

RACJONALIZACJA KONSTRUKCJI I TECHNOLOGII WYTWARZANIA PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

An improvement of the design and production technology of a belt conveyor

Stanisław KOZIOŁ, Tomasz SAMBORSKI, Andrzej ZBROWSKI

Streszczenie: Przenośniki taśmowe do transportu materiałów sypkich stanowią w wielu zakładach jeden z ważniejszych składników logistycznej infrastruktury przemysłowej. Struktura układów technologicznych wymusza często wzajemne, przestrzenne przenikanie się instalacji transportowych, technologicznych i powierzchni pomocniczych, co w przypadku przenośników wymaga wykorzystania wielowariantowej zdolności ich zabudowy. Możliwość elastycznej aranżacji przenośnika, przy zachowaniu jego trwałości i bezpieczeństwa, zależy w głównej mierze od konstrukcji i wytrzymałości jego struktury nośnej. W artykule przedstawiono wyniki analiz wytrzymałościowych różnych wariantów konstrukcyjnych struktury nośnej przenośników. Do analiz wykorzystano wirtualne modele utworzone w oprogramowaniu Autodesk Inventor 2017 oraz moduł obliczeniowy MES. Pod uwagę wzięto konstrukcje modułowe i monolityczne. Analizie poddano wpływ konstrukcji na możliwości wariantowej zabudowy przenośników oraz ich sztywność, trwałość i bezpieczeństwo. Dokonano analizy technologii wytwarzania ram przenośników oraz opracowano program racjonalizacji parku maszynowego i technik wytwarzania, stosowanych w zakładzie produkującym tego rodzaju urządzenia.

Słowa kluczowe: analiza MES, konstrukcja nośna, rama przenośnika, połączenia śrubowe, bezpieczeństwo konstrukcji

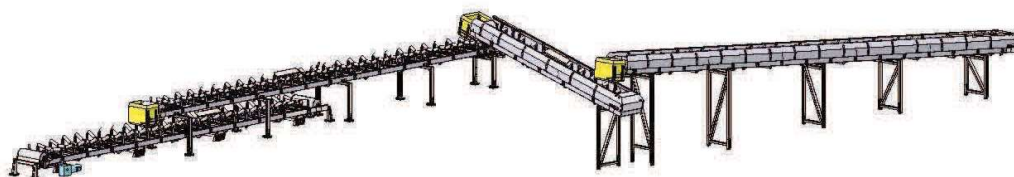
Abstract: In many factories, belt conveyors for the transport of bulk materials are an important component of the industrial logistics infrastructure. The structure of production systems often forces mutual spatial merging of transport, technological, and ancillary surface installations, which, in the case of conveyors, requires the availability of multiple possibilities for their arrangement. The flexibility of the conveyor arrangement, while maintaining its stability and safety, largely depends on the construction and the strength of its support structure. This article presents the results of strength analyses for the designs of support structure variants of conveyors. The analysis used virtual models created in Autodesk Inventor 2017 software and using calculating module MES. The constructions taken into consideration were both modular and monolithic designs. It included the analysis of the influence of the construction on the possibilities of assembly variations of conveyors and their rigidity, durability, and safety. Analyses of production technology were conducted for conveyor frames, and an improvement program was developed for conveyor machinery parks and for manufacturing techniques used in a plant producing this kind of device.

Keywords: MES analysis, support structure, conveyor frame, screw connections, design

