

Stand tests of an innovative mixing drum with a capacity of 12 m³

Badania stanowiskowe innowacyjnego bębna mieszalnika o pojemności 12 m³

JACEK BERNACZEK
PAWEŁ FUDALI
ANITA KALANDYK
MATEUSZ KOPERSKI
MAREK NAGNAJEWICZ*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2023.10.20>

Design and material assumptions were developed for a specialized test stand in terms of the implementation of the destructive testing process of the mixer drum of a 12 m³ hydraulic concrete mixer truck – individual elements of the mixing and unloading spiral and shell segments. A complex research process was carried out, the results of which were subjected to elaboration and analysis in order to determine the degree of wear of the sheet metal used for the construction of the mixer made of selected steel grades. In the research process, a representative aggregate was used, which imitated the properties of concrete mass transported in real (operational) conditions.

KEYWORDS: stand research, mixer drum, hydraulic concrete mixer truck

Opracowano założenia konstrukcyjno-materiałowe dla specjalistycznego stanowiska badawczego z myślą o realizacji badań niszcących bębna mieszalnika hydraulicznej betonomieszarki samochodowej o pojemności 12 m³ – elementów spirali mieszająco-rozładowującej i segmentów płaszcza. Przeprowadzono złożony proces badawczy, którego wyniki poddano opracowaniu i analizie w kierunku wyznaczenia stopnia zużycia zastosowanej do budowy mieszalnika blachy z wybranych gatunków stali. W procesie badawczym wykorzystano reprezentatywne kruszywo, które właściwościami imitowało masę betonową transportowaną w warunkach rzeczywistych – eksploatacyjnych.

SŁOWA KLUCZOWE: badania stanowiskowe, bęben mieszalnika, hydrauliczna betonomieszarka samochodowa.

Wprowadzenie

Publikacja powstała w wyniku złożonego procesu badań objętych projektem pt. „Prace badawczo-rozwojowe realizowane w celu opracowania i wykonania innowacyjnego bębna mieszalnika o pojemności 12 m³”, współfinansowanym przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, realizowanym w ramach Osi Priorytetowej nr 1 „Konkurencyjna i innowacyjna gospodarka” Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego

go na lata 2014–2020 na podstawie umowy o dofinansowanie projektu nr RPPK.01.02.00-IZ-00-18-012/19.

Przeprowadzono złożony proces badań niszcących bębna mieszalnika hydraulicznej betonomieszarki samochodowej o pojemności 12 m³ z wykorzystaniem specjalistycznego stanowiska badawczego autorskiej konstrukcji. Stanowisko to opracowano z myślą o wyznaczeniu kluczowych parametrów eksploatacyjnych w określonym resursie badawczym. Znamienna jest aplikacja w procesie badawczym dedykowanego kruszywa, które imituje masę betonową o najwyższym stopniu ścierania powierzchni elementów płaszcza bębna i spirali mieszająco-rozładowującej. Zatem wyniki badań stanowią wymierny wskaźnik poziomu zużycia w warunkach eksploatacyjnych blachy zastosowanej do produkcji bębna.

Specjalistyczne stanowisko badawcze

Opracowano specjalistyczne stanowisko badawcze zapewniające realizację kompleksowego procesu analizy kluczowych parametrów eksploatacyjnych bębna mieszalnika o pojemności 12 m³ [1, 4–6]. Uproszczony schemat tego stanowiska przedstawiono na rys. 1.

Analiza stanu zagadnienia potwierdziła, że w znanych w stanie techniki stanowiskach i układach badawczych bębnow mieszalników betonomieszarek samochodowych brakuje rozwiązań pozwalających na realizację w prosty sposób badań eksploatacyjnych i wydajnościowych bębnow mieszalnika o pojemności roboczej 12 m³. Dodatkowo nie znaleziono rozwiązań, które cechuje odwzorowanie rzeczywistych parametrów pracy bębnow oraz w sposób kompleksowy gromadzą dane dotyczące parametrów pracy bębnow, takich jak: strzałka ugięcia, drgania oraz temperatura i ciśnienie oleju w układzie hydraulicznym urządzenia.

