

mgr inż. Jakub Zajac^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6080-2994

prof. dr hab. inż. Łukasz Drobiec¹⁾

ORCID: 0000-0001-9825-6343

mgr inż. Krzysztof Grzyb¹⁾

ORCID: 0000-0001-9039-5015

dr inż. Artur Kisiołek²⁾

ORCID: 0000-0002-8815-6776

DOI: 10.15199/33.2021.04.03

Streszczenie. Stropy panelowe pojawiły się na rynkach światowych na początku XXI w., a w Polsce ponad dziesięć lat później. Obecnie rozwiązania te są często pierwszym wyborem konstrukcji stropów w przypadku 8% polskich projektantów. Wraz ze zwiększonym zainteresowaniem komercyjnym, stropy panelowe coraz częściej stają się przedmiotem badań naukowych. Szczególne miejsce znalazły w Azji, gdzie badania są prowadzone w szerokim zakresie, mającym zwiększyć możliwości stosowania prefabrykatów. Autorskie badania długotrwałe wykazały cechy dwukierunkowej pracy paneli stropowych, wynikające z wykonania warstwy nadbetonu oraz specjalnie ukształtowanych zamków ścinanych. W efekcie ugięcie zostało zmniejszone nawet o 70% w odniesieniu do stosowanych w praktyce uproszczonych metod obliczeniowych. Stropy panelowe stanowią odpowiedź na zmiany gospodarcze zachodzące w ostatnich latach na rynku krajowym. **Słowa kluczowe:** stropy panelowe; rynek stropów; systemy stropowe; stropy sprężone.

Abstract. Panel slabs are a solution that appeared on world markets in the first half of the 21st century. The first elements manufactured in Poland were introduced over ten years later. Currently, these elements are indicated as the first choice by 8% of Polish designers. With the increased commercial interest, panel slabs are increasingly becoming elements of scientific research. They found a special place in Asia, where research is carried out in many areas to expand precast elements' applications. The authors' long-term research has shown the panels' two-way work's decisive features, resulting from the concrete overtopping and specially shaped shearkey. As a result, the deflections are reduced even by 70% compared to the simplified calculation methods used in practice. Panel slabs are the market's response to economic changes in the domestic market in recent years.

Keywords: panel slabs; slabs market; slab systems; prestressed slabs.

Problematyka dotycząca systemów stropowych tylko z pozoru wydaje się niszowa. W rzeczywistości dotyczy wielu osób, których praca związana jest z realizacją szeroko pojętego procesu budowlanego. Zalicza się do nich projektantów, inspektorów nadzoru, kierowników budów oraz inwestorów. Rozwój cywilizacyjny, wzrost zamożności społeczeństwa, jak również ciągła presja konkurencji wpływają na zmienność produktu na każdym jego poziomie. Konkurowanie wg Levitta odbywa się nie *tylko między tym, co przedsiębiorstwa wytwarzają, ile między tym, co do produktu dodają* [6]. Na rynku stropów dominują produkty o jakości wyznaczonej niską ceną, która wydaje się niezbędna do walki konkurencyjnej. Ten obraz rynku zmienia się jednak na naszych oczach. Nowe trendy w budownictwie, nowe technologie, problemy z dostępnością siły roboczej, a także zmiany o charak-

terze społeczno-ekonomicznym, stawiają wyzwania przed całym budownictwem. Aby im sprostać, należy skupić uwagę na potrzebach klientów i dostosowywaniu do nich oferty.

Istota badania

Prezentowane badanie zostało przeprowadzone w ramach autorskiego projektu *Systemy stropowe w Polsce* realizowanego w okresie styczeń 2019 – październik 2020 i jest drugim tego typu przedsięwzięciem na przestrzeni ostatnich lat [5]. Podstawowym narzędziem badawczym był kwestionariusz ankietowy składający się z trzech pytań, obejmujących:

- czynniki o charakterze techniczno-ekonomicznym związane z doborem/wybozem systemu stropowego;
- kryteria techniczne istotne w procesie wyboru systemu stropowego;
- popularność wybranych systemów stropowych.

