

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10)

**PL 73626 Y1**

(12)

## Opis ochronny wzoru użytkowego

(21) Numer zgłoszenia: **131146**

(22) Data zgłoszenia: **2022.12.16**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.06.17 BUP 25/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu ochrony: **2024.10.21 WUP 43/2024**

(51) MKP:

**E04C 3/07 (2006.01)**

**E04C 3/04 (2006.01)**

**E04C 3/00 (2006.01)**

(73) Uprawniony:

**POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL**

(72) Twórca(-y):

**KATARZYNA RZESZUT, Poznań, PL**

**MACIEJ DYBIZBAŃSKI, Skórzewo, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Marcin Walkowiak, Dobra, PL**

(54) Tytuł:

**Wzmacniana belka cienkościenna typu sigma**

**PL 73626 Y1**

## Opis wzoru

Przedmiotem wzoru użytkowego jest wzmacniana belka cienkościenna typu sigma. Belki tego typu stosowane są zwłaszcza w konstrukcjach hal stalowych jako płatwie dachowe lub rygle ścienne, a w układach dwugąłziowych jako konstrukcja słupa lub rygla ram.

Z opisu zgłoszenia wynalazku GB2247033A znana jest belka cienkościenna typu sigma. W stanie techniki znana jest także taśma CFRP – kompozyt polimerowy z włóknami węglowymi (ang. *Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

Tkaniny CFRP naklejone za pomocą kleju na bazie żywic epoksydowych dzięki swoim nieprzećiętnym właściwościom oraz możliwości poprawy charakterystyki pracy stalowych cienkościennych elementów belkowych mogą być wykorzystywane zarówno w nowych, jak i już istniejących i eksploatowanych obiektach budowlanych. Dotyczy to zarówno obiektów budowlanych, przemysłowych, wykorzystywanych w górnictwie oraz rolnictwie, co świadczy o dużej wszechstronności proponowanego rozwiązania technicznego.

Znane są również z artykułu pt. „Badania eksperymentalne i numeryczne belek cienkościennych typu sigma wzmacnianych taśmami CFRP”; Katarzyna Rzeszut, Ilona Szewczak, Patryk Różyło – *Materiały Budowlane* – 2017, nr 11, s. 5–6, wyniki badań laboratoryjnych i analiz numerycznych belek cienkościennych typu sigma wzmocnionych taśmą CFRP.

Z artykułu pt. „Effective bond length of the CFRP tapes in strengthened sigma steel beams”, Katarzyna Rzeszut, Ilona Szewczak, Patryk Różyło, *AIP Conference Proceedings* – 2019, vol. 2060, nr 1, s. 1–10, znana jest analiza wpływu efektywnej długości zakotwienia taśm wykonanych z włókien węglowych (CFRP) wzmacniających cienkościenną belkę stalową. W celu zbadania tego problemu opracowano testy laboratoryjne i modele numeryczne. Testy laboratoryjne w schemacie czteropunktowego zginania przeprowadzono na stalowych belkach wykonanych z cienkościennego profilu sigma. Jedna belka była traktowana jako referencyjna i nie posiadała wzmocnienia, pozostałe belki wzmocniono taśmą CFRP. Następnie opracowano modele numeryczne uwzględniające wyniki laboratoryjne i różną długość zakotwienia taśm CFRP. W pracy szczególną uwagę zwrócono na ocenę możliwości zwiększenia nośności krytycznej przy jednoczesnym ograniczeniu przemieszczeń belek poprzez odpowiednie położenie taśmy CFRP.

W artykule pt. „Experimental studies of sigma thin-walled beams strengthened by CFRP tapes”, Katarzyna Rzeszut, Ilona Szewczak, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Structural and Construction Engineering* – 2017, vol. 11, nr 7, s. 799–806, przedstawiono stanowisko eksperymentalne oraz wstępne wyniki badań laboratoryjnych dotyczących analizy skuteczności wzmocnienia stalowych belek wykonanych z cienkościennych profili sigma za pomocą taśm CFRP.

W artykule pt. „Issues of thin-walled sigma beams strengthened by CFRP tape in the context of experimental and numerical studies”, Katarzyna Rzeszut, Ilona Szewczak, Patryk Różyło, *Engineering Transactions* – 2018, vol. 66, nr 1, s. 79–91 i w artykule pt. „Modern measurement methods in strength tests of sigma thin-walled steel beams”, Ilona Szewczak, Katarzyna Rzeszut, *E3S Web of Conferences* – 2018, vol. 49, s. 1–10, przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i analiz numerycznych cienkościennych belek wzmocnionych CFRP.