Autorskie stanowisko badawcze bębna mieszalnika betonomieszarki samochodowej (rys. 1), zawierające układ sterujący, zostało wyposażone w ramę składającą się z co najmniej dwóch ramion o łącznej obciążalności co najmniej 8 t, wspornik przedni stanowiący pierwszy

* Dr inż. Jacek Bernaczek – jacek.bernaczek@prz.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-8942-092X> – Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Rzeszów, Polska

Dr inż. Paweł Fudali – pfudali@prz.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1976-0902> – Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Rzeszów, Polska

Mgr Anita Kalandyk – anita.kalandyk@inarzeszow.pl – INA Sp. z o.o., Rzeszów, Polska

Mgr inż. Mateusz Koperski – mateusz.koperski@inarzeszow.pl – INA Sp. z o.o., Rzeszów, Polska

Mgr Marek Nagnajewicz – marek.nagnajewicz@inarzeszow.pl – INA Sp. z o.o., Rzeszów, Polska

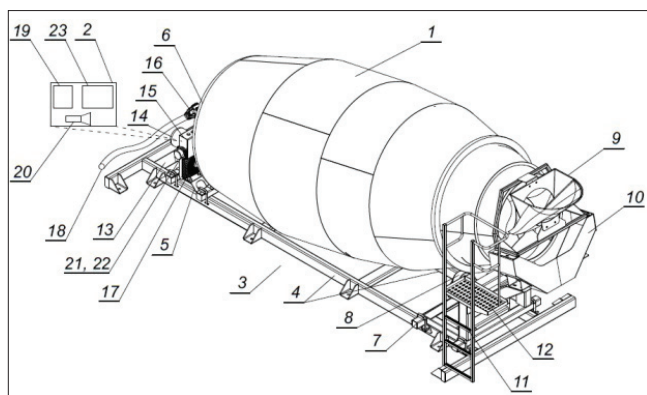


Fig. 1. Simplified diagram of a specialized test stand: 1 – mixer drum, 2 – control system, 3 – frame, 4 – frame arms, 5 – front bracket, 6 – planetary gear, 7 – rear bracket, 8 – rollers, 9 – hopper, 10 – chute, 11 – ladder, 12 – platform, 13 – drive system, 14 – electric motor, 15 – hydraulic pump, 16 – hydraulic motor, 17 – oil cooler, 18 – high-pressure hoses, 19 – inverter, 20 – vision system, 21, 22 – temperature and oil pressure sensors, 23 – dynamic balancing system

Rys. 1. Uproszczony schemat specjalistycznego stanowiska badawczego: 1 – bęben mieszalnika, 2 – układ sterujący, 3 – rama, 4 – ramiona ramy, 5 – wspornik przedni, 6 – przekładnia planetarna, 7 – wspornik tylny, 8 – rolki, 9 – lej zasypowy, 10 – zsyp, 11 – drabina, 12 – podest, 13 – układ napędowy, 14 – silnik elektryczny, 15 – pompa hydrauliczna, 16 – silnik hydrauliczny, 17 – chłodnica oleju, 18 – węże wysokociśnieniowe, 19 – falownik, 20 – system wizyjny, 21, 22 – czujniki temperatury i ciśnienia oleju, 23 – układ wyważania dynamicznego

punkt podparcia bębna mieszalnika, z osadzoną w nim przekładnią planetarną, wspornik tylny stanowiący drugi punkt podparcia bębna mieszalnika, zawierający rolki nośne, lej zasypowy i zsyp, a także drabinę z podestem połączone ze wspornikiem tylnym. Stanowisko ma hydrauliczny układ napędowy bębna mieszalnika osadzony przy wsporniku przednim, zawierający silnik elektryczny napędzający pompę hydrauliczną o zmiennym wydatku, zasilającą silnik hydrauliczny, chłodnicę oleju z termostatem, zestaw węży wysokociśnieniowych i hydrauliczny układ napędowy, który jest kontrolowany za pomocą układu sterującego. Silnik hydrauliczny jest połączony z przekładnią planetarną, przy czym wspornik przedni i wspornik tylny są osadzone na ramie w sposób przesuwany. Pompa hydrauliczna ma maksymalny przepływ oleju nie większy niż $89 \text{ cm}^3/\text{obr}$, a silnik hydrauliczny ma maksymalny przepływ oleju nie większy niż $90 \text{ cm}^3/\text{obr}$. Inne korzyści są uzyskiwane z wykorzystaniem układu sterującego wyposażonego w falownik do kontrolowania prędkości obrotowej silnika elektrycznego. Ponadto układ sterujący wyposażono w system wizyjny do pomiaru strzałki ugięcia bębna mieszalnika. Hydrauliczny układ napędowy zaopatrzono w dedykowany czujnik temperatury oleju oraz czujnik ciśnienia oleju.