Kwestionariusz został skierowany do czterech głównych grup odbiorców/decydentów: projektantów (konstruktorów); wykonawców; dystrybutorów oraz inwestorów. Wpłynęło 976 wypełnionych

ankiet, a najliczniejszą grupę respondentów wynoszącą 79,1% ogółu badanych (772 respondentów) stanowili projektanci/konstruktorzy. Analizowano popularność poszczególnych typów systemów stropowych, a otrzymane dane przedstawiono w pięciu kategoriach częstości wyboru danego rozwiązania: bardzo często; często; niezbyt często; rzadko i bardzo rzadko.

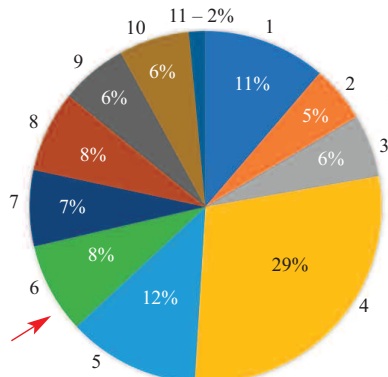
Zgodnie z pierwotną chronologią jako pierwszą rozpatrywano **kategorię stropów wybieranych „bardzo często”**. **Najpopularniejszym systemem stropowym wg badanych jest strop monolityczny: 29% wskazań (43% w poprzedniej edycji badania), kolejne miejsca zajmują stropy typu FILIGRAN – 12% głosów respondentów (13% w poprzedniej edycji badania) oraz stropy gęstożebrowe typu TERIVA – 11% (spadek o 10% w porównaniu z poprzednim badaniem)**. Łącznie stropy gęstożebrowe uzyskały 22% wskazań (28% w poprzednim badaniu). Jeżeli spojrzymy na popularność każdego z systemów oddzielnie, to zdecydowanie najpopularniejszym rozwiązaniem są stropy Teriva, ale ich popularność znacznie się

¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa; Katedra Konstrukcji Budowlanych

²⁾ Wielkopolska Wyższa Szkoła Społeczno-Ekonomiczna; Wydział Ekonomiczny

^{*)} Adres do korespondencji: jakub.zajac@polsl.pl

zmniejszyła w porównaniu z poprzednią edycją badania. Następnie 5% wskazań uzyskał ceramiczny strop gęstożebrowy i 6% – strop gęstożebrowy na belce sprężonej. Szczegółowe dane pokazujące wyniki badań popularności systemów stropowych w kategorii rozwiązań wybieranych „bardzo często” przedstawiono na rysunku 1.



Oznaczenia stropów: 1 – gęstożebrowy TERIVA; 2 – gęstożebrowy ceramiczny; 3 – gęstożebrowy na belce sprężonej (np. Master, Rector, Murotherm); 4 – monolityczny; 5 – typu FILIGRAN; 6 – panelowy; 7 – z prefabrykowanych płyt kanałowych typu „S”; 8 – z prefabrykowanych płyt kanałowych strunobetonowych (sprężonych); 9 – drewniany; 10 – stalowy; 11 – inny

Rys. 1. Popularność systemów stropowych – systemy wybierane „bardzo często”

Fig. 1. The popularity of floor systems – systems were chosen „very often”

Słabnąca popularność stropów monolitycznych oraz stropów gęstożebrowych typu TERIVA podyktowana jest przede wszystkim dużą pracochłonnością, materiałochłonnością oraz dużym ostatecznym kosztem wykonania. Tak wyraźna dominacja rozwiązań technologicznie przestarzałych była przez lata podyktowana następującymi czynnikami:

- siłą przyzwyczajenia i nawyków;
- brakiem chęci do „eksperymentowania”;
- niewiedzą na temat innych systemów stropowych;
- dużą podażą stropów gęstożebrowych (wg szacunków autorów – w Polsce funkcjonuje kilkuset producentów stropów typu TERIVA) zarówno w dystrybucji bezpośredniej, jak i w handlu hurtowym.