W artykule pt. „Pilotażowe badania eksperymentalne cienkościennych belek stalowych typu sigma wzmocnionych taśmami CFRP”, Ilona Szewczak, Katarzyna Rzeszut, *Materiały Budowlane* – 2016, nr 11, s. 84–85, zaprezentowano stanowisko badawcze oraz wyniki pilotażowych badań laboratoryjnych dotyczących analizy efektywności wzmocnienia stalowych belek wykonanych z kształtowników cienkościennych typu sigma przy użyciu taśm CFRP.

Wzmocnienia stalowych belek wykonanych z cienkościennych profili sigma za pomocą taśm CFRP opisano również w takich publikacjach jak: Rzeszut K., Szewczak I., *Analiza efektywności wzmocnienia belek stalowych taśmami CFRP w zależności od rodzaju przekroju poprzecznego*, [w:] *Nowe Trendy w Architekturze Budownictwie i Inżynierii Środowiska*, Tomasz Błaszczczyński; Monika Siewczyńska; Dawid Sinacki [red.], Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, ISBN 978-83-7775-501-3, pp. 110–123, 2018; Szewczak I., Rzeszut K., Różyło P., Samborski S., „Laboratory and Numerical Analysis of Steel Cold-Formed Sigma Beams Retrofitted by Bonded CFRP Tapes”, *Materials*. – 2020, vol. 13, nr 19, s. 1–14; Szewczak I., Rzeszut K., Różyło P., Snela M., „Laboratory and Numerical Analysis of Steel Cold-Formed Sigma Beams Retrofitted by Bonded CFRP Tapes—Extended Research”,

Materials. – 2020, vol. 13, nr 21, s. 1–16 oraz Szewczak I., Rzeszut K., Różyło P., Structural Behavior of Steel Cold-Formed Sigma Beams strengthened by Bonded steel, Thin walled Structures, 2020/21.

Zbliżoną do wzoru koncepcję przedstawia także publikacja polskiego wzoru użytkowego PL72814Y1, z której znana jest wzmacniana belka cienkościenna typu sigma z naklejoną taśmą CFRP umieszczoną na powierzchni wewnętrznej środnika. W rozwiązaniu PL72814Y1 zastosowana została taśma CFRP, czyli kompozyt składający się z włókien węglowych zatopionych w matrycy np. z żywicy epoksydowej. Gotowe już taśmy są przyklejane do belki stalowej za pomocą dodatkowej warstwy kleju. Przykładem takiego produktu może być np. Sika Carbodur. Nowe proponowane według wzoru użytkowego rozwiązanie natomiast przewiduje wykorzystanie maty CFRP w postaci tkaniny jednokierunkowej wykonanej z włókna węglowego. Tkanina jest przykładana do powierzchni belki, a następnie nakładany jest na nią klej na bazie żywic epoksydowych. Włókna tkaniny w trakcie tego procesu są zatapiane w kleju i jednocześnie przyklejane do powierzchni belki. Przykładem takiego produktu może być np. Sika Wrap.

Istotną różnicę stanowi natomiast sama lokalizacja przyklejonej do belki maty CFRP. W przypadku rozwiązania PL72814Y1 taśma została przyklejona do środnika belki o przekroju typu sigma, w wyniku czego przekrój belki jest przekrojem otwartym. Nowe rozwiązanie przewiduje przyklejenie maty CFRP na zagięciach brzegowych przekroju, tworząc w ten sposób przekrój zamknięty na długości belki. Taka aplikacja maty CFRP powoduje duży wpływ wzmocnienia na poprawę nośności belki.

W przypadku rozwiązania PL72814Y1 obserwowano, że zniszczenie próbek następuje w skutek odklejenia się taśm od powierzchni belki stalowej. Taśmy miały jedynie wpływ na zmniejszenie wielkości przemieszczeń pionowych i poziomych belki. W przypadku nowego rozwiązania, zniszczenia następują poprzez utratę stateczności belek stalowych. W wyniku analiz badawczych, zauważono wzrost nośności belek, wydłużenie plateau na wykresie siła–przemieszczenie oraz zmniejszenie przemieszczeń. Zamknięcie przekroju za pomocą tkaniny CFRP wydłuża czas pracy belki poprzez przeciwdziałanie zwichrzeniu oraz dystorsji belki stalowej.

