprzecznego wzmacnianego elementu żelbetowego oraz klasa betonu muszą być podane przez użytkownika. W lewym górnym rogu ekranu pokazane zostały najbardziej typowe przekroje elementów betonowych pracujących pod obciążeniem zginającym (rys. 3). Płyta i belka są rozpatrywane jako różne elementy. Po dokonaniu wyboru "płyta" program zmodyfikuje niektóre parametry wewnętrzne stosowane w obliczeniach dla belek; takie jak rozkład kompozytu, graniczne warunki geometryczne profilu i niektóre aspekty dotyczące sprawdzenia przyczepności zakotwienia. Nowością jest możliwość wymiarowania elementów złożonych z kilku identycznych profili, np. płytę kanałową jako zestaw kilku beleczek, rys. 4.



Definiowanie geometrii

Po wybraniu profilu użytkownik definiuje jego wymiary. Po lewej stronie ekranu pokazany jest przykładowy przekrój z opisem oznaczenia wymiarów. Szkic rzeczywistego przekroju widoczny jest na ekranie głównym z zachowaniem proporcji, co ułatwia wyłapanie błędnie podanych wymiarów. (rys. 3).

Program umożliwia zwymiarowanie skomplikowanych podając właściwą kombinację wymiarów. (rys. 5).

W programie założone zostały pewne wartości graniczne wymiarów tak, aby zmniejszyć ryzyko, że użytkownik poda błędne wymiary.





Definiowanie rodzaju betonu

Użytkownik definiuje rodzaj betonu albo przez wskazanie jego klasy albo przez podanie średniej wytrzymałości na ściskanie. Klasa betonu jest określana według Eurokodu 2, zgodnie z normą EN 206-1. Średnia wytrzymałość na ściskanie jest przyjmowana jako $f_{cm}=f_{ck}+8$ MPa. Użytkownik musi zdefiniować również dodatkowe parametry betonu (rys. 6), takie jak:

- częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla betonu γ_c,. Ten współczynnik zmniejsza wytrzymałość betonu na ściskanie w stanie granicznym nośności,
- współczynnik α_{cc} uwzględnia wpływ obciążenia długotrwałego oraz niekorzystny efekt sposobu przyłożenia obciążenia na wytrzymałość obliczeniową betonu na ściskanie. Zmniejsza on wartość naprężeń ściskających przy obliczeniach w stanie granicznym nośności i wytrzymałość na zginanie elementu w warunkach pożaru.

Współczynnik pełzania ($\phi = 2$) dla betonu jest automatycznie uwzględniany przy określaniu odkształceń betonu przy ściskaniu, w przypadkach obciążenia długotrwałego (stan graniczny użytkowalności, quasi-stały układ obciążeń).



1.3.1. Pręty zbrojeniowe

Istniejące zbrojenie przekroju wprowadza się do programu dodając niezależnie warstwy zbrojenia górnego i dolnego (rys. 7). Maksymalnie 10 warstw. Każda warstwa jest określona albo poprzez jej zredukowany przekrój poprzeczy albo poprzez podanie ilości i średnic prętów zbrojeniowych. Dla każdej warstwy można zdefiniować inny gatunek stali. Uwzględniany jest to także częściowy współczynnik bezpieczeństwa dla stali zbrojeniowej (γ_s).



Ostatecznie szkic przekroju pokazany na głównym ekranie jest aktualizowany na bazie danych dotyczących zbrojenia. Należy zwrócić uwagę, że pręty zostały rozmieszczone na rysunku w jednakowych odstępach (rsy. 7). W przypadku warstw określonych poprzez podanie przekroju poprzecznego stali, na rysunku pojawia się linia ciągła zamiast zaznaczonych poszczególnych prętów. Do przeprowadzenia obliczeń potrzebna jest przynajmniej jedna warstwa rozciąganego dolnego zbrojenia. W celu uniknięcia pomyłek przy wprowadzaniu danych, zostały wprowadzone ograniczenia dla wartości otuliny betonowej oraz maksymalnej ilości prętów zbrojeniowych w jednej warstwie.

1.3.2. Obciążenia

Obciążenia wprowadzane są jako momenty zginające występujące w wymiarowanym przekroju wzmacnianego elementu zginanego. Obowiązkowo należy podać moment zginający obciążający wymiarowany przekrój w chwili aplikacji wzmocnienia (taśm lub mat węglowych), M_0 . Optymalnie wzmocnienie (taśmy lub maty) powinno być aplikowane w stanie maksymalnego możliwego odciążenia elementu wzmacnianej konstrukcji, co zapewni, że elementy wzmacniające zostaną włączone jak najwcześniej do współpracy z istniejącym zbrojeniem prętami zbrojeniowymi i dzięki temu zostaną optymalnie wykorzystane (rys. 8).