Jak pokazały badania, na przestrzeni pięciu lat rynek systemów stropowych znacznie się zmienił, a powodów tej transformacji jest wiele i powinno to stanowić kierunek dalszych badań. Ana-

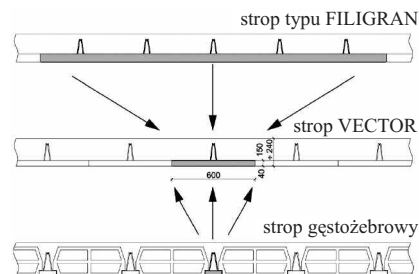
lizując uzyskane odpowiedzi, wskazać należy na kilka trendów, w tym m.in.: rosnące koszty materiałów budowlanych i robocizny; brak wykwalifikowanych specjalistów głównie w zakresie wykonawstwa; rygorystyczne wymagania techniczne (np. dźwiękoizacyjność); skracanie okresu realizacji prac budowlanych. Z tego względu na kolejnych miejscach znalazły się, uzyskując taką samą liczbę wskazań (8%): **stropy ze sprężonych płyt kanałowych** oraz nowa kategoria w tym badaniu – **stropy panelowe**. Zastosowanie tych ostatnich umożliwia skrócenie czasu budowy, a także uzyskanie większej nośności i rozpiętości przy stosunkowo niewielkiej grubości stropu. Ponadto, dzięki eliminacji wielu prac dodatkowych, **stropy panelowe są jednymi z najtańszych rozwiązań stropowych na rynku**.

Charakterystyka stropów panelowych

Stropy panelowe upowszechniły się w Polsce w drugiej dekadzie XXI w. Na rynkach światowych konstrukcje zbliżone cechami do tych stropów produkowano na początku XXI w., a ich intensywny rozwój nastąpił po 2010 r. Za nazwą „stropy panelowe” kryje się kilka podstawowych cech: **równa i gładka powierzchnia dolna pełniąca rolę szalunku traconego, a zarazem zawierająca główne zbrojenie nośne; modułarna szerokość oraz często możliwość ułożenia paneli za pomocą lekkiego dźwigu HDS**. System stropów panelowych jest odpowiedzią na zmiany zachodzące w ostatnich latach w sektorze budowlanym, szczególnie dotyczące wzrostu kosztów robocizny.

Stropy panelowe wywodzą się z rozwiązań zespolonych oraz gęstożebrowych. Ich popularność wynika przede wszystkim z łatwości montażu i wykonania. Natomiast stropy gęstożebrowe, pomimo dużych nakładów pracy podczas wykonania, cechują się prostotą stosowania, co stanowi istotny czynnik przy ich wyborze. Drugą grupą stropów panelowych są rozwiązania powstałe w wyniku zmniejszenia już istniejących prefabrykowanych elementów do szerokości umożliwiającej łatwy transport. Koncepcja stropów panelowych bazuje

na prostym schemacie statycznym w postaci jednokierunkowo pracującej płyty stropowej, co pokazano na rysunku 2 (na przykładzie stropu VECTOR wg [1 i 2]).



Rys. 2. Idea powstania paneli VECTOR
Fig. 2. Idea behind the VECTOR panels

Przykłady polskich rozwiązań

Zgodnie z zaproponowaną definicją stropów panelowych można do nich zakwalifikować kilka typów stosowanych obecnie stropów:

■ **VECTOR** – gęstożebrowy strop zespolony stanowiący po części wycinek płyty typu FILIGRAN, a po części poszerzenie dolnej stopki TERIVA; szerokość płyty 60 cm; centralnie umieszczona kratownica;

■ **S-Panel** oraz **TERIVA PANEL** – strop sprężony składający się z żeber typu I w rozstawie co 35 cm, tworzących jeden panel szerokości 60 lub 120 cm, niewymagający dozbrojenia styków, a jedynie wykonania nadbetonu;

■ **SMART** – płyta kanałowa, dostosowana do potrzeb budownictwa mieszkaniowego, powstała przez zmniejszenie szerokości elementu do 60 cm; dzięki zastosowaniu górnych cięgien sprężających możliwe jest wykonanie wsporników z płyty sprężonej, bez dodatkowego dozbrojenia w warstwie nadbetonu;

■ **płyty Ytong** ze zbrojonego betonu komórkowego o szerokości 60; 62,5 oraz 75 cm, niewymagające dozbrojenia ani wykonywania nadbetonu; dzięki dobrym parametrom termicznym umożliwiają wykonywanie wsporników balkonowych bez mostków termicznych.