Układ sterujący realizuje funkcję układu wyważania dynamicznego. Dodatkowo układ sterujący zapewnia regulację prędkości obrotowej bębna do 20 obr/min oraz zmiany kierunku obrotów bębna – mieszanie i rozładunek. Przekładnię planetarną charakteryzuje minimalny moment obrotowy o wartości co najmniej 70 kNm . Rolki nośne mają możliwość regulacji rozstawu na wsporniku tylnym.

Stanowisko badawcze autorskiej konstrukcji ułatwia realizację badań technicznych, badań wydajności-

wych i eksploatacyjnych oraz prac rozwojowych nad nowymi typami bębnow mieszalników betonomieszarek samochodowych. Dzięki swoim cechom technicznym jest odpowiednie do badań bębnow o pojemności roboczej 12 m^3 . Dzięki aplikacji drabiny z podestem obsługowym, połączonych ze wspornikiem tylnym, możliwy jest bezpieczny podgląd medium niszczącego wewnątrz bębna mieszalnika podczas przeprowadzania prób – co jest przydatne podczas procesu badawczego kruszywa. Umieszczenie na wsporniku tylnym leja zasypowego i zsypu pozwala na łatwy zasyp badanego bębna określonym typem materiału wzorcowego przy jednoczesnym braku strat w nadmiarowym materiale, który zatrzymuje się na zsypie. Dzięki układowi sterującemu, wyposażonemu w falownik, oraz kontrolowanemu przez niego układowi napędowemu możliwa jest płynna regulacja obrotów bębna mieszalnika i kontrola obrotów bębna niezbędna do prowadzenia testów eksploatacyjnych w szerokim zakresie parametrów. Zastosowanie dedykowanego systemu wizyjnego umożliwia pomiar strzałki ugięcia bębna mieszalnika, a tym samym kontrolę jego wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej. Dzięki wyposażeniu układu napędowego w czujnik temperatury oleju i czujnik ciśnienia oleju możliwa jest kompleksowa i wydajna kontrola parametrów oleju roboczego, pozwalająca na przeprowadzenie dokładniejszych badań stanu układu hydraulicznego bębna mieszalnika.

Specjalistyczne stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 2–4.



Fig. 2. Test stand – test object: mixer with a capacity of 12 m^3

Rys. 2. Stanowisko badawcze – obiekt badań: mieszalnik o pojemności 12 m^3



Fig. 3. Research station – management center

Rys. 3. Stanowisko badawcze – centrum zarządzania



Fig. 4. Test stand – main control cabinet

Rys. 4. Stanowisko badawcze – główna szafa sterująca

Materiały

Analiza materiałowa obejmująca przegląd blach dostępnych na rynku, możliwych do wykorzystania w produkcji innowacyjnego bębna mieszalnika o pojemności 12 m³, skutkowałą wyborem gatunków stali o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych, w tym przede wszystkim wytrzymałości na ścieranie [2, 3, 7]. Spośród ośmiu analizowanych gatunków do produkcji prototypowych egzemplarzy badawczych bębna mieszalnika wybrano pięć. Podstawowe parametry wybranych gatunków przedstawiono w tablicy.