Drugi wymagany moment zginający, to maksymalny moment obliczeniowy (od obciążeń własnych i całkowitych użytkowych), $M_{s,d}$, jakim ma zostać obciążoną wzmacniana konstrukcja zginana (rys. 8).

Dla ułatwienia okienkom z lewej strony ekranu, w które użytkownik wprowadza wartości ww. momentów zginających towarzyszą piktogramy na ekranie głównym, które w czytelny sposób wskazują od jakich obciążeń kolejne momenty muszą być wprowadzone (rys. 9). Przykładowo piktogram dla momentu M_0 przedstawia belkę zginaną wyłącznie ciężarem własnym i niewielkimi obciążeniami wynikającymi z prowadzenia robót budowlanych. Analogicznie piktogram odpowiadający momentowi $M_{s,d}$ pokazuje belkę z pełnym obciążeniem użytkowym oraz symbolem współczynnika obciążenia wskazującym, że jest to moment obliczeniowy (rys. 9).



Rys. 9.

Opcjonalnie użytkownik może zwymiarować wzmacnianą konstrukcję na stan graniczny użytkowalności (SGU). W tym celu należy zaznaczyć odpowiednie pole po lewej stronie witryny. Otwierają się wówczas dodatkowe dwa okienka, w które należy wpisać wartości momentów decydujących o pracy konstrukcji w SGU, tzn. maksymalny moment charaktery-styczny $M_{ser,ck,d}$, na jaki wymiarujemy konstrukcję (pikto-gram analogiczny jak wymieniony powyżej, lecz bez symbolu współczynnika obciążeń, co wskazuje, że jest to moment charakterystyczny) oraz w drugim okienku moment $M_{ser,qp,d}$, w którym uwzględnia się zredukowane obciążenia zmienne, zgodnie z Eurokodem 2 określane jako zmienne od obciążeń prawie stałych. We wszystkich przypadkach po prawej stronie okienek pokazane są wartości graniczne. W przypadku wpisania nieodpowiedniej wartości, w dole ekranu wyświetlona zostanie informacja ostrzegawcza

Istotną nowością programu jest możliwość wymiarowania konstrukcji w stanie wyjątkowym. Jednym z takich stanów jest pożar, określany normowo jako oddziaływanie o charakterze wyjątkowym. Zgodnie z dotychczas jeszcze stosowaną starą normą dotyczą wymiarowania żelbetu, jak i z Eurokodem 2 wymiarując konstrukcję pracującą podczas pożaru należy przyjmować zredukowane obciążenia (czyli mniejszy moment zginający) oraz charakterystyczne (czyli wyższe) wytrzymałości betonu i stali zbrojeniowej. Są trzy opcje tej redukcji przewidziane Eurokodem 2, tzn. 70% momentu $M_{s,d}$, moment $M_{ser,qp,d}$ lub kombinacja obciążeń ustalona przez użytkownika. Decyduje użytkownik przez zakreślenie wybranej opcji (rys. 7 i 8), jednak po zdefiniowaniu obciążeń w stanie granicznym użytkowalności, program przyjmuje obciążenie quasi-stałe ($M_{ser,qp,d}$) jako wartość domyślną. W przeciwnym razie wartość domyślna jest dostosowana do 70% maksymalnego obciążenia obliczeniowego ($0.7 \times M_{s,d}$).

W licznych przypadkach może się okazać, że konstrukcja zwymiarowana wg. tych zasad, wymagająca "na co dzień" wzmocnienia, podczas pożaru jest nośna bez tego wzmocnienia, tzn. nie ma potrzeby zabezpieczania p-poż taśm i mat, bo podczas pożaru nie są potrzebne (rys. 10). Jest to szczególnie istotne, gdy np. w obiektach, w których wzmacniane są stropy wysokość pomieszczeń jest zbyt mała, aby zmieścić grube na kilkanaście centymetrów płyty zabezpieczeń. Nie mniej istotna jest redukcja kosztów wzmocnienia, gdy można w oparciu o tak przeprowadzone wymiarowanie, zgodnie obowiązującymi normami zrezygnować zabezpieczeń p-poż. Program po przeprowadzeniu obliczeń podaje komunikat, czy zabezpieczenie p-poż. jest potrzebne czy można z niego zrezygnować. Należy zwrócić uwagę, że program ocenia wytrzymałość początkową niewzmocnionego elementu i przewidywane obciążenie działające w warunkach pożaru, według wskazań w biuletynie 14 fib, części 3.1.2.5. oraz 3.2.2. Wszelka dodatkowa ochrona elementów żelbetowych wynikająca ze zmian wytrzymałości w wyniku oddziaływania temperatury spowodowanej pożarem na beton i/lub na stal zbrojeniową musi zostać obliczona oddzielnie.