Badania

Wraz ze zwiększeniem popularności stropów panelowych zarówno w Polsce, jak i na świecie, elementy te stały się przedmiotem badań doświadczalnych. Większość z nich realizowanych jest

w krajach azjatyckich, w których stropy panelowe o konstrukcji sprężonej płyty żebrowej zdobyły znaczną część rynku. Wynika to z ich dużej odporności na zjawiska sejsmiczne, a jednocześnie minimalnego nakładu pracy w porównaniu z elementami monolitycznymi.

Ostatnie lata zaowocowały badaniami i wdrożeniem kilku nowych typów stropów zespolonych. W przypadku płyt dedykowanych rozwiązaniu przemysłowym **podjęto próbę zastosowania miękkiego zbrojenia w postaci kratownic zwiększających nośność zespolenia, na granicy wielożebrowego prefabrykatu z nadbetonem** – Joint Advanced Slab System (JAS) [3]. Stosowane są również **stropy z prefabrykatami o zróżnicowanym na długości kształcie poprzecznego przekroju przy podporze i w przęśle** – Optimized-section Precast Slab (OPS) [4]. JAS oraz OPS wykonywane są w krajach azjatyckich.

Dotychczas badania pełnowymiarowych stropów, zawierających więcej niż jeden prefabrykat, były prowadzone sporadycznie i dotyczyły głównie sposobu ukształtowania oraz zbrojenia styku podłużnego, mającego wpływ na dwukierunkową pracę stropu. Interesującym aspektem był wpływ zbrojenia przechodzącego przez żebra paneli stropowych (rysunek 3) [13].

Pomimo wielu lat stosowania stropów zespolonych, wykonanych z elementów panelowych pracujących jedno- i dwukierunkowo, dotychczas nie przeprowa-

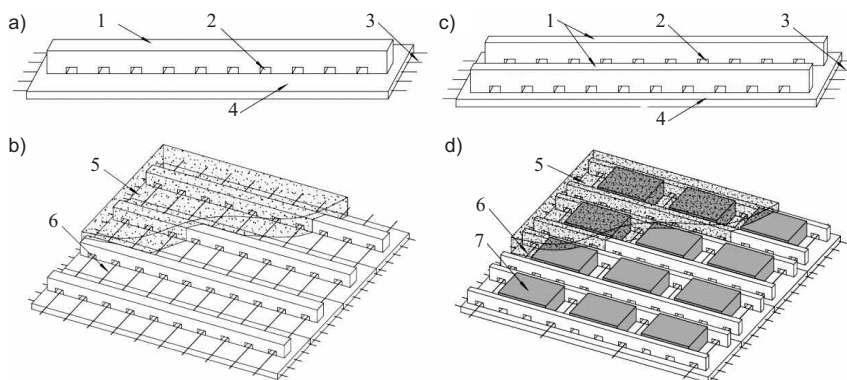
dzono badań w warunkach obciążeń długotrwałych z analizą pracy dwukierunkowej. Brak rozpoznania tej problematyki widoczny jest także w normowych przepisach dotyczących prefabrykatów [8, 9]. Zdawkowe informacje na ten temat zawiera norma [7] poświęcona płytom kanałowym. W [7] zawarto wzór na nośność styku poprzecznego na ścinanie oraz model obliczeniowy rozdziału obciążeń pomiędzy poszczególnymi płytami.

Zmarginalizowany został problem obciążeń długotrwałych mających wpływ na warunki USL i SLS. W celu rozpoznania tych zagadnień przeprowadzono badania stropów prefabrykowanych, których zasadniczym celem był wpływ oddziaływań długotrwałych na morfologię zarysowań, poprzeczną współpracę

Opis zastosowanych paneli

Description of the used panels

Nazwa	Przekrój poprzeczny panelu	Rodzaj panelu
VECTOR II		płyta z jedną kratownicą i zbrojeniem prętowym
VECTOR III		płyta z jedną kratownicą, głównym zbrojeniem prętowym oraz włóknami polimerowymi
TERIVA PANEL z pianobetonem		sprężona płyta żebrowa z wypełnieniem przestrzeni międzyżebrowej pianobetonem
SMART		sprężona płyta kanałowa



Rys. 3. Modele badawcze ze zbrojeniem poprzecznym przepuszczonym przez żebra: a) płyta z jednym żebrem; b) pełna płyta zespolona; c) płyta z dwoma żebrowymi; d) płyta zespolona z pustkami; 1 – żebro; 2 – prostokątny otwór; 3 – sploty sprężające; 4 – dolna płyta; 5 – nadbeton; 6 – zbrojenie poprzeczne; 7 – XPS

