

# Projektowanie, wytwarzanie i badania weryfikacyjne bocznego urządzenia zabezpieczającego do pojazdów ciężarowych Wielton

Design, manufacture and experimental verification of side safety device for Wielton trucks

MARIAN KLASZTORNY  
ARKADIUSZ CZARNUCH  
ROMAN ROMANOWSKI  
DANIEL B. NYCZ  
MARIUSZ GOLEC  
MACIEJ KACZOR\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.2.33>

Przedstawiono nowe rozwiązanie konstrukcyjno-technologiczne bocznego urządzenia zabezpieczającego do pojazdów ciężarowych Wielton. Urządzenie jest wykonane z laminatu poliestrowo-szklanego w technologii prasowania. Przeprowadzono obliczenia numeryczne w systemie MSC.Marc oraz badania eksperymentalne weryfikacyjne, na podstawie Regulaminu nr 73 [3]. Uzyskano dobrą zgodność jakościową i ilościową wyników testów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** boczne urządzenie zabezpieczające, wytwarzanie, modelowanie numeryczne, badania eksperymentalne weryfikacyjne

*Presented is a new design-technological solution of a side safety device for Wielton trucks. A side safety device is manufactured of glass-polyester laminates and foam using press technology. Numerical modelling in MSC.Marc system and experimental verification tests were conducted according to Regulations no. 73. A good qualitative and quantitative compatibility of the results, were obtained.*

**KEYWORDS:** side safety device, manufacture, numerical modelling, verification experimental tests

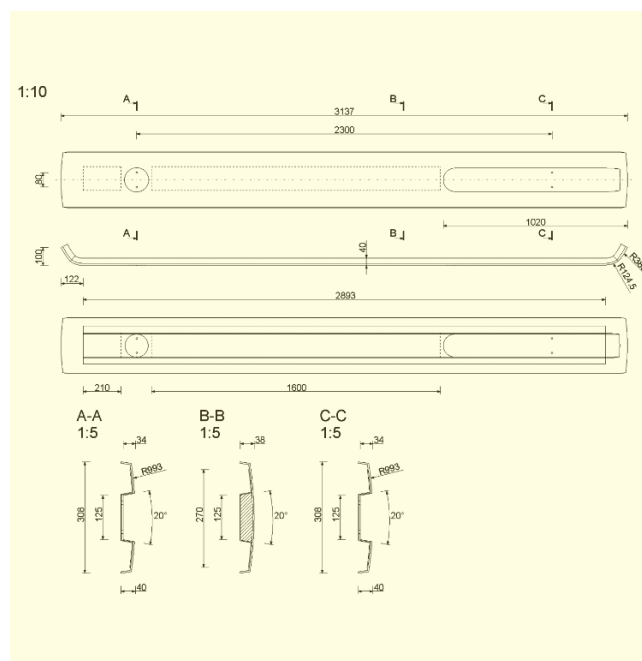
Boczne urządzenie zabezpieczające (BUZ) w pojazdach ciężarowych jest stosowane w celu ochrony rowerzystów przed wпадnięciem pod pojazd w razie wypadku/kolizji. BUZ, potocznie zwane odbojem antyrowerowym, odbojnikiem antyrowerowym lub osłoną antyrowerową, jest elementem osprzętu naczep/przyczep samochodów ciężarowych. Na rynku to urządzenie oferowane jest najczęściej w postaci pryzmatycznych, cienkościennych profili aluminiowych zamkniętych, jedno- lub dwukomorowych, dla których należy zaprojektować indywidualne złącza śrubowe w zależności od danego typu naczepy/przyczepy (m.in. [www.autoakcesoria.com.pl/sklep/zderzaki](http://www.autoakcesoria.com.pl/sklep/zderzaki)). Oferowane są również osłony stalowe ocynkowane ogniowo oraz nakładki z EPDM.