Należy pamiętać, że ze względów bezpieczeństwa wzmacnianie konstrukcji ma ograniczenia wprowadzone do programu. Istotne jest wprowadzenie realnej wartości oddziałującego momentu (M_o), czyli obciążenia jakie oddziałuje na konstrukcję w momencie wzmacniania. Ten moment może mieć znaczący wpływ na potrzebną ilość kompozytu wzmacniającego w S stanie granicznym użytkowalności, szczególnie gdy ten moment ma znaczną wartość. Jego wartość nie może przekraczać wytrzymałości niewzmocnionego elementu w stanie granicznym użytkowalności, gdy SGU jest sprawdzana oraz 80% wytrzymałości niewzmocnionego elementu w stanie granicznym użytkowalności, gdy SGU nie jest sprawdzane. Należy dążyć, aby moment (M_o) był jak najmniejszy, czyli w miarę możliwości jak najbardziej odciążyć konstrukcje przez aplikacją kompozytów, np. w przypadku stropu usunąć wylewki, posadzki, etc. Jeśli takie zabiegi nie są możliwe należy rozważyć częściowe odciążenie stropu przez wyparcie. Każde wyparcie wymaga niezależnego projektu wypierania, aby uniknąć popełnienia błędów na budowie polegających na przegięciu stropu i wprowadzenia naprężeń rozciągających w strefach ściskanych.



Względy bezpieczeństwa narzucają kolejne ograniczenia. Maksymalna wytrzymałość elementu wzmocnionego kompozytem nie powinna przekraczać:

- trzykrotnej wartości pierwotnej maksymalnej nośności elementu przed wzmocnieniem (przy założeniu, że sprawdzenie stanu granicznego użytkowalności zostało aktywowane), lub
- 1,6 raza pierwotne maksymalnej nośności niewzmocnionego elementu, w przypadku gdy użytkownik nie przeprowadza sprawdzenia stanu granicznego użytkowalności.

Uruchomienie opcji wymiarowania na SGU sprawdza zachowanie elementu żelbetowego pod działaniem kombinacji obciążeń quasi-stałych i charakterystycznych bez uwzględnienia współczynników obciążeń (zgodnie z Eurokodem, Eurokodem 2 i odpowiedniki załącznikami krajowymi. Odkształcenia i naprężenia jakie pojawiają się w ściskanym betonie oraz rozciąganej stali muszą zostać ograniczone do pewnych wartości, aby uniknąć nadmiernego pełzania i/lub pękania. Użytkownik musi określić w programie oczekiwane w stanie granicznym użytkowalności momenty obliczeniowe dla wzmacnianego elementu:

Program ocenia wytrzymałość początkową niewzmocnionego element i przewidywane obciążenie działające w warunkach pożaru, według wskazań w biuletynie 14 fib, części 3.1.2.5. oraz 3.2.2. Wszelka dodatkowa ochrona elementów żelbetowych wynikająca ze zmian wytrzymałości w przypadku pożaru (beton i/lub stal zbrojeniowa) musi zostać obliczona oddzielnie.

1.3.3. Wzmacnianie kompozytem

Po wprowadzeniu odpowiednich początkowych i obliczeniowych obciążeń, okienko wskazówek w dolnej części ekranu zniknie, po czym pokażą się nowe zakładki ("taśmy" oraz "ustawienia definiowane przez użytkownika") w górnej części ekranu. Obie zakładki umożliwiają użytkownikowi wprowadzenie potrzebnych taśm kompozytowych Sika® Carbodur® albo mat SikaWrap®; Pierwsza opcja (taśmy) podaje automatycznie użytkownikowi obliczone kombinacje bazujące na prawidłowej liczbie z każdego rozmiaru/typu taśm kompozytowych tak, aby zostały spełnione wymagania dla stanów granicznych nośności i użytkowalności (jeżeli uwzględniane), według dostępnej szerokości płaszczyzny, do której są doklejane. Opcja druga (ustawienia definiowane przez użytkownika) zostawia użytkownikowi większą dowolność, pozwalając na tworzenie kombinacji każdego typu i ilości warstw kompozytu.

Obie opcje mogą być stosowane wymiennie.