Fig. 3. Research models with transverse reinforcement passed through the ribs: a) single-rib precast bottom panel; b) solid composite slab; c) double-rib precast bottom panel; d) hollow composite slab; 1 – rib; 2 – rectangular opening; 3 – prestressing wires; 4 – bottom panel flange; 5 – concrete layer; 6 – transverse reinforcement; 7 – XPS

prefabrykatów i zmianę przemieszczeń [10 – 12]. Zbadano cztery stropy w skali naturalnej, które poddano doraźnym obciążeniom równomiernym (o wartości równej sumie obciążenia stałego i maksymalnego obciążenia zmiennego) oraz nierównomiernym obciążeniom długotrwałym. W badaniach długotrwałych obciążenie utrzymywano na stropie przez ponad dwanaście miesięcy. Analizowano trzy typy stropów panelowych (zespolonych in situ warstwą nadbetonu) oraz jeden strop z płyt typu HC. Modele wykonano z paneli typu VECTOR II, VECTOR III, TERIVA PANEL oraz SMART (tabela).

Panele VECTOR III stanowiły eksperymentalną próbkę z polimerowymi włóknami rozproszonymi zastępującymi pre-

tove zbrojenie przeciwskurczowe. Model badawczy wykonano jako pełnoskalowy o wymiarach w rzucie 6,30 x 6,30 m. Całkowita grubość stropów wynosiła: 200 mm w przypadku stropów VECTOR; 160 mm – TERIVA PANEL oraz 150 mm – płyt SMART, a obciążenie długotrwałe 7,7 kN/m² na połowie paneli oraz 1,7 kN/m² na pozostałej części (5 paneli).

Na podstawie badań długotrwałych stwierdzono dwukierunkową pracę wszystkich paneli stropowych. Maksymalne ugięcie stanowiło 30% wartości obliczonych w przypadku paneli pracujących wyłącznie jednokierunkowo i wynosiło 10 – 13 mm. Największy przyrost przemieszczeń odnotowano w pierwszych 30 dniach, a po 150 dniach osiągnęły one 80% wartości zmierzono-



ARBOCEL – The Power of Progress

– włókna na bazie celulozy o charakterze mikrobrojającym, zagęszczającym oraz strukturotwórczym w produktach chemii budowlanej



Rettenmaier Polska
Sp. z o.o.
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B
02-366 Warszawa
mobile +48 600 423 423
Tel + 48 22 608 51 00
e-mail: arbocel@jrs.pl

nych po zakończeniu badań. W żadnym z modeli nie odnotowano zarysowań w linii styków na górnej powierzchni stropów. Wyniki pomiarów przemieszczeń na stykach paneli nie wykazały podstaw do stwierdzenia efektu klawiszowania. Eksperymentalny panel VECTOR III nie został wprowadzony do produkcji po zakończeniu badań. Dalsze badanie ukierunkowano na zamianę metalicznego zbrojenia przeciwskurczowego na zbrojenie kompozytowe. Końcowe wartości ugięć w każdym z analizowanych modeli stropów były znacznie mniejsze od wymagań normowych i spełniały warunek L/500.

Podsumowanie

Stropy panelowe to innowacyjne rozwiązania, przez które rozumie się nie tylko nowe typy konstrukcji. W praktyce często łączone są znane rozwiązania, ale w nowych konfiguracjach. W Polsce stropy panelowe mają cechy kilku systemów stropowych: niewielki ciężar i standaryzację – jak stropy gęstożebrowe; modułowość – jak prefabrykowane oraz cechy stropu zespolonego typu FILIGRAN. Oczywiście nie każdy projekt, szczególnie o bardzo złożonej architekturze, jest możliwy do zaadaptowania do rozwiązań prefabrykowanych. Dzięki dużym możliwościom dozbierania oraz konfiguracji stropu z różnych systemów panelowych i rozwiązań stropów prefabrykowanych zdecydowana większość konstrukcji może powstać w krótkim czasie. Należy mieć na uwadze fakt, że projekt obiektu musi zostać odpowiednio przemyślany, aby uwzględnił wszystkie cechy prefabrykatu.