Przedsiębiorstwo Wielton S.A. we współpracy z przedsiębiorstwem Roma Sp. z o.o. i Wojskową Akademią Techniczną zaprojektowało nowy typ kompozytowego BUZ do samochodów ciężarowych Wielton. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki prac w zakresie projektowania, wytwarzania i badań kontrolnych tego odboju.

## Projekt konstrukcyjny BUZ

BUZ naczep/przyczep samochodów Wielton jest elementem osłonowym z kompozytu poliestrowo-szklanego o oryginalnym wzorze przemysłowym, uwzględniającym warunki bezpieczeństwa, nośności, użyteczności, montażu oraz estetyki.

Na rys. 1 pokazano końcowe, zwymiarowane rysunki konstrukcyjne BUZ – nie podano jedynie grubości powłok kompozytowych, będącej parametrem projektowym. Zaprojektowano żebro kompozytowe tylne z wkładką piankową na odcinku między wytłoczeniami. Wkładka piankowa ma przekrój trapezowy. Na maszynie CNC można wyciąć końcówki wklęsłe wkładki piankowej w taki sposób, aby między wytłoczeniami a wkładką nie było przeswistów. Przyjęto dopuszczalną całkowitą grubość odboju 40 mm.



Rys. 1. Projekt konstrukcyjny BUZ przyczep/naczep samochodów Wielton

## Wytwarzanie segmentów BUZ

Serię próbną BUZ wytworzono w przedsiębiorstwie Roma Sp. z o.o. w Grabowcu ([www.roma.torun.pl](http://www.roma.torun.pl)), specjalizującym się w nowoczesnych technologiach i produkcji konstrukcji z kompozytów poliestrowo-szklanych.

\* Prof. dr hab. inż. Marian Klasztorny (m.klasztorny@gmail.com) – Wydział Mechaniczny Wojskowej Akademii Technicznej; lic. Roman Romanowski (rromanowski@roma.torun.pl) – Roma Sp. z o.o., Grabowiec; dr inż. Daniel B. Nycz (daniel.nycz@interia.pl) – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Sanok; inż. Arkadiusz Czarnuch (a.czarnuch@wielton.com.pl), inż. Mariusz Golec (m.golec@wielton.com.pl), inż. Maciej Kaczor (m.kaczor@wielton.com.pl) – Wielton S.A., Wieluń

Do produkcji BUZ zastosowano technologię prasowania. Szttywna, zamykana forma kompozytowa składa się z formy dolnej (od strony przedniej odboju) i formy górnej (od strony tylnej odboju). Po nałożeniu na powierzchnie obu form środków antyadhezyjnych w formie dolnej nakłada się warstwę zdobniczą, antyosmozową, odporną na UV, o zwiększonej elastyczności. Na warstwę zdobniczą nakłada się warstwy wzmocnienia szklanego oraz rdzeń piankowy. Warstwy wzmocnienia, odpowiednio układane ze względu na wytłoczenia, przesyca się wstępnie żywicą poliestrową. Następnie formę zamyka się za pomocą pokrywy górnej. Pod ciśnieniem rzędu 4 bar i w temperaturze 24°C następuje zamknięcie formy. W trakcie powolnego zamykania (uwzględnia się parametry żywicy, tj. czas żelowania i czas utwardzania) następuje przesykanie zbrojenia szklanego i wyciskanie nadmiaru żywicy.

### Modelowanie numeryczne i obciążenia testowe BUZ

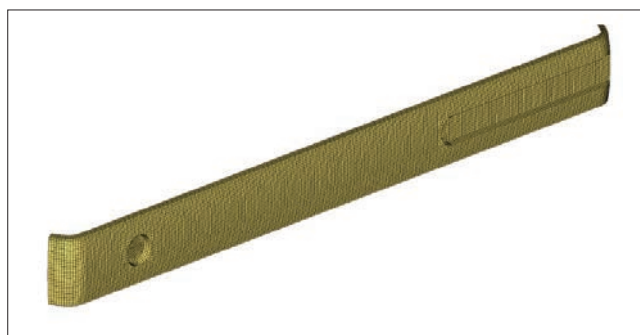
Model geometryczny odboju stworzono w środowisku Catia v5. Uproszczenie geometrii do powierzchni środkowych oraz dyskretyzację modelu przeprowadzono w programie Altair HyperMesh 12.0. Przyjęto średni wymiar siatki elementów skończonych równy 10 mm. Całkowita liczba elementów skończonych wynosiła 15 863 (liczba węzłów 15 978). Na rys. 2 pokazano posiatkowany model odboju w widoku izometrycznym z przodu. W obliczeniach pominięto wypełnienie piankowe, które pełni funkcję technologiczną i służy tylko do wytworzenia żebra tylnego.