Taśmy

Po dokonaniu wyboru, program automatycznie określa potrzebną ilość kompozytu tak, aby spełnić warunki stanu granicznego nośności (oraz użytkowalności – jeśli ta opcja została wybrana), odpowiadające zredukowanemu odkształceniu kompozytu $\mathcal{E}_{f,eff}$, (domyślnie 8‰). Według tego początkowego szacunku, użytkownik może uzyskać dostęp do wszelkich informacji dotyczących różnych stadiów obciążenia, poprzez wybór ikon umieszczonych na pasku narzędzi; widok na ekranie głównym pokazujący dane graficzne i numeryczne będzie się zmieniał, zależnie od wybranych ikon (rys. 11).

Inne opcje to dane graficzne i numeryczne dla opcji:



Podsumowanie: podsumowuje potrzebny przekrój poprzeczny kompozytu oraz przenoszony moment zginający podczas różnych etapów, zarówno dla wzmocnionego i niewzmocnionego elementu.

- $-M_o$ Pokazuje informacje na temat stanu początkowego elementu, pod działaniem momentu podczas wzmacniania (rys. 11).
- $-M_s$ Pokazuje rozkład odkształceń i naprężeń we wzmacnianym momencie w stanie granicznym, również sprawdzenie, czy nie powstał ewentualny przegub plastyczny, jak wskazano w biuletynie 14 fib, rozdział 3.3.
- $-M_{ser,ck}$ pokazuje informacje odnośnie stanu wzmocnionego elementu w stanie granicznym użytkowalności, pod działaniem obciążeń charakterystycznych.
- M_{ser,qp} końcowy etap pokazuje wykresy naprężeń I odkształceń wzmocnionego przekroju pod działaniem quasi-stałej kombinacji obciążeń, uwzględniając efekt pełzania (rys. 12).



Użytkownik musi wybrać odpowiednią kombinację taśm kompozytowych. Po wybraniu rodzaju kompozytu, użytkownik może wybrać odpowiednią ilość i przekroje wymagane do uzyskania potrzebnego przekroju poprzecznego (rys. 13).

Należy zauważyć, że maksymalnie 3 warstwy kompozytu Sika® Carbodur® mogą zostać wyświetlone w programie, zaś minimalna odległość od krawędzi belki powinna być równa grubości otuliny betonowej zbrojenia wewnętrznego (biuletyn 14 fib, rozdziały 7.2.1.1. oraz 7.2.1.2). Dla materiału SikaWrap® maksymalna liczba wyświetlanych w programie warstw wynosi 5.

Uwaga: w przypadku zastosowania materiał u SikaWrap® obliczenia przeprowadzane są w programie bazują na rzeczywistym zachowaniu kompozytu, uzyskane w efekcie zastosowania

wybranego SikaWrap® oraz odpowiedniej żywicy Sikadur®, jak zostało to pokazane w odpowiedniej Karcie Charakterystyki Produktu, oraz według metod badania przedstawionych w normie EN 2561. Zatem wyświetlony w programie wynik nie może zostać przełożony na inny materiał kompozytowy z użyciem innej żywicy ani na żaden inny system niż ten wskazany w Karcie Charakterystyki Produktu.

Projekt Przebst poprzeczny oraz beton Zbre OGO Wybor wg użytkomek, wyboru Obłaczenia	jenie Sły wewnętrzne Wzmocnienie kompozytowe CFRP U	htawienia definiowane przez użytkownika	
Wzmocnienie kompozytowe CFRP	Ska@ CarboOur @ S		
3 x Sika® CarboDur® S512 - 60,00 mm			
SRA® CarboDur® 5812 - 96,00 mm ³ SRA® CarboDur® 5102 - 120,00 mm ³ SRA® CarboDur® 5124 - 486,00 mm ⁴ SRA® CarboDur® 51512 - 180,00 mm ³	1. Wantwa Siała CarboDurłi SS12 Siała CarboDurłi SS12 Siała CarboDurłi SS12	••••	
		28	
Sika® CarboDur® 5512	Aktualne pole 180,00		
Szerokość b = 50 mm	przekroju: mm²	*****	
Grubolć t = 1,200 mm	przekroju: mm ²		
Pole przekroju A = 60,00 mm ² Pole przekroju całkowite 4 · A = 240,00 mm ²	Difference area: 49,00 mm ¹	300	
C Poprzedni			Rvs

Wybrana opcja będzie ostatecznie wprowadzona po wybraniu ikony "Zatwierdzenie Wyboru" położonej w lewym górnym rogu ekranu. Aby cofnąć wybór należy wybrać ikonę "żadne".

Gdy wybrany zostanie rodzaj oraz liczba taśm kompozytowych zostaną automatycznie zaktualizowane dane graficzne oraz liczbowe dla poszczególnych etapów obciążenia.

1.3.4. Sprawdzenie zakotwienia

Ten etap jest opcjonalny; wybierając go, użytkownik może sprawdzić, czy wartość siły w rozpatrywanym przekroju wzmocnienia kompozytowego CFRP pozwala na jego zakotwienie do betonu w strefie niepopękanej.