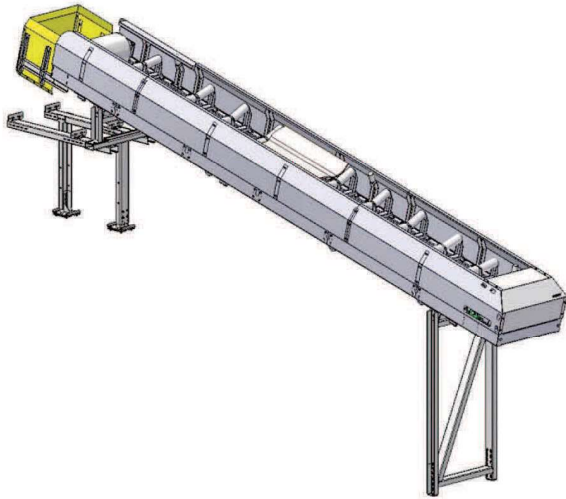
Wprowadzenie

Przenośniki cięgnowe o zróżnicowanej konstrukcji i zasadzie działania stanowią w wielu zakładach najważniejszy moduł logistycznej infrastruktury przemysłowej. Są wykorzystywane do transportu surowców, materiałów i półwyrobów do poszczególnych urządzeń technologicznych, stanowisk pracy, miejsc składowania oraz przemieszczania ich w układach technologicznych np. lakierni czy suszarni. Zakładowa struktura układów technologicznych wymusza często wzajemne, przestrzenne przenikanie się instalacji transportowych, technologicznych oraz powierzchni pomocniczych i transportowych. Wywołuje to konieczność budowy

ciągów przenośnikowych poza główną przestrzenią technologiczną: nad drogami komunikacyjnymi, nad lub pod urządzeniami, w przestrzeniach wolnych np. na zewnętrzach budynków. Modułowa konstrukcja przenośników, charakteryzująca się możliwością wielowariantowej zabudowy, pozwala na tworzenie ciągów transportowych o różnych długościach przęseł, kątach wzniosu i zmianach kierunku przemieszczania. Na rys. 1 pokazano przykład złożonego systemu transportowego, składającego się z kilku przenośników taśmowych [1, 3]. Możliwość elastycznej aranżacji przenośnika, przy zachowaniu jego trwałości, bezpieczeństwa i efektywnej pracy [5], zależy w głównej mierze od konstrukcji i wytrzymałości jego struktury nośnej.



Rys. 1. Przykład złożonego systemu transportowego składającego się z kilku przenośników taśmowych
Fig. 1. An example of a complex transport system consisting of several belt conveyor

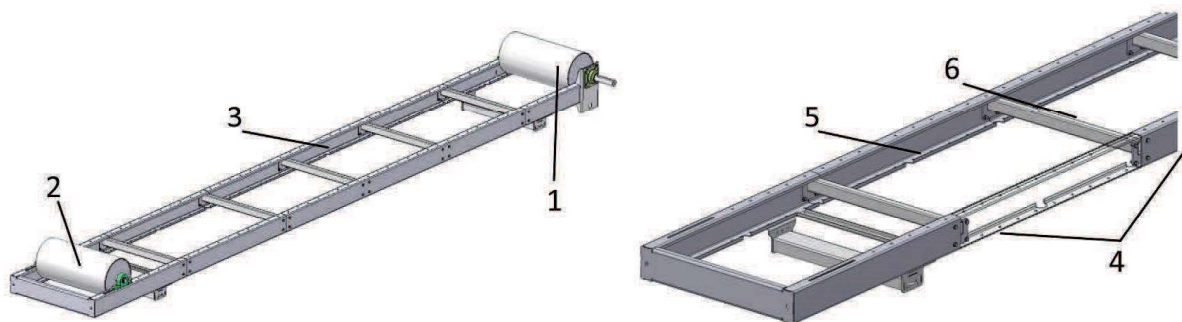


Rys. 2. Sposób podparcia przenośnika pozwalający na umieszczenie pod nim drogi transportowej lub innych urządzeń technologicznych
Fig. 2. A conveyor support system for a transporting path or other technological devices

Na rys. 2 przedstawiono sposób podparcia przenośnika, pozwalającego na umieszczenie pod nim drogi transportowej lub innych urządzeń technologicznych.

W artykule przedstawiono wyniki pracy zrealizowanej na rzecz polskiego producenta typoszeregu przenośników taśmowych, przeznaczonych do transportu materiałów sypkich w przemyśle, recyklingu surowców wtórnych, rolnictwie, budownictwie itp. Przenośniki o długości roboczej od 5,8 m do 15,5 m montowane są na modułowej konstrukcji nośnej, składającej się z ram o długości 2975 mm, łączonych nakładkowymi złączami śrubowymi (rys. 3). Zachowanie pełnej wytrzymałości takiej konstrukcji wymaga gęstego podparcia skręcającej ramy, praktycznie we wszystkich miejscach połączeń śrubowych.