Najważniejszym i korzystnym skutkiem technicznym jest zwiększenie nośności elementów poprzez przeciwdziałanie ich dystorsji oraz zwichrzeniu. Jest to istotne z punktu widzenia Stanu Granicznego Nośności (SGN) według EUROKOD 3, gdzie należy spełnić warunek dotyczący nieprzekroczenia nośności elementu na zwichrzenie oraz redukcji przekroju ze względu na możliwość wystąpienia dystorsji. Zamknięcie przekroju belek stalowych cienkościennych pasmem tkaniny CFRP przyklejonym do zagięć brzegowych przekroju pozwala zwiększyć ich trwałość poprzez przeciwdziałanie utracie stateczności elementu w wyniku przyłożenia obciążenia.

Zastosowanie wzmocnienia wykorzystującego tkaninę CFRP oraz klej na bazie żywicy epoksydowej pozwala na zwiększenie nośności elementu w przypadku uszkodzenia lub przeciążenia podczas eksploatacji.

Istotą wzoru użytkowego jest wzmacniana belka cienkościenna typu sigma z naklejoną matą CFRP. Jej istotą jest to, że mata CFRP w postaci tkaniny jednokierunkowej wykonanej z włókna węglowego, naklejoną jest za pomocą kleju na bazie żywic epoksydowych do powierzchni zewnętrznej zagięć brzegowych belki.

Prezentowany wzór użytkowy przeznaczony jest do poprawy nośności pracy zginanych elementów stalowych cienkościennych (w budynkach mieszkalnych, budynkach użyteczności publicznej, obiektach przemysłowych, obiektach inżynierskich) w warunkach normalnej eksploatacji. Zamknięcie przekroju za pomocą doklejonej tkaniny CFRP pozwala na zwiększenie nośności belek stalowych cienkościennych na zginanie ze skręcaniem poprzez przeciwdziałanie dystorsji i zwichrzeniu elementu.

Zastosowanie doklejonej tkaniny CFRP w zginanych belkach stalowych cienkościennych umożliwia spełnienie Stanu Granicznego Nośności w normalnych warunkach pracy, zwiększając przy tym trwałość i bezpieczeństwo użytkowania konstrukcji.

Zastosowanie wzmocnienia poprzez doklejenie tkaniny CFRP, w odniesieniu do znanych rozwiązań technicznych, jest małoinwazyjnym oraz relatywnie mało pracochłonnym rozwiązaniem technicznym. Aplikacja kleju za pomocą wałka, przyklejenie tkaniny oraz zabiegi związane z przygotowaniem samego podłoża są szybkie w realizacji, dzięki czemu założony i trwały efekt techniczny można osiągnąć niewielkim nakładem pracy.

Schematyczny widok przekrojowy wzmacnianej belki cienkościennej typu sigma z naklejoną matą CFRP według wzoru użytkowego przedstawiono na fig. 1 rysunku. Na fig. 2 pokazano wykres badań testowych w relacji obciążeń i przemieszczeń.

Wzmacniana belka cienkościenna typu sigma 1 posiada naklejoną matę CFRP 2. Jako matę CFRP 2 zastosowano tkaninę jednokierunkową wykonaną z włókna węglowego. Mata CFRP 2 naklejoną jest za pomocą kleju na bazie żywicy epoksydowych do powierzchni zewnętrznej zagięć brzegowych 1a belki stalowej 1.

W przykładowych realizacjach wykorzystano belki o przekroju  $\Sigma 200 \times 70 \times 2.0$  i  $\Sigma 140 \times 70 \times 2.5$  i długości 300 cm. Do wzmocnienia użyto tkaninę Sika Wrap 230 C. Tkanina ta posiada tylko jedną warstwę włókien węglowych. Tkanina przyklejona w środku rozpiętości belki na długości 300 mm (jest to szerokość tkaniny w rolce). W przykładzie użyto dwuskładnikowej tiksotropowej żywicy epoksydowej do impregnacji, laminacji i klejenia – Sikadur 330.

Testy laboratoryjne wzmocnionej belki polegały na poddaniu belek stalowych cienkościennych czteropunktowemu zginaniu. Badane próbki to belki o przekroju poprzecznym  $\Sigma 200 \times 70 \times 2.0$  oraz  $\Sigma 140 \times 70 \times 2.5$ , długości 300 cm oraz odległości między punktami podparcia w trakcie badań wynoszącej 270 cm. Belki były wykonane i badane w seriach różniących się długością zakładu tkaniny, przy uwzględnieniu dwóch różnych przekrojów. Łącznie badaniu poddano 8 belek stalowych cienkościennych, w ich naturalnej skali, przy czym dwie belki stanowiły elementy odniesienia (bez wzmocnienia tkaniną CFRP).