Elementom skończonym o topologii QUAD4 (15 841 elementów) i TRIA 3 (22 elementy) przypisano sformułowanie elementów grubopowłokowych *Bilinear Thick-shell Element* [1]. Warstwom laminatów przyporządkowano model materiałowy ortotropowy liniowo sprężysto-kruchy, z kryterium niszczenia progresywnego *Hashin-Fabric* [2]. Podstawowe stałe materiałowe lamin zestawiono w tabl. I. Kierunki 1 i 2 są kierunkami włókien osnowy i wątku, a kierunek 3 – kierunkiem grubości laminaty.

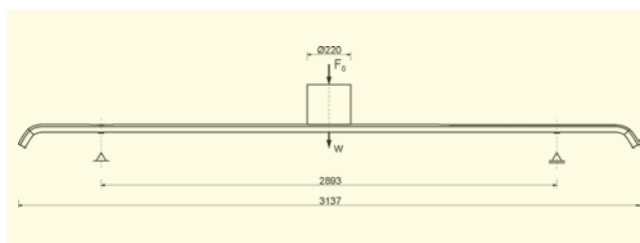
W obliczeniach statycznych przyjęto stałe materiałowe i grubości lamin odpowiadające technologii ręcznej i temperaturze próbek 20°C. Ze względu na zastosowanie do wytwarzania odboju technologii prasowania zmniejszenie ulega stopień wzmocnienia lamin, tj. następuje zmniejszenie ilości żywicy (zmniejszenie grubości lamin). Na podstawie obliczeń wstępnych wyznaczono w przybliżeniu zwiększenie ugięcia odboju i indeksu wyteżenia odboju wykonanego w technologii prasowania – wyniosło ono 10% w porównaniu z odbojem wykonanym w technologii ręcznej.

Obciążenia testowe BUZ zostały określone w Regulaminie 73 [3]. Odbój obciążono idealnie sztywnym stemplem walcowym o średnicy  $\varnothing 220$  mm, z wymuszeniem siłowym, w dwóch wariantach przedstawionych na rys. 3 i 4 (wariant 1 – obciążenie środkowe, wariant 2 – obciążenie skrajne). Pomiedzy stemplem a odbojem zdefiniowano model kontaktu typu *Tauching*, bazujący na metodzie *Constrain Method* [2], ze współczynnikiem tarcia 0,29 (para cierna kompozyt – stal [4]).

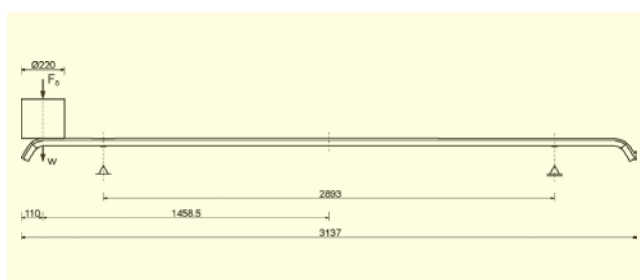
Dla wariantu 1 siła obciążająca  $F_0 = 1000$  N działała w środku rozpiętości odboju. Ugięcie dopuszczalne  $w_{dop} = 150$  mm [3], a przyjęta dopuszczalna wartość indeksu wyteżenia laminatów  $R_{dop} = 0,60$ . Dla wariantu 2 siła obciążająca  $F_0 = 1000$  N działała na część skrajną odboju. Ugięcie dopuszczalne  $w_{dop} = 30$  mm [3], a przyjęta dopuszczalna wartość indeksu wyteżenia laminatów  $R_{dop} = 0,60$ .