Aby rozpocząć proces należy wybrać okienko położone w lewym górnym rogu ekranu (rys. 14)



Rys. 14.

Po dokonaniu wyboru, uruchamiany jest proces obliczeniowy. Użytkownik musi sprawdzić rozmieszczenie podłużne stali zbrojeniowej w obszarze sąsiadującym z podporą, gdyż sposób rozmieszczenia stali zbrojeniowej ma wpływ na lokalizację powstania skrajnej rysy od zginania stanie granicznym. W przypadku "dokładnych obliczeń" (pokazanych poniżej), powyższa weryfikacja nie jest konieczna. Program automatycznie pokazuje użytkownikowi rozkład stali zbrojeniowej w środku rozpiętości (dana wprowadzona uprzednio na etapie definiowania stali) jako domyślne. W programie jest również możliwość zredukowania przyczepności zakotwienia w efekcie dużej porowatości powierzchni betonu (np. gdy mieszanka betonowa nie została prawidłowo zagęszczona w dekowaniu). W końcowym etapie użytkownik może wybrać prowadzenie obliczeń w sposób bezpośredni, wprowadzając do programu możliwą długość przyczepności oraz wartość odpowiadającą momentowi rysującemu wzmacnianego elementu.

Dla swobodnie podpartych belek albo płyt, gdzie określenie zakotwienia może mieć decydujące znaczenie z powodu zarysowań od zginania w stanie granicznym, program posiada opcję, która automatycznie określa lokalizację skrajnej rysy w stanie granicznym, jak również wszystkie parametry potrzebne do określenia możliwości wykonania zakotwienia na końcach Tutaj a_i odpowiada odległości od środka podpory do lica podpory od wewnątrz, a L określa długość przęsła swobodnie podpartego (rys. 15).

Należy zauważyć, że powyższe przybliżone obliczenia są aktualne tylko w przypadku równomiernego rozkładu obciążeń i belek o wystarczającej ilości wewnętrznego lub zewnętrznego zbrojenia na ścinanie.



Rys. 15.

1.4. Wzmocnienie na ścinanie

Obliczenie ilości wzmocnienia na ścinanie opiera się na określeniu udziału maty SikaWrap® w przenoszenia ścinania przez wzmocniony element w stanie granicznym nośności. Zatem użytkownik musi najpierw określić wartość obliczeniową przyłożonej siły ścinającej (V_{Ed}). Ta wartość musi być identyczna lub nie przekraczać sumy wartości obliczeniowej siły ścinającej, która może być przeniesiona poprzez zbrojenie na ścinanie ($V_{Rd,s}$) oraz dodatkowo przez wzmocnienie kompozytowe FRP (V_{fd}). Dla elementów znajdujących się głównie pod działaniem obciążenia równomiernie rozłożonego, obliczeniowa wartość siły ścinającej nie musi być sprawdzana w odległości mniejszej niż d od lica podpory (dodatkowo należy zweryfikować, czy ścinanie przy podporze nie przekracza maksymalnej nośności obliczeniowej na ścinanie $V_{Rd,max}$) (rys. 16).

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,s} + V_{fd}, V_{Rd,max})$$





1.4.1. Przekrój poprzeczny i beton

W pierwszym etapie definiowana jest geometria przekroju i klasa betonu (rys. 17). W górnej części ekranu, na pasku narzędzi ekranu znajdują się ikony umożliwiające wybór geometrii przekroju i zdefiniowanie charakterystyki betonu. Wytrzymałość betonu może być definiowana jako wytrzymałość chraktestyczna betonu na ściskanie (f_{ck}) albo średnia wytrzymałość na ściskanie betonu oznaczona na próbkach walcowych (f_{cm}). Po lewej stronie ekranu znajduje się pole, w którym użytkownik wprowadza dane dotyczące geometrii przekroju pokazanego na ekranie głównym. Należy zauważyć, że konieczne jest podanie grubości otuliny betonowej, aby móc określić wysokość użyteczną przekroju.



Opcje "Prostokąt" albo "Belka T" pozwalają określić schemat rozkładu kompozytu na elemencie (pełne owinięcie taśmą kompozytową w przypadku przekrojów prostokątnych oraz w kształcie litery T dla belek w kształcie litery T, gdzie nie jest możliwe całkowite owinięcie wzmacnianego przekroju) (rys. 18).