Przedsiębiorstwo chcąc sprostać pojawiającym się nowym zapotrzebowaniom rynkowym, postanowiło wdrożyć rozwiązanie pozwalające na budowę przenośników o zredukowanej liczbie podpór. W przypadku



Rys. 3. Modułowa konstrukcja nośna przenośnika taśmowego: 1 – moduł napędowy, 2 – moduł napinający, 3 – rama segmentowa, 4 – nakładkowe złącza śrubowe, 5 – profil nośny, 6 – łącznik
Fig. 3. Modular support structure for belt conveyor: 1 – driving module, 2 – tension module, 3 – segment frame, 4 – cap screw connection, 5 – support beam, 6 – connector

przenośników krótszych rozpatrzono wariant zastąpienia konstrukcji modułowej strukturą monolityczną. Jeżeli chodzi zaś o przenośniki dłuższe to rozpatrzono możliwość zastosowania konstrukcji skręcającej z modułów o dwukrotnie zwiększonej długości. Wprowadzenie takiej zmiany wymagałoby od firmy poniesienia znacznych nakładów inwestycyjnych na urządzenia technologiczne do wycinania i gięcia specjalnych profili stalowych o długości ok. 6 m, dlatego działania te poprzedzono porównawczymi obliczeniami, pozwalającymi na ocenę wpływu zmiany konstrukcyjnej na wytrzymałość i sztywność przenośnika.

Założenia i metoda obliczeń wytrzymałościowych

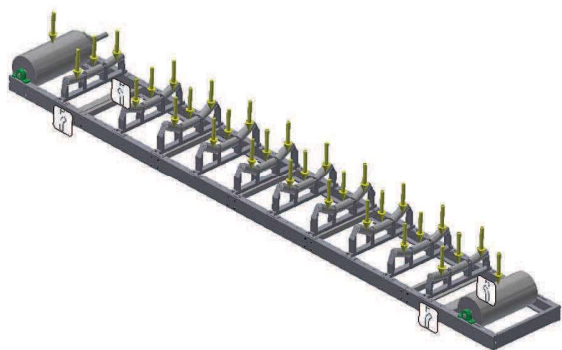
Przyjęto założenie, że wykorzystanie w konstrukcji nośnej przenośnika modułów o długości do 6 m, dwukrotnie większej od dotychczas stosowanej, poprawi jej sztywność i wytrzymałość oraz umożliwi rezygnację z części podpór w przypadkach, kiedy stanowią one przeszkodę w zagospodarowaniu przestrzeni, w której instalowany jest przenośnik. W celu potwierdzenia tak postawionej tezy dokonano porównawczych obliczeń wytrzymałościowych różnych wersji konstrukcyjnych przenośnika z wykorzystaniem metody elementów skończonych [6].

Do obliczeń wykorzystano moduł analizy oprogramowania inżynierskiego CAD – Autodesk Inventor 2017 [3]. Przyjęto następujące założenia dotyczące obciążenia przenośnika:

- transportowane medium – kruszywo o gęstości nasypowej równej 2650 kg/m^3 ,
- maksymalna warstwa kruszywa na taśmie przenośnika – 100 mm na szerokości 600 mm,
- masa taśmy transportowej – 10 kg/m^2 .

Po dokonaniu obliczenia, obciążenie liniowe przenośnika wynosi 1650 N/m .

Obciążenie konstrukcji nośnej przenośnika ciężarem transportowanego medium i taśmy transportowej zastąpiono siłami skupionymi, działającymi na rolki podpierające oraz prowadzącą i napędzającą taśmę (rys. 4).



Rys. 4. Model wirtualny konstrukcji nośnej przenośnika z zaznaczonym schematycznie układem obciążenia siłami skupionymi zastępującymi ciężar transportowanego medium i taśmy transportowej

Fig. 4. A virtual model of the support structure for the transporter with a schematically indicated concentrated load system which substituted the transported medium and the conveyor belt

Obliczenia wykonano dla przenośnika o długości 5 m, zamodelowanego w programie Inventor na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej producenta.

Do obliczeń porównawczych przyjęto trzy następujące warianty modelu wirtualnego:

- **Tarciowe połączenie śrubowe** – segmenty ramy nośnej przenośnika połączone są ze sobą śrubami (rys. 3), które wywierają tak duży nacisk na łączone elementy, że moment zginający połączenie przenoszony jest przez tarcie występujące między profilami nośnymi 5 a blachą czołową łącznika 6 (rys. 3). W rzeczywistości taka sytuacja występuje w nowym przenośniku, poprawnie zmontowanym z zastosowaniem kontroli momentu siły dokręcenia śrub łączących moduły.