Stosując się do zaleceń i rozwiązań przedstawionych w normach oraz materiałach producentów, często bazujących na własnych badaniach, możliwe jest zaprojektowanie konstrukcji o bardzo dobrych parametrach, nie gorszych niż tradycyjnie wykonywane stropy monolityczne. Potwierdzają to już zakończone i obecnie prowadzone badania [3, 4, 10 – 13]. Rozwiązania panelowe bazujące na płytach sprężonych pozwalają na uzyskanie znacznie większej rozpiętości przęsła, przy niewielkiej grubości konstrukcyjnej stropu. Niesie to za sobą korzyści zarówno pod względem zwiększenia powierzchni użytkowej, jak

i czasu budowy. Przyspieszenie tempa wznoszenia obiektu i zwiększenie uniwersalności konstrukcji jest ważnym elementem zrównoważonego rozwoju. Wpisuje się to w obecne dążenia do minimalizacji strat materiałowych, a także energetycznych wynikających z budowy oraz użytkowania obiektów.

Literatura

- [1] Drobiec Łukasz. 2018. „Stropy Vector. Koncepcja, kształtowanie, obliczanie, wykonawstwo”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice. ISBN 978-83-7880-512-0.
- [2] Drobiec Łukasz. 2018. „Sposoby oparcia stropów Vector na belkach wewnętrznych”. *Materiały Budowlane* 4: 31 – 32. DOI: 10.15199/33.2018.04.07.
- [3] Han, Sun Jin, Jae Hoon Jeong, Hyo Eun Joo, Seung Ho Choi, Seokdong Choi, i Kang Su Kim. 2019. „Flexural and shear performance of prestressed composite slabs with inverted multi-ribs”. *Applied Sciences* (Switzerland) 9 (22): 4946. <https://doi.org/10.3390/APP9224946>.
- [4] Ju, Hyunjin, Sun Jin Han, Hyo Eun Joo, Hae Chang Cho, Kang Su Kim, i Young Hun Oh. 2018. „Shear performance of optimized-section precast slab with tapered cross section”. *Sustainability* (Switzerland) 11 (1). <https://doi.org/10.3390/su11010163>.
- [5] Kisiołek Artur. 2018. „The market of flooring systems in Poland”. *Innovative Marketing* 14 (1): 13 – 22. [https://doi.org/10.21511/im.14\(1\).2018.02](https://doi.org/10.21511/im.14(1).2018.02).
- [6] Levitt Theodore. 1969. *The Marketing Mode*. New York: Mc Graw-Hill.
- [7] PN-EN 1168:2011 – Prefabrykaty z betonu – Płyty kanałowe. 2011. Warszawa: PKN.
- [8] PN-EN 13747:2011 – Prefabrykaty z betonu – Płyty stropowe do zespolonych systemów stropowych. 2011. Warszawa: PKN.
- [9] PN-EN 15037-1:2011 – Prefabrykaty z betonu – Belkowo-pustakowe systemy stropowe – Część 1: Belki. 2011. Warszawa: PKN.
- [10] Zając Jakub. 2020. „Badania doświadczalne stropu panelowego Vector III pod obciążeniem doraźnym oraz długotrwałym”. *Materiały Budowlane* (4): 25 – 28. DOI: 10.15199/33.2020.04.01.
- [11] Zając Jakub, Łukasz Drobiec, Radosław Jasiński, Wojciech Mazur, Krzysztof Grzyb, Artur Kisiołek. 2020. „Research on semi-precast prestressed concrete slab under short-term and long-term load”. *MATEC Web of Conferences* 323 (październik): 02001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032302001>.
- [12] Zając Jakub, Łukasz Drobiec, Radosław Jasiński, Mirosław Wiczorek, Artur Kisiołek. 2021. „Experimental tests of the Vector II slab in field conditions, slab and strip model”. *Civ. Environ. Eng. Rep.*, nr (1): s. 54 – 69. <https://doi.org/10.2478/ceer-2021-0004>.
- [13] Zheng Wenzhong, Lu Xueyuan i Wang Ying. 2015. „Flexural Behaviour of Precast, Prestressed Ribbed RPC Bottom Panels”. *The Open Civil Engineering Journal* 9, 535 – 543. <https://doi.org/10.2174/1874149501509010535>.

Przyjęto do druku: 22.03.2021 r.