Wzmacnianie na ścinanie w przypadku przekroju prostokątnego, gdzie jest dostęp do wszystkich czterech stron jest typowe dla tzw. wzmocnienia zamkniętego. Także wzmacnianie belek T na ścinanie z zapewnieniem mechanicznego zakotwiania kompozytu w strefie ściskanej może być brane również uznane jako wzmocnienie zamknięte. Taka sytuacja ma miejsce na przykład w przypadku zastosowania elementów CarboShear, przy jednoczesnym zapewnieniu wystarczającej długości zakotwienia w półce.

1.4.2. Obciążenie

Użytkownik wprowadza do programu wartość nośności dla kompozytu (V_{fd}) (rys. 19).

Należy zauważyć, że wzmocnienie kompozytowe na ścinanie zachowuje się w sposób podobny do strzemion zewnętrznych. Zatem ma ono wpływ na wzrost wartości obliczeniowej siły ścinającej, która może być przeniesiona przez zbrojenia na ścinanie ($V_{\text{Rd,s}}$).



1.4.3. Maty

Użytkownik może wybrać opcję ciągłego wzmocnienia kompozytowego FRP albo konfigurację bazującą na oddzielnych pasach wzmocnienia kompozytowego FRP, w okienku selekcji zlokalizowanym w lewym górnym rogu ekranu (rys. 20).

Należy wziąć pod uwagę, że w przypadku wyboru opcji oddzielnych pasów, istotne jest, aby wprowadzić informację odnośnie odległości między nimi (s_f). Ze względów bezpieczeństwa wartość ta jest ograniczona do 0,8d ($0,8 \times$ głębokość użyteczna przekroju), więc żadna ukośna rysa nie może pojawić się bez przecięcia się z pasem kompozytu. W ten sam sposób wartość minimalna odstępów między pasami jest równa szerokości wybrane taśmy SikaWrap® fabric (b_f), przy mniejszych odstępach schemat wzmocnienia zachowuje się jak osłona ciągła.

Wobec powyższych ograniczeń, opcja oddzielnych pasów nie może zostać użyta w przypadku belek o ograniczonej wysokości oraz /lub szerokich taśm SikaWrap®.



Należy zauważyć, że w zależności od geometrii przekroju i schematu wzmacniania, możliwe są 4 konfiguracje (rys. 20):

Po lewej stronie ekranu pokazane zostały dostępne w danym kraju produkty SikaWrap®. W dolnej części pokazana jest szerokość i grubość suchej maty SikaWrap®. Kolejne obliczenie "Prostokąt" zostanie przeprowadzone dla wybranego produktu



Rys. 21.

Ostatecznie na ekranie głównym zostaje pokazana informacja graficzna odnośnie konfiguracji wzmocnienia matami SikaWrap® i udział wzmocnienia kompozytowego na wytrzymałość elementu na ścinanie. W dolnej części ekranu wyświetlone są dane numeryczne, m.in. potrzebna liczba warstw wybranego rodzaju mat SikaWrap®, a także rzeczywisty udział w wytrzymałości na ścinanie określony według liczby warstw (rys. 21).

Uwaga: Obliczenia prowadzone w programie opierają się o rzeczywiste zachowanie kompozytu w efekcie zastosowania wybranego rodzaju mat SikaWrap® i odpowiedniej żywicy Sikadur®, według zaleceń odpowiednich Kart Charaktrystyki Produktów oraz według metod badawczych pokazanych w normie EN 2561. Zatem wyświetlony w programie rezultat nie może zostać przełożony na żaden inny użyty materiał kompozytowy, ani żadną inną żywicę, ani żadną inną metodologię montażu, niż wskazane w Karcie Charakterystyki Produktu.

1.5. Wzmocnienie na ściskanie

Owijanie słupów kompozytem jest zazwyczaj stosowane w przypadku elementów ściskanych, co ma na celu podniesienie ich nośności pod działającym obciążeniem osiowym. Zewnętrzne wzmacnianie słupów kompozytem jest wykonywane poprzez takie ułożenie kompozytu, aby jego włókna miały kierunek ukośny względem osi podłużnej wzmacnianego słupa.

Moduł wzmacniania słupów składa się z dwóch następujących etapów:

1.5.1. Przekrój poprzeczny i beton

Użytkownik określa geometrię przekroju betonowego oraz klasę użytego betonu (rys. 22). Wybór geometrii przekroju znajduje się na pasku narzędzi w górnej części ekranu, podobnie jak wybór klasy betonu. Wytrzymałość betonu może być zdefiniowana przez podanie wartości charakterystycznej (*f_{ck}*) lub średniej (*f_{cm}*). Po lewej stronie ekranu użytkownik wprowadza dane dotyczące geometrii przekroju, czego efekt jest pokazywany na głównym ekranie. Do wyboru geometrii przekroju są opcje "Wyoblony prostokąt" albo "Okrągły". Należy zauważyć, że w przypadku przekrojów prostokątnych należy podać promień wyoblenia kątów. Czym większy promień, tym większa efektywność zadziałania kompozytu. W przypadku słupów o przekroju prostokątnym o stosunku h/b przekraczającym 2,0 program nie zadziała, jako że efekt wzmocnienia będzie zaniedbywalnie mały.