Rys. 2. Posiatkowany model BUZ – widok izometryczny z przodu



Rys. 3. Wariant 1 obciążenia BUZ (położenie środkowe)



Rys. 4. Wariant 2 obciążenia BUZ (położenie skrajne)

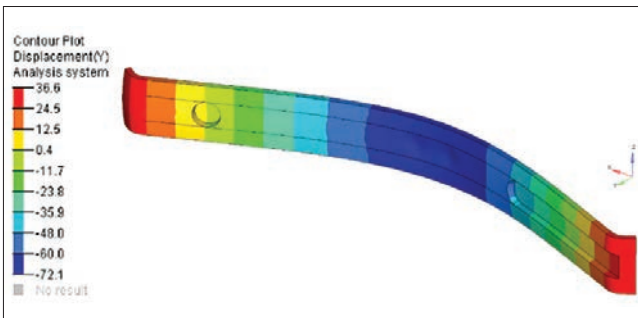
**TABLICA I. Podstawowe stałe sprężystości i wytrzymałości laminatów poliestrowo-szklanych, wzmocnionych tkaniną lub matą, w temperaturze 20°C [4]**

Rodzaj laminatu	Kompozyt poliestrowo-szklany wzmocniony tkaniną	Kompozyt poliestrowo-szklany wzmocniony matą
Moduł Younga w kierunku 1 przy rozciąganiu $E_{1t}$ , GPa	16,9	8,46
Moduł Younga w kierunku 1 przy ścisnaniu $E_{1c}$ , GPa	18,5	9,41
Stała Poissona w płaszczyźnie 12 $\nu_{12}$	0,15	0,40
Moduł ścinania (Kirchhoffa) w płaszczyźnie 12 $G_{12}$ , GPa	2,43	2,79
Moduł ścinania (Kirchhoffa) w płaszczyźnie 13 $G_{13}$ , GPa	0,564	0,989
Wytrzymałość na rozciąganie w kierunku 1 $R_{1t}$ , MPa	279	99
Wytrzymałość na ścisnaniu w kierunku 1 $R_{1c}$ , MPa	203	221
Wytrzymałość na ścinanie w płaszczyźnie 12 (normowe) $R_{12}$ , MPa	34,5	87,9
Wytrzymałość na ścinanie w płaszczyźnie 13 $R_{13}$ , MPa	23,0	34,7

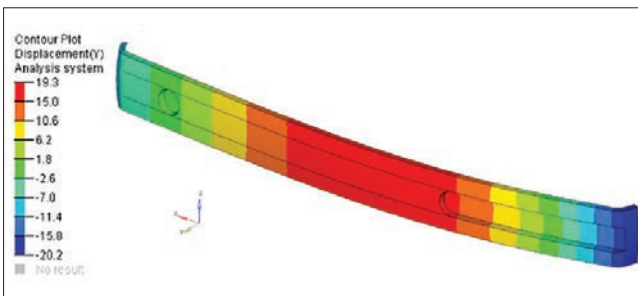
Połączenia śrubowe na wspornikach modelowano jako połączenia przegubowe, nieprzesuwne z jednej strony i przesuwne z drugiej strony odboju.

Projektowanie laminatów polegało na przeprowadzeniu obliczeń statycznych dla pięciu sekwencji warstw laminatów (laminat przedni od 2 do 4 warstw, laminat tylny od 1 do 3 warstw, wzmocnienia: tkanina szklana z przeplotem prostym, mata szklana). Badane układy lamin i ich układ końcowy stanowią własność przemysłową przedsiębiorstwa Roma.