TABLE. List of materials selected for the research – catalog data
TABLICA. Zestawienie materiałów wybranych do badań – dane katalogowe

Lp.	Nazwa stali	Twardość HB	Granica plastyczności R_E [MPa]	Granica wytrzymałości R_M [MPa]
1	HARDOX450	425÷475	1200	1400
2	S355MC	220*	355	490÷630
3	S420MC	150÷190	420	480÷620
4	TBL	230	430	680
5	S690QL	230÷280	690	770÷940

* w stanie zmiękczonej

Badania stanowiskowe

Z użyciem scharakteryzowanego specjalistycznego stanowiska badawczego bębnow mieszalnika hydraulicznej betonomieszarki samochodowej o pojemności 12 m³ przeprowadzono złożony proces badawczy prototypowych bębnow w resursie 500 godzin. Jednym z głównych parametrów mierzonych podczas badań była grubość ścianek segmentów spirali mieszająco-rozładowującej oraz grubość płaszcza mieszalnika. Pomiary grubości spirali oraz płaszcza realizowane były w 12 punktach, po 3 na każdy segment mieszalnika.

Na rys. 5 pokazano uśrednione wyniki pomiarów grubości ścianek płaszcza dla 3 punktów pomiarowych w części cylindrycznej mieszalnika. Pomiary realizowano co 50 roboczogodzin. W celu porównania wyników grubość ścianek płaszcza przedstawiono w skali procentowej. Wynika to z nieznacznych różnic w grubości blach mierzonych przed rozpoczęciem badań.

Można zauważyć, że najbardziej odpornymi na ścieranie materiałami były S690QL oraz HARDOX 450. Po 500 godzinach pracy zużycie płaszcza w przypadku tych materiałów nie przekraczało 4%.

W ramach niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów tylko dla części cylindrycznej mieszalnika. Analizując pozostałe segmenty mieszalnika, można wysnuć analogiczne wnioski.