1.5.2. Maty

Ekran podzielony jest na dwie niezależne części: w lewym górnym rogu pokazywane jest efektywne odkształcenie graniczne wzmocnienia kompozytowego FRP. Efektywne odkształcenie graniczne będzie mniejsze niż odkształcenie graniczne kompozytu związane z wieloosiowym stanem naprężeń w kompozycie oraz jakością wykonania wzmocnienia (rys. 23). Uwaga: wartość domyślna pokazana dla efektywnego odkształcenia kompozytu bazuje na współczynniku efektywności równym 0.55 sugerowanym w aci 440.2r-08, część 12.1. Zatem:

A Point Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Image: Control Interview Project A Point Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Control Interview Project Sale Canadian - Non-project Point Interview Project Interview Project				
A Period Construction period per			Sika CarboDur - New project*	- @ 1
Autor	A Project	Cross section and concrete Lamellas	Printout	
Name Deparation Default of the contrast of the control	du,et 9,9 %	Increase of mean strength for Increase of ultimate axial strain cou	43 N/mm² 2	A .
Landrage 3 20C Second action of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the content of the composite Marking 8 30C Second action of the content of the	Jacket	Requirements		BUILDING TRUST
Sammed 2.000 Image: 2000 C 100 m Sammed 2.000 C 100 m Contrast controls through the combined image: 2000 C 00 m Name 2.000 C 100 m Contrast control through the combined image: 2000 C 00 m Sammed 2.000 C 100 m Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2.000 C 100 m Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2.000 C 100 m Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2.000 C 100 m Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2.000 C 100 m Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Name Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm² Sammed 2 layer: 4 0.00 Nm² Same Alexandro 2 layer: 4 0.00 Nm²	Landlas		Skattrap 8 -230 C	
Balance 3- 398 C - 16 cm Starting 5- 239 C - 16 cm Starting 5- 230 C - 10 cm Starting 5- 230 cm Starting 5- 230 cm	SikeWrep® C	•	Strength after confinement	
Saumue 1980 b + 500 mm Wach b + 500 mm Wach b + 500 mm Wach b + 500 mm	SikaWrap® -230 C SikaWrap® -230 C	C - 30 cm C - 60 cm	Requested values	- -
Examples 139C b - 330 mm Width b - 330 mm Width b - 330 mm	11		Confined concrete strength feed = 43,00 N/mm ²	
Savinge 395C b + 530 mm Works: by 196e b - 530 mm Tacket: by 197e b + 530 mm Of East FreestQ			Selected configuration	
Searching # 3980 b + 300 mm Wash b + 300 mm Wash b + 300 mm Wash b + 500 mm	11		Lamella type SikaWrap® -230 C (30 cm)	
Market 1991 for b + 500 mm Wideh b + 500 mm			necessary number or sayers n = 3	
Savinge 395C Ubinitia suit ilum of confect (source): 4 + 325 %. Savinge 395C Celulition scorelog is 00 37 mcNeck when of the composite 9 Savinge 395C - 300 - 300			Man strength of confined concrete	
Sautings 100 C 0			Illimate axial strain of confined concrete	
			Calculation according to BO-127 mechanical values of the composite	
Wath b - 300 mm Weath b - 300 mm Products dry four b - 0.00 mm	50,000,000		 Second a submit is table as an object of the composed second second system. 	
Chan Formula	58.2W1208-250C	h - 199-19		300
() for a for	Width Distance	6 - 300 mm		, ,
(Lea Forward)	thickness dry fibre	ų • 0,13 mm		
	() Back			Forward 🗘

 $\varepsilon_{fu}, e_{ff} = 0,55 \times \varepsilon_{fu}.$

W okienkach wyboru umieszczonych w górnej części ekranu użytkownik wybiera opcję: – wzrost wytrzymałości średniej *f_{cc}*: Wprowadzenie pożądanej wytrzymałości wzmacnianego betonu (wartość docelowa po wzmocnieniu), i/lub,

– wzrost maksymalnego odkształcenia osiowego \mathcal{E}_{cu} : Wprowadzenie pożądanej wartości maksymalnego odkształcenia osiowego wzmocnionego betonu (wartość docelowa po wzmocnieniu). Po lewej stronie ekranu pokazano dostępne w danym kraju produkty SikaWrap®. W dolnej części ekranu pokazana jest szerokość i grubość suchej maty SikaWrap®. Kolejne obliczenia będą prowadzone w oparciu o wybrany produkt Sika.