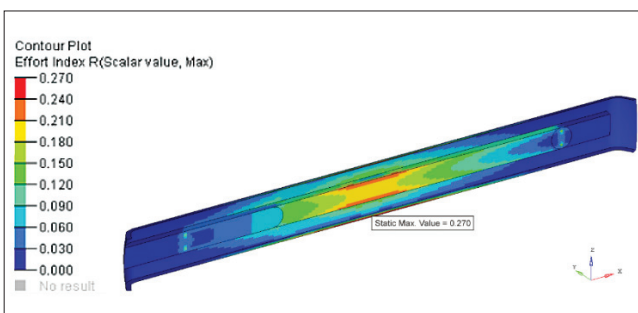
Obliczenia statyczne przeprowadzono, stosując kod metody elementów skończonych MSC.Marc [2]. Zastosowano metodę Newtona-Raphsona z siłowym i przemieszczeniowym kryterium zbieżności [2].



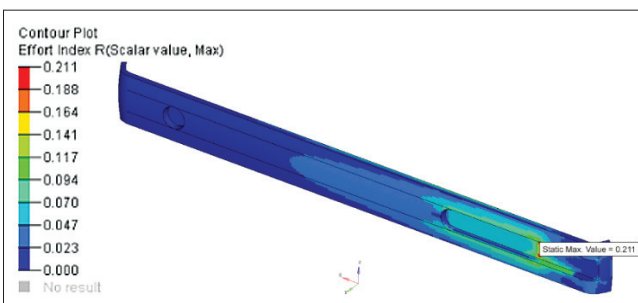
Rys. 5. Warstwy przemieszczeń w kierunku wymuszenia i deformacja BUZ (skala deformacji 5:1) – wariant 1 obciążenia, wariant S05 sekwencji warstw laminatów



Rys. 6. Warstwy przemieszczeń w kierunku wymuszenia i deformacja BUZ (skala deformacji 5:1) – wariant 2 obciążenia, wariant S05 sekwencji warstw laminatów



Rys. 7. Warstwy indeksu wyężenia  $R$  urządzenia BUZ – wariant 1 obciążenia, wariant S05 sekwencji warstw laminatów



Rys. 8. Warstwy indeksu wyężenia  $R$  urządzenia BUZ – wariant 2 obciążenia, wariant S05 sekwencji warstw laminatów

## Wyniki obliczeń statycznych BUZ

Na rys. 5 i 6 pokazano warstwy przemieszczeń w kierunku wymuszenia i deformacje BUZ na stanowisku badawczym (skala 5:1) dla sekwencji warstw laminatów S05, rekomendowanej do wytwarzania odboju w technologii prasowania. Na rys. 7 i 8 przedstawiono warstwy indeksów wyężenia  $R$  (wszystkie warstwy i wszystkie kryteria niszczenia według hipotezy *Hashin-Fabric*) dla sekwencji warstw laminatów S05. W tabl. II zestawiono prognozowane numerycznie wartości przemieszczenia pionowego odboju (pod stemplem obciążającym) oraz wartości indeksów wyężenia, odpowiadające pięciu wariantom układów warstw laminatu przedniego i tylnego.

TABLICA II. Prognozowane numerycznie wartości przemieszczenia pionowego BUZ na stanowisku badawczym (pod stemplem obciążającym) oraz wartości indeksów wyężenia  $R$ , odpowiadające pięciu wariantom układów warstw laminatu przedniego i tylnego

Wariant sekwencji warstw	Wariant obciążenia	Wartości dopuszczalne		w, mm	R
		$w_{dop}$ , mm	$R_{dop}$		
S01	1	150	0,60	26,8	0,128
	2	30	0,60	5,6	0,082
S02	1	150	0,60	41,3	0,164
	2	30	0,60	7,5	0,119
S03	1	150	0,60	87,5	0,333
	2	30	0,60	14,4	0,271
S04	1	150	0,60	61,4	0,230
	2	30	0,60	10,4	0,179
S05	1	150	0,60	71,7	0,270
	2	30	0,60	12,0	0,211

## Badania kontrolne eksperymentalne BUZ

Badania kontrolne eksperymentalne (walidację) zaprojektowanego BUZ pod kątem spełnienia wymagań homologacyjnych według Regulaminu 73 [3] przeprowadzono w sierpniu 2016 r. w przedsiębiorstwie Wielton w Wieluniu ([www.wielton.com.pl](http://www.wielton.com.pl)).