- **Kształtowe połączenie śrubowe** – segmenty ramy nośnej przenośnika połączone są ze sobą śrubami (rys. 3), które nie wywierają wystarczającego nacisku na łączone elementy, a moment zginający połączenie jest przenoszony kształtowo przez śruby znajdujące się w otworach profili nośnych i blach czołowych łącznika. W rzeczywistości taka sytuacja występuje w przenośniku, zmontowanym z zastosowaniem niewystarczającego momentu siły dokręcenia śrub łączących moduły lub w eksploatowanym przenośniku, w którym na skutek drgań lub korozji nastąpiło poluzowanie połączenia śrubowego [7].

- **Rama monolityczna** – konstrukcja nośna przenośnika składa się z ramy, w której wzdlużne profile wytrzymałościowe nie są łączone, ale wykonane z jednego wykroju z blachy. Sytuacja taka jest możliwa w przypadku zastosowania profili ceowych o zwiększonej długości, np. wytwarzanych z zastosowaniem zmodernizowanego parku maszynowego producenta.

Zgodnie z dokumentacją konstrukcyjną producenta założono następujące materiały konstrukcyjne zespołów przenośnika oraz przyjęto ich właściwości fizyczne, zgodnie z aktualnymi normami materiałowymi (tab. 1).

Wyniki obliczeń wytrzymałościowych

Najważniejszymi wynikami obliczeń MES, świadczącymi o wytrzymałości, sztywności i bezpieczeństwie konstrukcji każdej z modelowych wersji przenośnika taśmowego są:

- wartość maksymalna naprężeń zredukowanych,
- wartość maksymalna przemieszczenia (ugięcia),
- wartość minimalna współczynnika bezpieczeństwa. Zestawienie tych wartości zamieszczono w tab. 2.

Tabela 1. Właściwości fizyczne materiałów konstrukcyjnych elementów przenośnika
Table 1. Physical properties of construction materials of the conveyor

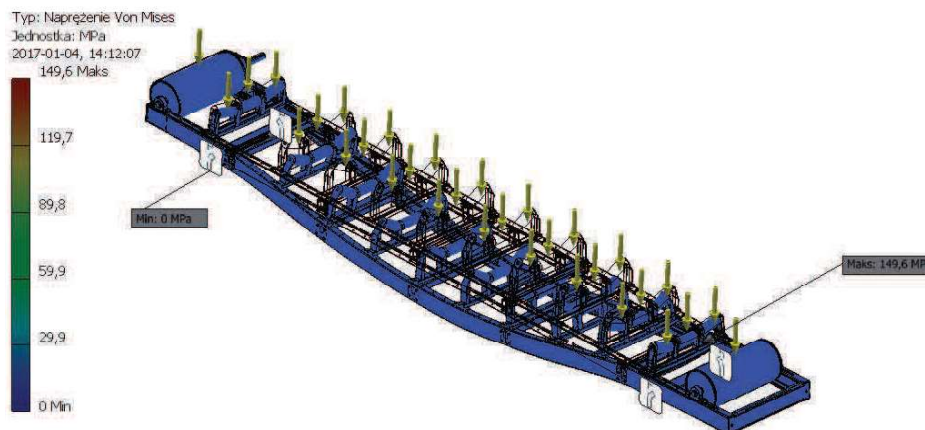
Materiał	Gęstość [kg/dm ³]	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Moduł Younga [GPa]	Wsp. Poissona	Moduł sprężystości [GPa]
Stal miękka (rama nośna)	7,85	207	345	220	0,275	86,27
Żeliwo sferoidalne (oprawy łożyskowe)	7,15	811	997	168	0,290	65,12
Stal nierdzewna (łączniki śrubowe)	8,00	250	250	193	0,300	74,23

Tabela 2. Zestawienie wyników obliczeń MES konstrukcji nośnej przenośnika taśmowego dla trzech wariantów konstrukcyjnych
Table 2. The MES calculation results of the support structure for a belt conveyors for three construction versions