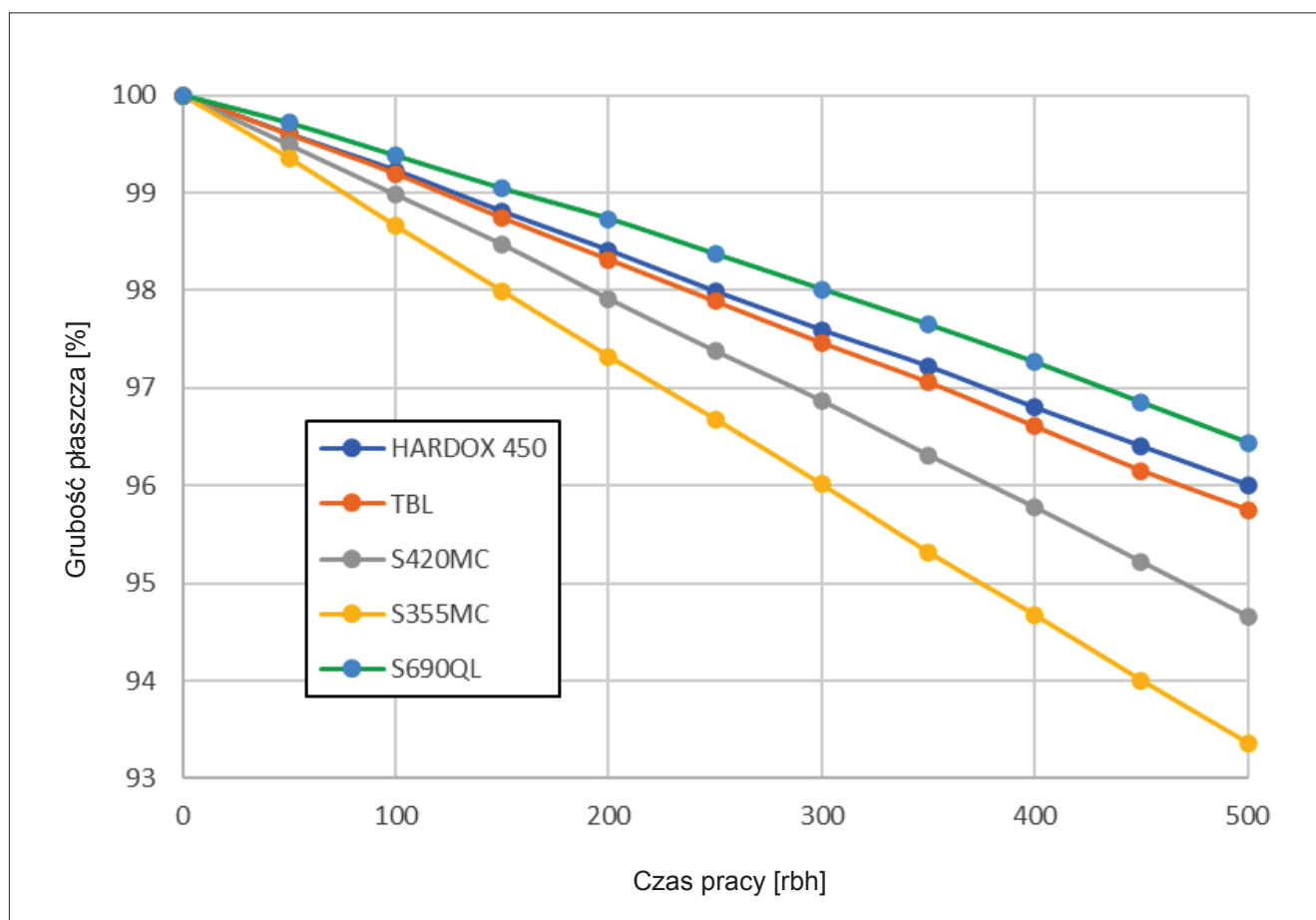


Fig. 5. Graph of changes in the wall thickness of the mixer shell for the tested materials depending on the length of operation
Rys. 5. Wykres zmiany grubości ścianek płaszcza mieszalnika dla badanych materiałów w zależności od długości pracy