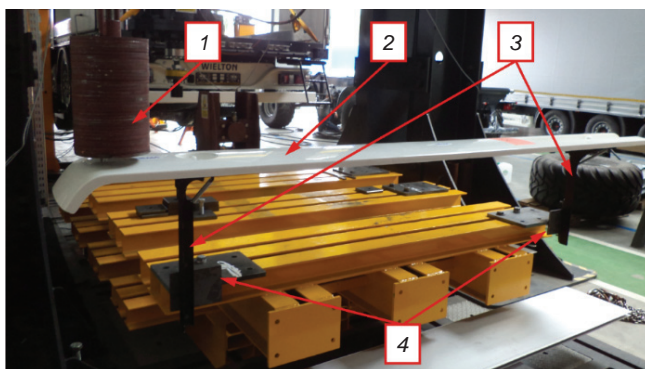
Segmenty zostały dostarczone przez producenta – przedsiębiorstwo Roma w Grabowcu – w dwóch wersjach, tj. S05 i S04, różniących się układem wzmocnienia laminatów. W wariantcie S04 grubości laminatów są o 30% większe niż w wariantcie S05.

W celu przeprowadzenia testów wytrzymałościowych odboju zbudowano stanowisko badawcze (rys. 9).

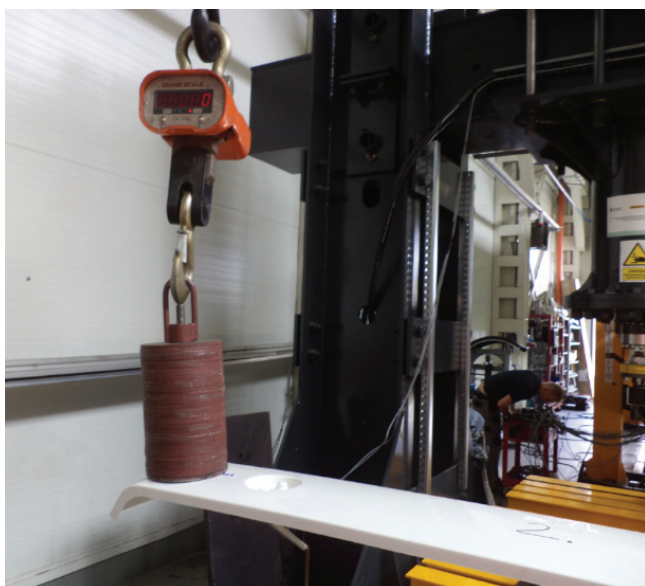
Obciążenie było kontrolowane za pomocą wagi suwnicowej. Pomiar ugięcia badanego segmentu wykonano dalmierzem laserowym. Odbój został przymocowany do podpór o rozstawie 2300 mm za pomocą dwóch śrub M8 na każdej podporze. Warunki eksperymentu były zbliżone do warunków rzeczywistych w pojazdach Wielton.

Według wytycznych [3] boczne urządzenie zabezpieczające uważa się za odpowiednie, jeżeli jest ono w stanie wytrzymać statyczną siłę poziomą wynoszącą 1 kN, przyłożoną prostopadle na jakąkolwiek część jego zewnętrznej powierzchni środkiem stempla o zakończeniu okrągłym i płaskim, którego średnica wynosi  $\varnothing 220$  mm  $\pm 10$  mm, i jeżeli odchylenie urządzenia pod tym obciążeniem mierzone w środku stempla jest nie większe niż:

- 30 mm na mierzącym 250 mm, najbardziej wysuniętym do tyłu odcinku urządzenia,
- 150 mm w pozostałej części urządzenia.