Dodatkowo wykonano badania materiałowe połączenia klejonego. Wytrzymałość na ścinanie kleju wyznaczono na podstawie badań własnych ze względu na brak normowych wytycznych dla analizowanego połączenia. Próbki wykonano z połówek wiosełek stalowych połączonych dwustronnie zakładkowo z tkaniną CFRP za pomocą kleju na bazie żywicy epoksydowej.

Badania przeprowadzono uwzględniając dwie różne długości zakładu, 55 mm oraz 30 mm. Dla każdej długości zakładu badania wykonano na pięciu próbkach. Wytrzymałość na odrywanie kleju wyznaczono na podstawie normy PN-EN ISO 4624. Próbki wykonano z walców stalowych o średnicy 50 mm połączonych z blachą stalową ocynkowaną ogniowo za pomocą kleju na bazie żywicy epoksydowej. W warstwie kleju znajdował się fragment tkaniny CFRP. Badania wykonano na sześciu próbkach. Belki stalowe cienkościenne przebadano na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku badawczym. Wszystkie elementy obciążono dwiema siłami skupionymi w taki sposób, że w części środkowej każdej z belek otrzymano strefę o stałej wartości momentu zginającego. Każda belka została wyposażona w system czujników indukcyjnych do pomiarów przemieszczeń oraz stanowisko do optycznej i bezdotykowej metody pomiaru przemieszczeń w przestrzeni 3D (z wykorzystaniem systemu ARAMIS). W oparciu o wyniki analiz i pomiarów wykonanych w trakcie badań eksperymentalnych elementów w ich naturalnej skali wyciągnięto następujące wnioski:

- tkanina CFRP naklejoną klejem na bazie żywicy epoksydowej przeciwdziała dystorsji oraz zwirzeniu w zginanych belkach stalowych cienkościennych poddanych obciążeniu zwiększając ich nośność opisaną w warunku Stanu Granicznego Nośności;
- tkanina CFRP naklejoną klejem na bazie żywicy epoksydowej zmniejsza ugięcie w zginanych belkach stalowych cienkościennych poddanych obciążeniu poprawiając zakres pracy elementu ze względu na warunek Stanu Granicznego Użytkowalności;
- obserwowana jest poprawa charakterystyki pracy belek stalowych cienkościennych w Stanie Granicznym Nośności oraz w stanie go poprzedzającym.

Wyniki prowadzonych badań przedstawiono w tabeli 1.

	Typ belki	Etykieta próbki	Maksymalne Obciążenie (kN)	Efekt wzmocnienia
1	Belka wzmocniona	SBHT2.1	27,240	Brak zwiększenia nośności; wydłużenie plateau na wykresie siła-przemieszczenie
2	Belka wzmocniona	SBHT1.1	28,419	Brak zwiększenia nośności; wydłużenie plateau na wykresie siła-przemieszczenie

3	Belka wzmocniona	SBHT3.1	28,698	Brak zwiększenia nośności; wydłużenie plateau na wykresie siła-przemieszczenie
4	Belka wzmocniona	SBLT1.1	19,244	Zwiększenie nośności o 5%; wydłużenie plateau na wykresie siła-przemieszczenie
5	Belka wzmocniona	SBLT2.1	19,139	Zwiększenie nośności o 4%; wydłużenie plateau na wykresie siła-przemieszczenie
6	Belka wzmocniona	SBLT3.1	19,666	Zwiększenie nośności o 7%; wydłużenie plateau na wykresie siła-przemieszczenie
7	Belka bez wzmocnienia	RBL.1	18,378	Belka referencyjna
8	Belka bez wzmocnienia	RBH.1	28,566	Belka referencyjna

Belki o wysokości przekroju 200 mm: SBHT1.1, SBHT2.1, SBHT3.1

Belki o wysokości przekroju 140 mm: SBLT1.1, SBLT2.1, SBLT3.1

Na fig. 2 pokazano wykres badań testowych w relacji obciążeń i przemieszczeń. W świetle przeprowadzonych badań wzmocniana belka cienkościenna typu sigma z matą CFRP naklejoną do powierzchni zewnętrznej zagięć brzegowych poprawia charakterystykę pracy zginanych belek stalowych cienkościennych.