Ostatecznie, na ekranie głównym pokazane są informacje graficzne odnośnie konfiguracji mat oraz uzyskanej wytrzymałości wzmacnianego elementu na skutek wzmacniania. Po lewej stronie znajdują się dane liczbowe, pokazujące potrzebną ilość warstw wybranego uprzednio kompozytu SikaWrap® oraz maksymalne osiowe odkształcenie wzmocnionego betonu.

Uwaga: Obliczenia prowadzone w programie opierają się o rzeczywiste zachowanie kompozytu w efekcie zastosowania wybranego rodzaju mat SikaWrap® i odpowiedniej żywicy Sikadur®, według zaleceń odpowiednich Kart Charakterystyki Produktów oraz według metod badawczych pokazanych w normie EN 2561. Zatem wyświetlony w programie rezultat nie może zostać przełożony na żaden inny użyty materiał kompozytowy, ani żadną inną żywicę, ani żadną inną metodologię montażu, niż wskazane w Karcie Charakterystyki Produktu.

Uwagi prawne

Program jest objęty ochroną praw autorskich oraz międzynarodowych porozumień odnośnie ochrony praw autorskich. Program jest objęty licencją, nie sprzedażą.

Program i rezultaty wynikające z jego zastosowania mogą być używane jedynie przez doświadczonych użytkowników posiadających wiedzę ekspercką z przedmiotowego tematu. użytkownicy muszą niezależnie sprawdzać uzyskane w programie wyniki przed jakimkolwiek zastosowaniem oraz brać pod uwagę przeznaczenie oraz warunki stosowania oprogramowania, karty charakterystyki materiałów oraz powiązane publikacje, najnowsze rozwiązania techniczne oraz lokalne standardy i przepisy.

Odnośnie samego oprogramowania oraz rezultatów wynikających z jego zastosowania, SIKA nie może gwarantować dokładności, wiarygodności, kompletności oraz zgodności handlowej oraz dopasowania do danych okoliczności. Oprogramowanie opiera się na zasadzie "jest, jakie jest" i SIKA wyraźnie zrzeka się wszelkich gwarancji odnośnie oprogramowania oraz efektów jego stosowania.

Sika nie będzie odpowiedzialna za żadne szkody (szkody pośrednie, odszkodowania, szkody uboczne, odszkodowania przykładowe, szkody szczególne uwzględniając nie tylko utratę możliwości prowadzenia działalności gospodarczej i utracone korzyści) wynikające z oceny lub zastosowania oprogramowania i wynikających z tego efektów.

Informacje i w szczególności zalecenia odnośnie programu i finalnego użycia produktów firmy Sika są podane w dobrej wierze i opierają się o obecną wiedzę techniczną i przeprowadzone badania produktów, przy założeniu właściwego ich przechowywania, obchodzenia się z nimi i stosowania ich w normalnych warunkach zgodnie z zaleceniami Siki. W praktyce różnice w materiałach, ich składnikach i rzeczywistych warunkach do wbudowania ich są takie, że żadne gwarancje w odniesieniu do kwestii sprzedaży czy dopasowania ich do odpowiedniego celu, ani żadne inne zobowiązania wynikające z jakichkolwiek związków prawnych, mogą zostać wyciągnięte wnioski z tych informacji lub jakichkolwiek innych pisemnych zaleceń, lub z jakichkolwiek oferowanych porad. Użytkownik produktu musi sprawdzić czy wybrany przez niego produkt jest odpowiedni do konkretnego zastosowania oraz celu. Sika zastrzega sobie prawo do zmiany właściwości własnych produktów. Prawa własności dla stron trzecich muszą być pod kontrolą. Wszystkie zamówienia są akceptowane pod naszymi obecnymi warunkami sprzedaży i dostawy. Użytkownicy muszą zawsze odnosić się do najnowszych wydań lokalnych Kart Charakterystyki dla produktów znajdujących się w obrębie ich zainteresowania; kopie tych Kart mogą zostać dostarczone na prośbę użytkownika. Niniejsza licencja podlega prawu szwajcarskiemu dla materiałów; według niego jest interpretowana i egzekwowana. Ewentualna sprzeczność z przepisami lokalnymi nie jest brana pod uwagę. Miejscem rozsądzania sporów jest sąd w Zurychu, Szwajcaria.

Sika®, SikaDur®, CarboDur® i SikaWrap® są zarejestrowanymi znakami towarowymi Sika AG.

Wszelkie inne produkty i nazwy marek mogą być znakami towarowymi lub zarejestrowanymi znakami towarowymi ich właścicieli.