Rys. 9. Stanowisko do walidacji BUZ według [3], składające się z następujących podkadłków: 1 – obciążnika walcowego o masie 100 kg i średnicy podstawy  $\varnothing 220$  mm, 2 – badanego segmentu (odboju), 3 – uchwytów odboju, 4 – elementów sztywnych, zastępujących podłużnice belki głównej pojazdu (źródło: Wielton S.A.)



Rys. 10. Obciążenie BUZ w skrajnym przednim położeniu (źródło: Wielton S.A.)



Rys. 11. Obciążenie BUZ w położeniu środkowym (źródło: Wielton S.A.)

Profile – w dwóch dostarczonych wersjach – zbadano zgodnie z wytycznymi [3]. Badanie odbyło się kolejno poprzez przykładanie obciążenia w skrajnym położeniu przednim (rys. 10), w skrajnym położeniu tylnym oraz w położeniu środkowym (rys. 11). Dla każdego przypadku mierzone było ugięcie względem pierwotnego nieobciążonego profilu. Wyniki pomiaru ugięć zestawiono w tabl. III.

TABLICA III. Wyniki pomiaru ugięć testowanych segmentów BUZ pod obciążeniem stemplem 100 kg

WERSJA S05		Ugięcie, mm		
		z przodu	w środku	z tyłu
Polożenie obciążenia	z przodu	12	–	–
	na środku	–	66	–
	z tyłu	–	–	14
WERSJA S04		Ugięcie, mm		
		z przodu	w środku	z tyłu
Polożenie obciążenia	z przodu	10	–	–
	na środku	–	58	–
	z tyłu	–	–	8

Wnioski z przeprowadzonych badań kontrolnych eksperymentalnych są następujące:

- Zmierzone przemieszczenia mieściły się w zakresie sprężystym. Po zdjęciu obciążenia profil BUZ wykazywał tendencję do powracania do pierwotnego kształtu.
- Po badaniach eksperymentalnych profili BUZ dokonano oceny wizualnej, podczas której nie zauważono uszkodzeń mechanicznych testowanych segmentów.
- Różnice względne wyników symulacyjnych ugięć względem wyników doświadczalnych wynoszą odpowiednio dla sekwencji S04 i S05: +6% i +9% w środku rozpiętości przy obciążeniu w środku rozpiętości oraz +4% i 0% z przodu belki (w części wspornikowej) przy obciążeniu z przodu belki. Walidacja eksperymentalna wyników symulacji jest zatem pozytywna.
- Po przeprowadzonych testach eksperymentalnych stwierdza się, że nowa konstrukcja profilu odbojowego w dwóch wersjach wykonania spełnia wymagania wytrzymałościowe Regulaminu 73 [3].

### Podsumowanie

- Wszystkie warianty sekwencji warstw (S01, S02, S03, S04 i S05) spełniają warunki nośności i użyteczności.
- Nowa konstrukcja BUZ – w obu dostarczonych wersjach wykonania – spełnia wymagania wytrzymałościowe wynikające z Regulaminu 73 [3].
- Ze względu na grubości laminatów i dobre układanie tkanin na wytłoczeniach do produkcji wybrano BUZ z sekwencją warstw S05 (prawie najcieńsze laminaty wśród laminatów badanych numerycznie, o relatywnie małej gęstości powierzchniowej wzmocnień lamin).
- Wybrane rozwiązanie konstrukcyjne BUZ jest konkurencyjne na rynku (odznacza się małą masą, odpornością na korozję, niską ceną i walorami estetycznymi).

### Praca została sfinansowana przez przedsiębiorstwo Wielton S.A.

### LITERATURA

1. Marc 2008 r1, Vol. B. Element Library. MSC.Software Co., Santa Ana, CA, USA.
2. Marc 2008 r1, Vol. A. Theory and User Information. MSC.Software Co., Santa Ana, CA, USA.
3. Regulamin nr 73 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji.
4. Nycz D. „Modelowanie i badania numeryczne testów zderzeniowych bariery klasy N2-W4-A na łukach dróg”. Warszawa: Wydawnictwo WAT, 2015.