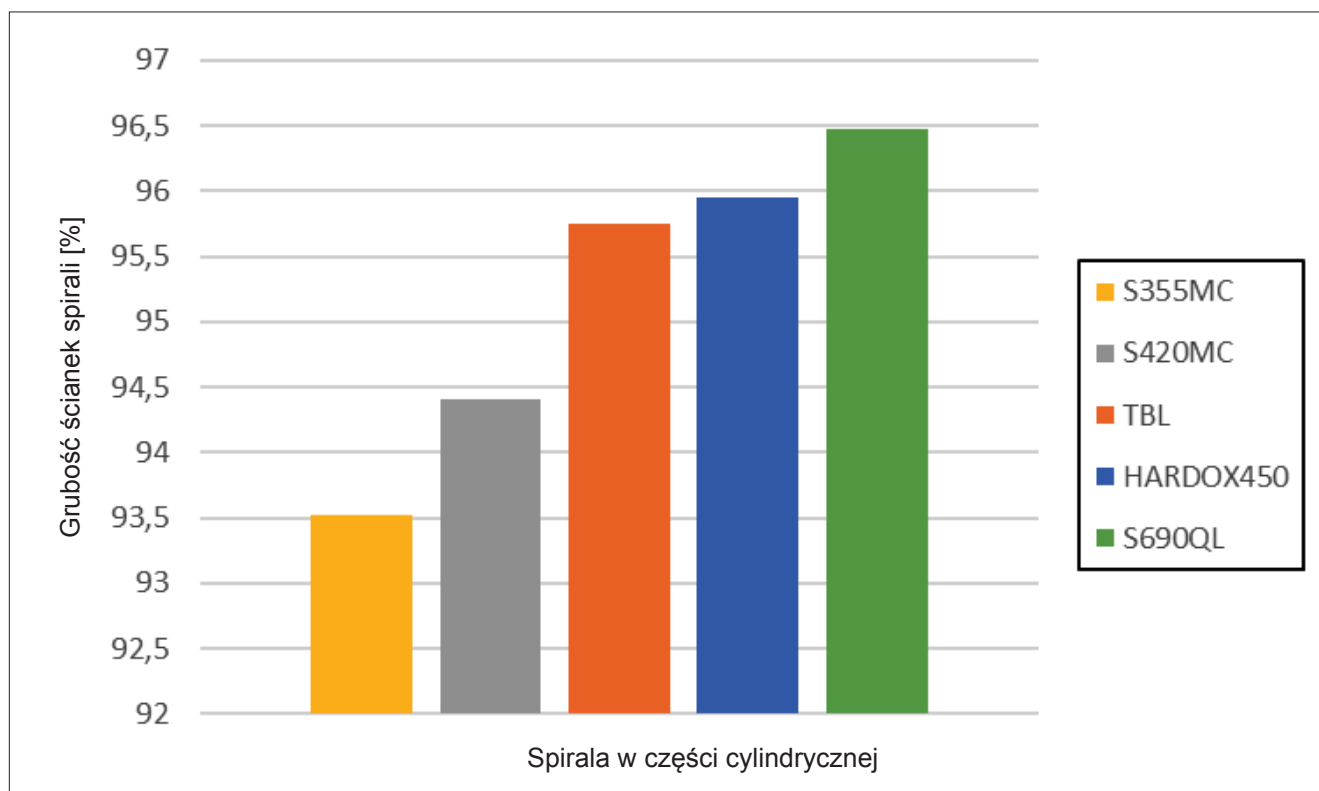


Fig. 6. Graph of the change in wall thickness of the mixing and unloading spiral segments in the cylindrical part
Rys. 6. Wykres zmiany grubości ścianek segmentów spirali mieszająco-rozładowującej w części cylindrycznej

Podczas badań mierzona była również grubość ścianek segmentów spirali mieszająco-rozładowującej. Na rys. 6 zaprezentowano uśrednione wyniki pomiarów dla spirali w części cylindrycznej mieszalnika w odniesieniu do jej grubości początkowej.

Wyniki pomiarów grubości spirali są zbliżone do pomiarów płaszcza. Na tej podstawie można wysnuć wniosek, że elementy płaszcza i spirali ulegają wycieraniu w podobnym tempie.

Podsumowanie i wnioski

Badania stanowiskowe prototypowych egzemplarzy bębnow mieszalnika hydraulicznej betonomieszarki samochodowej o pojemności 12 m³ z wykorzystaniem specjalistycznego stanowiska autorskiej konstrukcji umożliwiły precyzyjną ocenę poszczególnych parametrów eksploatacyjnych. Przede wszystkim skupiono się na wytrzymałości na ścieranie wybranych gatunków materiałów konstrukcyjnych – blach zastosowanych w procesie produkcji płaszcza i spirali mieszająco-rozładowującej. Na podstawie analizy wyznaczonych wyników badań stwierdzono, że najlepszymi materiałami do wykonania prototypu mieszalnika, posiadającymi najwyższą odporność na ścieranie, są blachy w gatunku S690QL i HARDOX450. Alternatywą jest prototyp mieszalnika wykonany z blachy TBL, której wyniki badań nieznacznie odbiegają od gatunku HARDOX450. Dodatkowo trzeba podkreślić, że niezwykle istotnym czynnikiem bezpośrednio wpływającym na wybór materiału jest czynnik ekonomiczny – każdorazowy proces produkcji należy poprzedzić wnikliwą analizą ekonomiczną.

Acknowledgements

The research was carried out as part of the project RPPK.01.02.00-IZ-00-18-012/19 entitled: „Research and development work for the design and manufacture of an innovative mixer drum with a capacity of 12 m³”, co-financed by the European Regional Development Fund.

LITERATURA

- [1] Bernaczek J., Fudali P., Kalandyk A., Koperski M., Nagajewicz M. „Structural and material analysis of an innovative mixer drum with a capacity of 12 m³ [Analiza konstrukcyjno-materiałowa innowacyjnego bębna mieszalnika o pojemności 12 m³]”. *Mechanik*. 96, 5–6 (2023): 56–60, doi:10.17814/mechanik.2023.5-6.12.
- [2] Blicharski M. „Inżynieria materiałowa stali”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN (2019).
- [3] Bogucki W., Żybertowicz M. „Tablice do projektowania konstrukcji metalowych”. Warszawa: Arkady (2006).
- [4] Dietrich M. „Podstawy konstrukcji maszyn. T. 2”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN (2019).
- [5] Dziurski A., Mazanek E., Kania L. „Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn. T. 1: Połączenia, sprężyny, zawory, wały maszynowe”. Warszawa: WNT (2015).
- [6] Feld M. „Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN (2018).
- [7] Skrzypek S.J., Przybyłowicz K. „Inżynieria metali i technologie materiałowe”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN (2019).