	Wartość maksymalna naprężeń zredukowanych [MPa]	Wartość maksymalna przemieszczenia (ugięcia) [mm]	Wartość minimalna współczynnika bezpieczeństwa
Przenośnik z ramą połączoną tarciovymi połączeniami śrubowymi	149,6	1,43	1,38
Przenośnik z ramą połączoną kształtowymi połączeniami śrubowymi	793,5	1,85	0,69
Przenośnik z ramą monolityczną	200,1	1,21	1,68

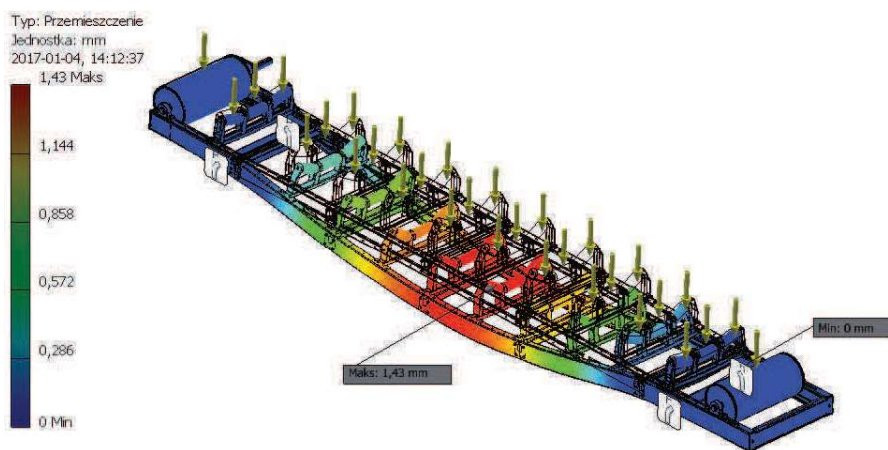
Na rys. 5–7 przedstawiono przykładowy model przenośnika z mapami rozkładu naprężeń, odkształceń

i wartości współczynnika bezpieczeństwa dla wersji z tarciovymi połączeniami śrubowymi.



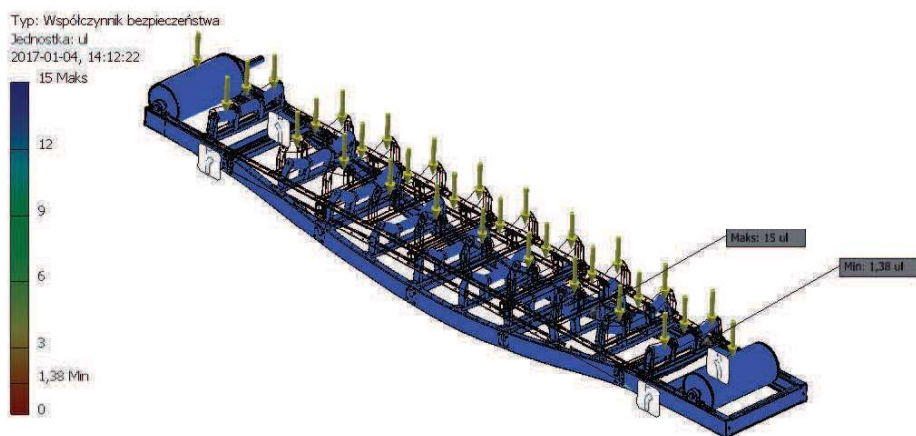
Rys. 5. Model wirtualny konstrukcji nośnej przenośnika w wersji z tarciovymi połączeniami śrubowymi z mapą naprężeń zredukowanych wg hipotezy Misesa

Fig. 5. A virtual model of the conveyor support structure – the version with friction screw connections and a map of reduced stresses according to the Mises hypothesis



Rys. 6. Model wirtualny konstrukcji nośnej przenośnika w wersji z tarciovymi połączeniami śrubowymi z mapą przemieszczeń

Fig. 6. A virtual model of the conveyor support structure – the version with friction screw connections and a map of displacements



Rys. 7. Model wirtualny konstrukcji nośnej przenośnika w wersji z tarciovymi połączeniami śrubowymi z mapą rozkładu wartości współczynnika bezpieczeństwa

Fig. 7. A virtual model of the conveyor support structure – the version with friction screw connections and a map of safety coefficient distribution