### Zastrzeżenie ochronne

1. Wzmocniana belka cienkościenna typu sigma z naklejoną matą CFRP, **znamienna tym**, że mata CFRP (2), w postaci tkaniny jednokierunkowej wykonanej z włókna węglowego, naklejoną jest za pomocą kleju na bazie żywic epoksydowych do powierzchni zewnętrznej zagięć brzegowych (1a) belki (1).

## Rysunki

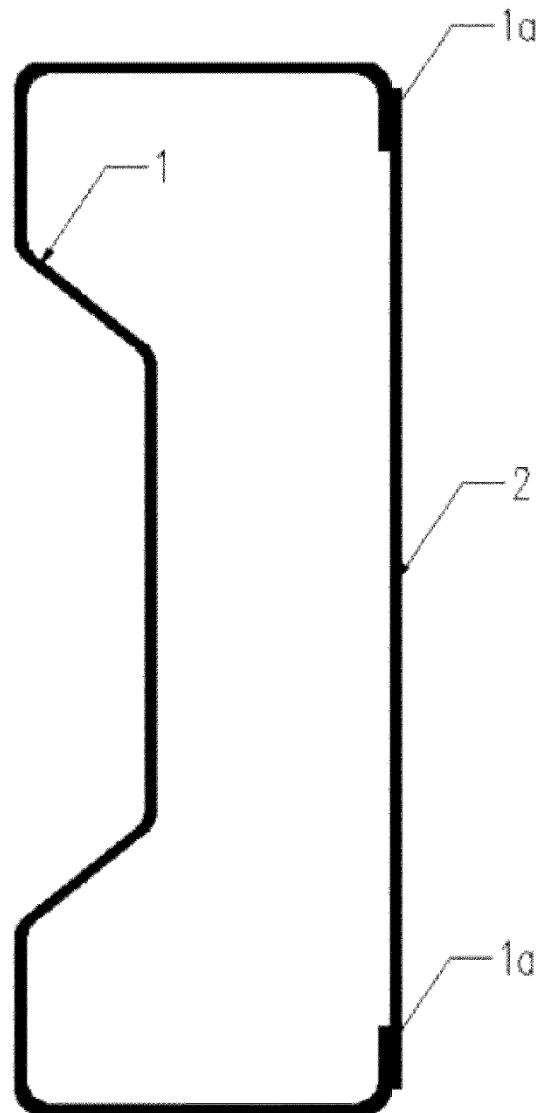


fig. 1

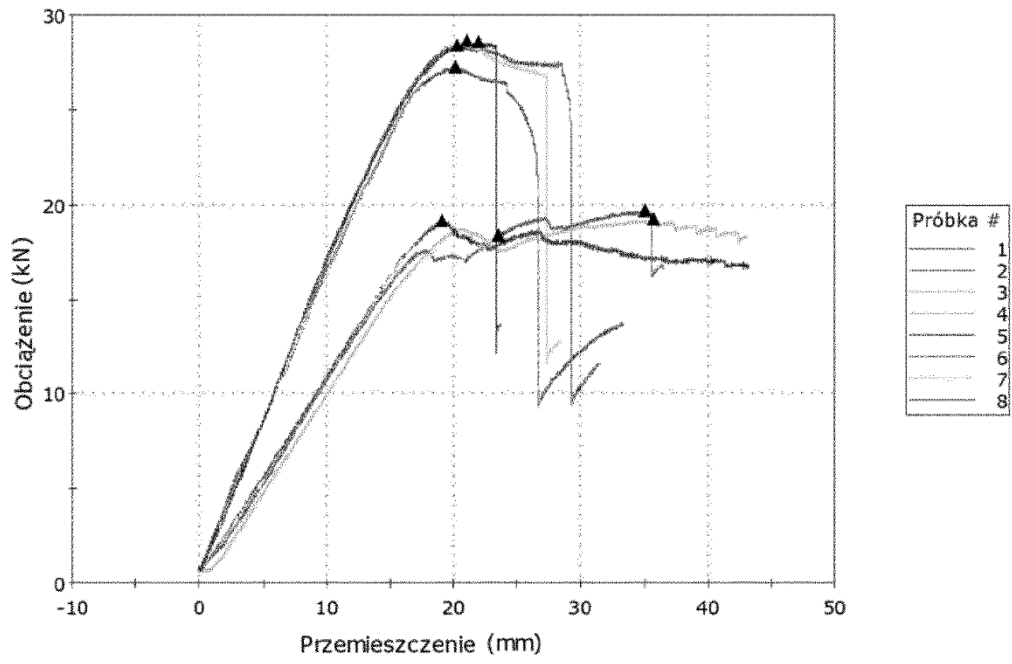


fig. 2