Podobne analizy z mapami rozkładu naprężeń i odkształceń wykonano dla wszystkich przyjętych do obliczeń wersji konstrukcyjnych. Na ich podstawie wskazano obszary występowania największych naprężeń, zlokalizowane w połączeniach ramy z konstrukcjami podporowymi przenośnika.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz i porównania wyników obliczeń zamieszczonych w tab. 2 stwierdzono, że najmniej korzystnym pod względem wytrzymałości, sztywności i bezpieczeństwa użytkowania jest przenośnik z ramą łączoną za pomocą kształtowych połączeń śrubowych. Wariantem wystarczająco bezpiecznym i pewnym jest przenośnik z ramą nośną łączoną za pomocą tarciovych połączeń śrubowych. Wymaga on jednak bardzo starannego montażu w miejscu zainstalowania urządzenia oraz okresowego nadzoru połączeń i konserwacji w celu zapewnienia stałej wytrzymałości.

Zmiana stanu ramy przenośnika od bezpiecznego (z tarciovymi połączeniami śrubowymi) do mniej bezpiecznego (z kształtowymi połączeniami śrubowymi) może nastąpić samoistnie na skutek poluzowania połączeń pod wpływem drgań, czynników środowiskowych (zmiennie temperatury, agresywne substancje) lub niedokładnego montażu.

Najbardziej korzystnym pod względem wytrzymałości, sztywności i bezpieczeństwa użytkowania jest przenośnik z ramą monolityczną. Ponadto nie jest on podatny na samoistne zmiany wpływające na wytrzymałość lub sztywność ze względu na brak połączeń wrażliwych na warunki eksploatacyjne. Korzystne jest zatem wprowadzenie zmiany w konstrukcji przenośników polegającej na (choćby opcjonalnym) zastąpieniu ramy skręcanej ramą monolityczną.

Wartości parametrów charakteryzujących przenośnik z ramą monolityczną (duży współczynnik bezpieczeństwa oraz małe ugięcie) wskazują na możliwość modyfikacji jego podparcia lub zamocowania w miejscu użytkowania. Daje to dodatkowe możliwości rozszerzania obszaru jego stosowania ze względu na możliwą elastyczną aranżację przestrzeni roboczej. Warunkiem wprowadzenia innowacji, polegającej na zastąpieniu skręcanej ramy nośnej przenośnika taśmowego ramą monolityczną, jest zakup i wdrożenie wycinarki wodnej lub laserowej [4, 6] oraz prasy krawędziowej, pozwalających na wykonywanie

wykrojów z blach stalowych o długości do 6 m i ich wyginanie. Dotyczy to również dłuższych przenośników, w których liczba połączeń śrubowych ramy mogłaby zostać ograniczona, a niezbędne połączenia zlokalizowane w miejscach, gdzie istnieje możliwość skutecznego podparcia.

LITERATURA

- [1] Furmaniak K. 2008. „Maszyny i urządzenia transportowe. Transport przenośnikowy”. Kraków: AGH, Kraków.
- [2] <http://www.autodesk.pl/products/inventor/features/simulation-visualization>
- [3] Korzeń Z. 1998. „Logistyczne systemy transportu bliźkiego i magazynowania”. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
- [4] Kubik Ł., M. Macherzyński, T. Czaja. 2013. „Specjalistyczne wycinanie laserowe w technologii fiber”. Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 1 (98): 73–78.
- [5] Matras E., R. Reizer, W. Umiński. 2007. „Optymalizacja pracy ciągu przenośników taśmowych”. *Problemy Eksploatacji* (1): 57–65.
- [6] Politowicz K. 2010. „Technologie cięcia termicznego i hydroabrazynowego”. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* (10): 38–43.
- [7] Tyczewski P. 2010. „Złożone warunki zużycia mechaniczno-ściernokorozyjnego”. *Problemy Eksploatacji* (1): 63–70.
- [8] Zbrowski A. 2016. „Metodyka badań prototypów i jednostkowych urządzeń technicznych”. Radom: Wydawnictwo Naukowe ITeE – PIB.

Praca naukowa sfinansowana w ramach umowy z firmą Dalmet

dr inż. Stanisław Kozioł – Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kazimierza Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: stanislaw.koziol@itee.radom.pl

dr inż. Tomasz Samborski – Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kazimierza Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: tomasz.samborski@itee.radom.pl

dr hab. inż. Andrzej Zbrowski – Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Kazimierza Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl