

Czasopismo Naukowo-Techniczne
Wydziału Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy

Scientific-Technical Journal of
Mechanical Engineering Faculty of
UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz



POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ

DEVELOPMENTS
IN MECHANICAL
ENGINEERING

12(6)

2018

Wydawnictwa Uczelniane
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy



ZESPÓŁ REDAKCYJNY EDITORIAL BOARD

Przewodniczący (redaktor naczelny) – Editor-in-chief – Stanisław MROZIŃSKI

Redaktorzy Działowi – Branch editors:

Eksploatacja Maszyn <i>Machine Operating and Maintenance</i>	Bogdan LANDOWSKI
Inżynieria Biomedyczna <i>Biomedical Engineering</i>	Adam MAZURKIEWICZ
Inżynieria Produkcji <i>Production Engineering</i>	Marek SZCZUTKOWSKI
Mechanika i Konstrukcja Maszyn <i>Mechanics and Machinery Design</i>	Janusz ZACHWIEJA
Maszyny i urządzenia energetyczne <i>Machines and energetic devices</i>	Marcin ZASTEMPOWSKI
Transport – Transport	Marcin ŁUKASIEWICZ

Sekretarz Zespołu – Executive secretary Sylwester WAWRZYŃSKI

MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA INTERNATIONAL PROGRAMME COMMITTEE

Bogdan ŻÓŁTOWSKI – **przewodniczący – chairman** (PL – UTP)

Maria ČZARNOGURSKÁ (SK)	Jurek DUSZCZYK (NL)
Friedrich FRANEK (A)	Andrzej GOŁABCZAK (PL – PL)
Lidia ILIEVA-MITUTSOVA (BG)	Marian JANCZAREK (PL – PL)
Tomasz KICZKOWIAK (PL – PKo.)	Tomasz LIPIŃSKI (PL – UWM)
Ivan OBORSKI (Uk)	Dariusz OZIMINA (PL – PŚw.)
Manfred PAHL (D)	Kazimierz PESZYŃSKI (PL – UTP)
Jindřich PETRUŠKA (CZ)	Raj B.K.N. RAO (GB)
Holger SEIDLITZ (D)	Vasily S. SHEVCHENKO (BL)
Mirosław Jan SKIBNIEWSKI (USA)	Marian SZCZEREK (PL – ITE PIB)
Zdeněk TRÁVNÍČEK (CZ)	

Opracowanie redakcyjne i techniczne – mgr Aleksandra Górską, mgr Patrycja Fereni-Morzyńska

Projekt okładki – mgr inż. Daniel Morzyński

© Copyright

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2019

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Praca powstała przy wsparciu projektu „Realizacja II etapu regionalnego Centrum Innowacyjności” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013

ISSN 2300-3383

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego

Redaktor Naczelny: prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski
ul. Sucha 9B, 85-796 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 52 3749426
e-mail: wydawucz@utp.edu.pl <http://www.wu.utp.edu.pl>

Wyd. I. Nakład 40 egz. Ark. aut. 3,0. Ark. druk. 4,1.
Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. ul. Sucha 9B

SPIS TREŚCI

CONTENTS

Małgorzata Grabowska, Jarosław Robert Mikołajczyk Próba zastosowania tomografii komputerowej CAT do określania struktury grafitu naturalnego w zależności od rozmiaru ziarna.....	5
An attempt to apply CAT scanning to determine the natural graphite structure depending on the grain size	
Zbigniew Jarmoliński, Jarosław Robert Mikołajczyk Badania wpływu technologii cięcia stali na twardość powierzchni bijaka	15
Research of the influence of steel cutting technology on the strength of the hammer	
Sebastian Kilimnik, Anna Mazurkiewicz, Klaudiusz Migawa Ekonomiczne aspekty stosowania ekojazdy w systemach transportu drogowego	31
Economic aspects of application ecodriving in the road transport systems	
Anna Mazurkiewicz, Agnieszka Sołtysiak, Klaudiusz Migawa Ocena gotowości elektrowni wiatrowej z zastosowaniem systemu rejestracji danych eksploatacyjnych ENERCON SCADA Remote 3.....	41
Assessment of wind farm availability with the ENERCON SCADA Remote 3 operational data registration system	
Anna Piochacz, Jarosław Robert Mikołajczyk Wpływ czasu trwania procesu anodowania stopu aluminium EN AW-6060 na grubość i twardość otrzymanej warstwy.....	49
Influence of aluminium type EN AW-6060 anodizing process duration on the thickness and hardness of the obtained layer	
Małgorzata Słomion, Maciej Matuszewski, Piotr Szkodziński Analiza zużycia elementów młyna węglowego w zależności od jakości paliwa	57
The analysis of coal mill elements wear process depending on the fuel quality	
Lista recenzentów prac opublikowanych w numerach 11(6)/2018 oraz 12(6)/2018.....	67
Reviewers list publication published in issues 11(6)/2018 and 12(6)/2018	

Małgorzata GRABOWSKA, Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK

PRÓBA ZASTOSOWANIA TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ CAT DO OKREŚLANIA STRUKTURY GRAFITU NATURALNEGO W ZALEŻNOŚCI OD ROZMIARU ZIARNA

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań zrealizowanych z wykorzystaniem tomografu komputerowego Somatom Definition AS firmy Siemens. Celem przeprowadzonych analiz było określenie struktury badanego materiału w zależności od rozmiaru ziarna. Jako materiał próbek zastosowano następujące gatunki grafitu naturalnego: grafit wielkopłatkowy FG 595, grafit wielkopłatkowy FG 192 oraz grafit drobnopłatkowy MG 192. Materiał próbek (grafit) dostarczyła firma Sinograf.

Słowa kluczowe: tribologia, stan warstwy wierzchniej, własności i właściwości warstwy wierzchniej, tomografia komputerowa CAT, tomograf

1. WPROWADZENIE

Tomografia komputerowa (TK) jest nową i nowoczesną dziedziną, której powstanie oraz rozwój są niejako zintegrowane z innymi naukami, np. matematyką, informatyką, elektroniką, fizyką, medycyną czy elektroniką. Umożliwia ona za pomocą tomografów wykonywanie zdjęć warstwowych, czyli tomogramów. Z wykonanych zdjęć warstwowych możliwe jest zbudowanie trójwymiarowego modelu badanego obiektu. Główna zasada tomografii mówi, że zdjęcia warstwowe uzyskuje się wówczas, gdy dwa z trzech zasadniczych elementów układu – lampa/źródło promieniowania, film/układ detektorów, przedmiot badany – w czasie ekspozycji znajdują się w ruchu, przy czym kierunek ruchu każdego z elementów jest przeciwny, lecz tory ich ruchu są homotetyczne. Obecnie produkowane tomografy mogą być wyposażone w kilka źródeł promieniowania i w kilka układów detektorów, a każdy z układów – w kilkadziesiąt/kilkaset detektorów. Podział metod tomograficznych ze względu na sposób obrazowania oraz ich zastosowanie został omówiony m.in. w pracy [3].

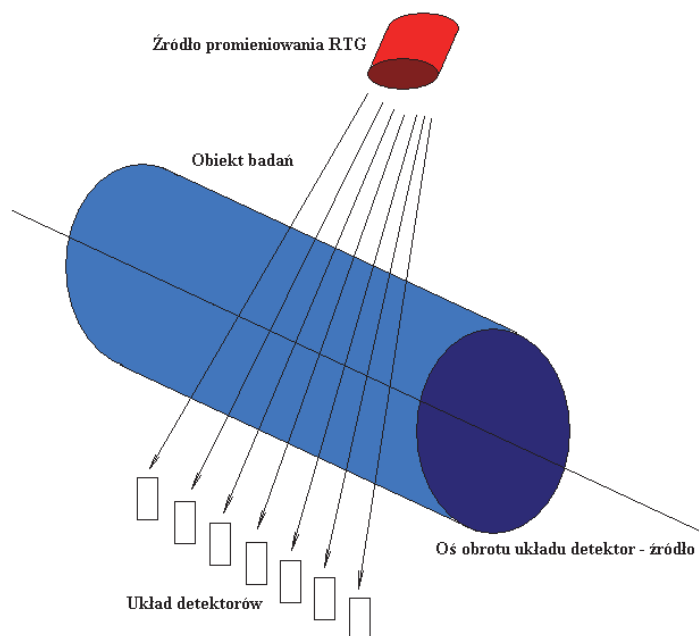
W technice TK spiralnej wiązka promieniowania X ma kształt wachlarza. To nie jest korzystne, ponieważ czas skanowania jest relatywnie długi, a dawka promieniowania względnie duża – ok. 2000 μSv [13, 14]. Uzyskana jakość obrazu z wykorzystaniem wokseli anizotropowych nie jest duża. Najmniejszym elementem tworzącym obraz jest woksel. Im mniejsza jest wielkość wokseli, tym obraz cechuje się większą rozdzielczością (podobnie jak to jest w przypadku

¹ mgr Małgorzata GRABOWSKA, Zakład Rezonansu Magnetycznego, Wojewódzki Szpital Zespolony w Toruniu, e-mail: gragosa@op.pl

² dr inż. Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. S. Staszica w Pile, e-mail: jmikolajczyk@pwsz.pila.pl

pikseli na obrazie 2D monitora komputera lub odbiornika TV) i tym samym – większą dokładnością obrazowania struktur. Dla przykładu układ skanujący jednoźródłowego tomografu komputerowego (CAT) przedstawiono na rysunku 1. Dla danego kąta pochylenia wokół stałej osi obrotu, np. 30° , układ źródło – zespół detektorów przemieszcza się liniowo (w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu), dokonując odczytów natężenia promieniowania X przechodzącego przez obiekt. Liniowy układ detektorów rozmieszczonych równolegle do osi obrotu pozwala na rejestrowanie niezależnych przekrojów obiektu. Dla tak otrzymanych obrazów rentgenowskich kontrast obrazów badanego obiektu zależy od wartości współczynnika absorpcji danego materiału obiektu, przez który przechodzi promieniowanie X [2, 7, 8, 13].

W pracy podjęto próbę scharakteryzowania tomografii komputerowej CAT – wykorzystywanej w diagnostyce medycznej – w inżynierii materiałowej, a dokładniej do grafitu naturalnego, który jest często stosowany sam lub też jako dodatek do środków smarnych i charakteryzujący się dobrymi właściwościami przeciwciernymi.

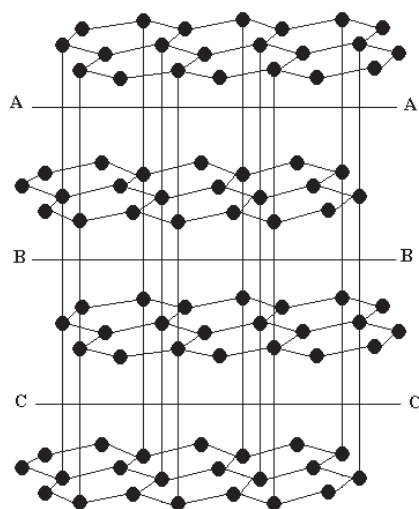


Rys. 1. Układ skanujący przykładowego jednoźródłowego tomografu komputerowego CAT
Fig. 1. Scanning system of a typical single-source computer tomograph CAT

Badania wykonano z wykorzystaniem tomografu komputerowego Somatom Definition AS firmy Siemens. Jako materiał próbek zastosowano grafit wielkopłatkowy FG 595, grafit wielkopłatkowy FG 192 oraz grafit drobnopłatkowy MG 192.

Grafit ma strukturę pośrednią pomiędzy strukturą kowalencyjną a molekularną. W graficie atomy węgla C tworzą warstwy, w których każdy atom węgla C związany jest trzema wiązaniami kowalencyjnymi (czyli bardzo mocnymi) z trzema sąsiadującymi z nim innymi atomami węgla. Między warstwami działają natomiast słabe siły międzycząsteczkowe, które powodują, że kryształy grafitu są miękkie [1]. Na rysunku 2 przedstawiono strukturę grafitu z zaznaczonymi płaszczyznami łatwych poślizgów.

Grafit płatkowy (wielko- lub drobnopłatkowy) jest odmianą grafitu naturalnego charakteryzującego się wysoko uporządkowaną strukturą krystaliczną. Powstał w wyniku metamorfizmu bogatych w węgiel substancji organicznych. Jak wspomniano wcześniej budowa przestrzenna grafitu powoduje łatwość zrywania wiązań pomiędzy sąsiednimi płaszczyznami, warstwami. Cecha ta występuje nawet wówczas, gdy grafit rozdrobni się do wielkości ziarna poniżej $8\ \mu\text{m}$. Twardość, wytrzymałość, przewodnictwo cieplne i elektryczne grafitu w kierunku równoległym do osi krystalitów są inne niż w kierunku prostopadłym do osi krystalitów [1].



Rys. 2. Struktura grafitu, A-A, B-B, C-C – płaszczyzny poślizgu. Układ warstw w kryształach [6]

Fig. 2. A structure of the graphite, A-A, B-B, C-C – slip planes. Layer layout in a crystal [6]

Grafit wielkopłatkowy FG 595 charakteryzuje się zawartością węgla C minimum 95%, rozmiarem ziarna powyżej $0,5\ \text{mm}$ oraz gęstością nasypową ok. $0,6\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (dane na podstawie [5]).

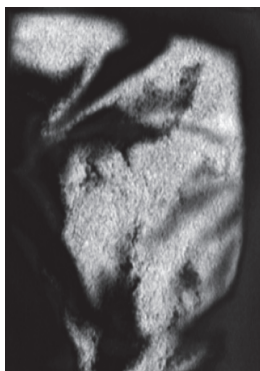
Grafit wielkopłatkowy FG 192 charakteryzuje się zawartością węgla C minimum 92%, rozmiarem ziarna powyżej $0,15\ \text{mm}$ oraz gęstością nasypową ok. $0,5\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (dane na podstawie [5]).

Grafit drobnopłatkowy MG 192 charakteryzuje się zawartością węgla C minimum 92%, rozmiarem ziarna poniżej $0,15\ \text{mm}$ oraz gęstością nasypową ok. $0,5\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ (dane na podstawie [5]).

2. WYNIKI BADAŃ

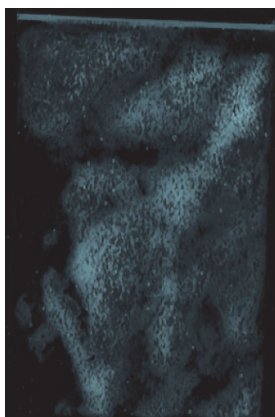
Poniżej przedstawiono tylko mały fragment z ponad tysiąca tomogramów wykonanych dla ww. gatunków grafitu naturalnego (ze względu na ograniczenia objętościowe dotyczące pracy). Jednak nie umniejsza to znaczeniu wniosków płynących z przeprowadzonych badań.

Na rysunku 3 przedstawiono rekonstrukcję obrazu badania tomograficznego grafitu wielkopłatkowego mineralnego FG 595 przy powiększeniu 1,31x. Widoczne: falistość powierzchni próbki grafitu oraz ziarna rozsypane na powierzchni folii polipropylenowej. Podobny obraz otrzymano dla nieznacznie mniejszego powiększenia przedstawionego na rysunku 4 z widocznymi granicami ziarn. Dla tej odmiany grafitu wykonano tomogramy warstw o grubości 0,6 mm przez usypaną warstwę próbki grafitowej. Osiem przykładowych kolejnych tomogramów otrzymanych w ten sposób przedstawiono na rysunku 5. Niestety trudno jest na ich podstawie określić budowę lub wady/zanieczyszczenia struktury dla tego gatunku grafitu. O ile struktura grafitu powinna być zbliżona dla wszystkich gatunków tego minerału, o tyle stopień jego zanieczyszczenia oraz rodzaj tego zanieczyszczenia zależą wyłącznie od miejsca jego wydobywania na kuli ziemskiej. Ewentualnie też – od sposobu jego wydobywania. Podobny obraz otrzymano dla tomogramu zaprezentowanego na rysunku 6. Płatki grafitu są wymieszane, czyli ułożone przypadkowo (równolegle, prostopadle i po skosie względem siebie), dlatego otrzymany obraz przedstawia strukturę niejednorodną.



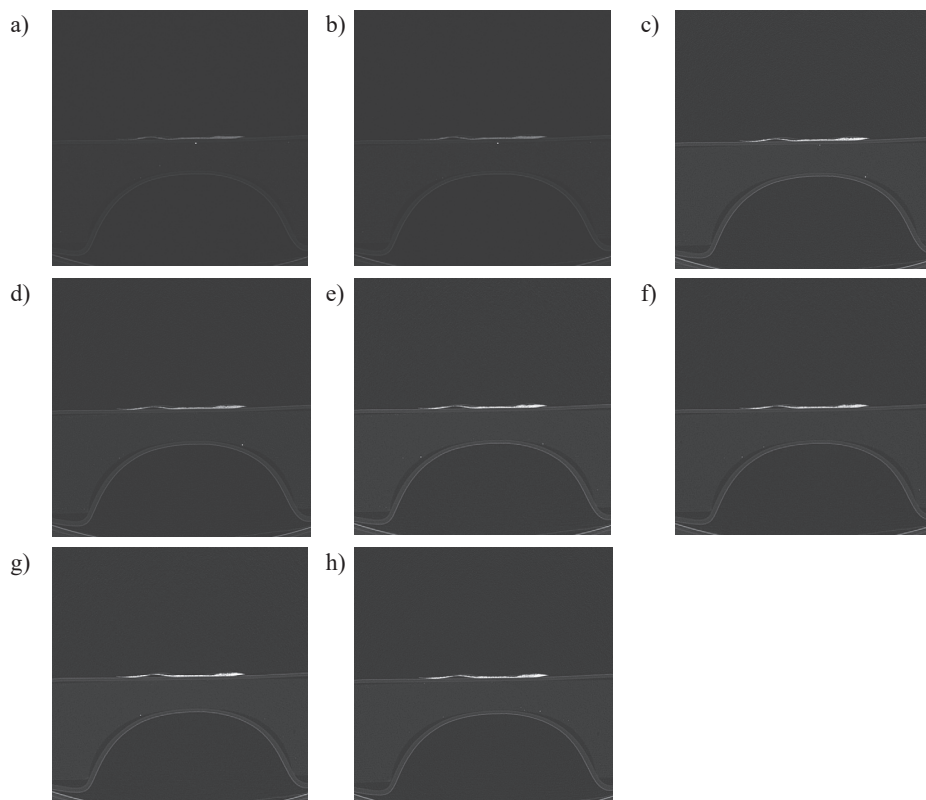
Rys. 3. Rekonstrukcja obrazu badania tomograficznego grafitu mineralnego płatkowego FG 595.
Pow. 1,31x

Fig. 3. A reconstruction of the image of tomographic examination of the mineral graphite FG 595.
Zoom 1.31x



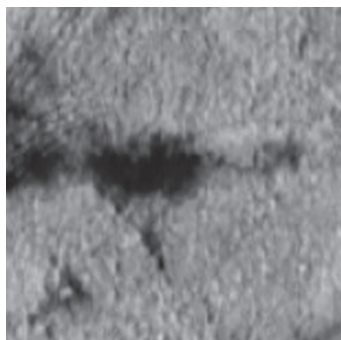
Rys. 4. Rekonstrukcja obrazu badania tomograficznego grafitu mineralnego płatkowego FG 595.
Pow. 1,08x

Fig. 4. A reconstruction of the image of tomographic examination of the mineral graphite FG 595.
Zoom 1.08x



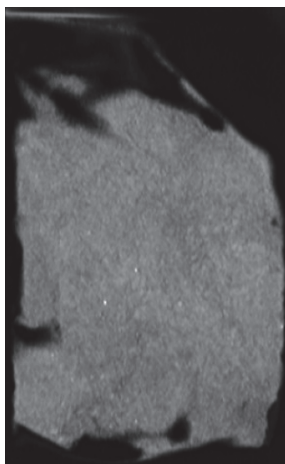
Rys. 5a)–h). Przykładowe kolejne 8 tomogramów ze 100 wykonanych dla grafitu mineralnego płatkowego FG 595. Grubość skanowanych warstw $\neq 0,6$ mm

Fig. 5a)–h). A sample of 8 out of 100 tomograms for the mineral graphite FG 595. Scanned layers thickness 0.6 mm

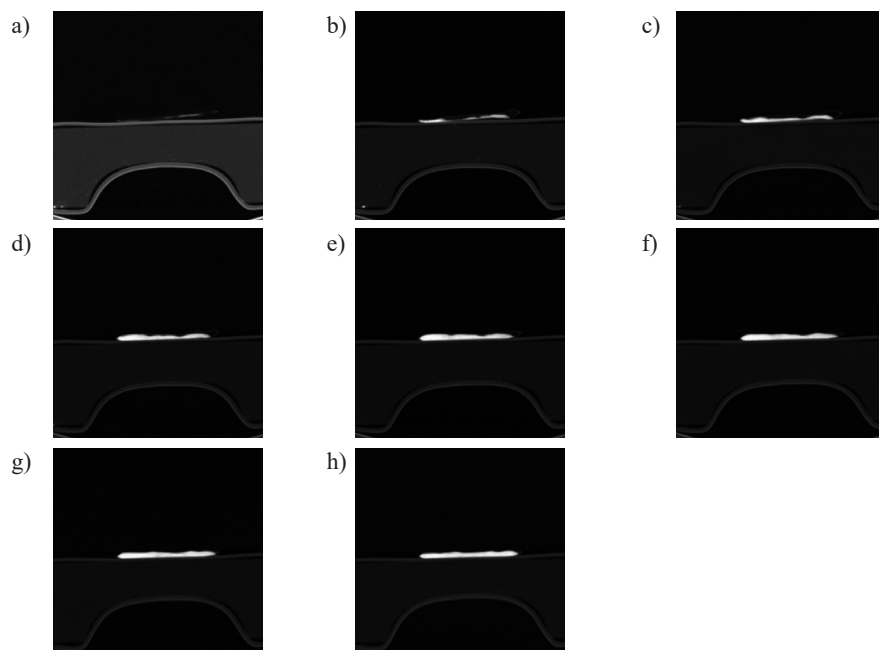


Rys. 6. Tomogram grafitu FG 595 przy powiększeniu 3,09x
Fig. 6. A tomogram of the graphite FG 595 at zoom 3.09x

Na rysunku 7 przedstawiono rekonstrukcję obrazu badania tomograficznego grafitu FG 192 przy powiększeniu 1,08x, natomiast na rysunku 8 – przykładowe kolejne 8 tomogramów ze 100 wykonanych dla grafitu FG 192. Przekroje warstw są znacznie jaśniejsze niż dla grafitu FG 595 mimo mniejszej procentowej zawartości węgla C. Oznacza to, że dla mniejszej granulacji ziarna atomy węgla są bardziej upakowane i tym samym bardziej pochłaniają promieniowanie X. Granulacja ziarna w tym przypadku ma większy wpływ na upakowanie atomów węgla niż procentowa zawartość węgla. Różnica ilości węgla w tych dwóch przypadkach wynosi 3%.



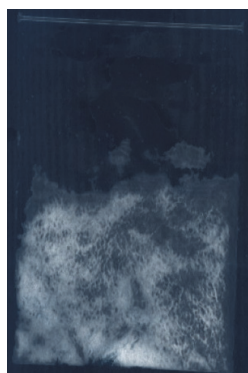
Rys. 7. Rekonstrukcja obrazu badania tomograficznego grafitu FG 192. Powiększenie 1,08x
Fig. 7. A reconstruction of the image of tomographic examination of the mineral graphite FG 192.
Zoom 1.08x



Rys. 8 a)–h). Przykładowe kolejne 8 tomogramów ze 100 wykonanych dla grafitu mineralnego wielopłatkowego FG 192. Grubość skanowanych warstw $\neq 0,6$ mm

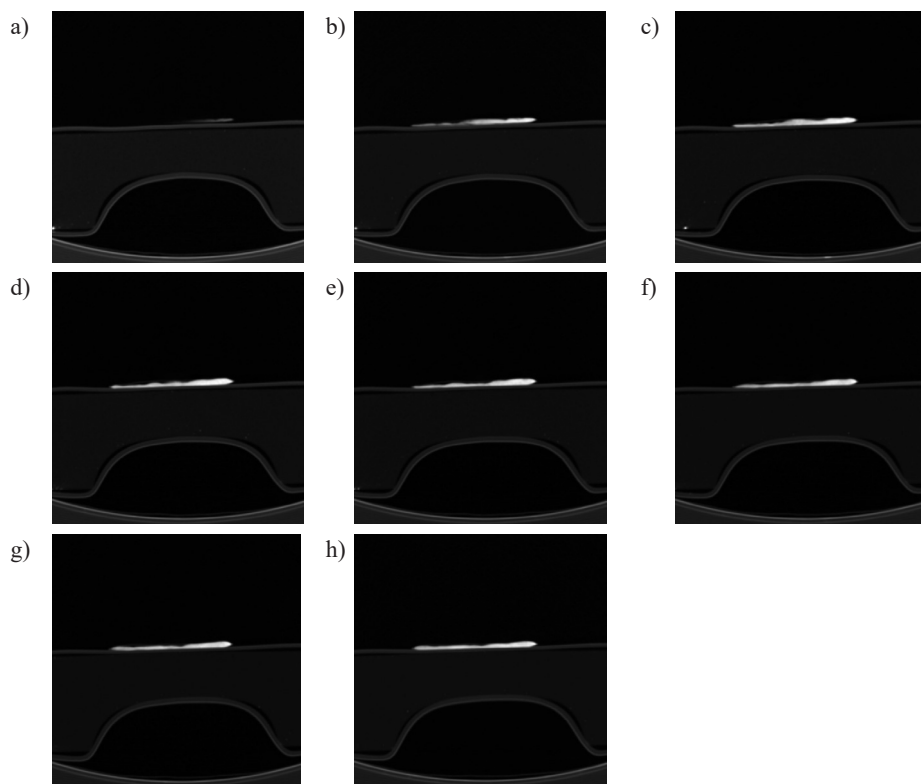
Fig. 8 a)–h). A sample of 8 out of 100 tomograms for the mineral graphite FG 192. Scanned layers thickness 0.6 mm

Ostatnim gatunkiem grafitu naturalnego, który poddano badaniom z wykorzystaniem tomografii komputerowej, jest grafit drobnopłytkowy MG 192 o rozmiarze ziarna poniżej 0,15 mm, przedstawiony na rysunku 9 oraz 10. Grubsze warstwy pyłu grafitowego dobrze pochłaniają promieniowanie X (białe obszary). Cienkie warstwy pyłu zawierają natomiast mniejsze ilości atomów węgla, więc promieniowanie X przenika je z pewnymi stratami (szare obszary). Czarny obszar to brak grafitu.



Rys. 9. Rekonstrukcja obrazu badania tomograficznego grafitu drobnopłytkowego MG 192. Powiększenie 1,08x

Fig. 9. A reconstruction of the image of tomographic examination of the mineral graphite MG 192. Zoom 1.08x



Rys. 10 a)–h). Przykładowe kolejne 8 tomogramów ze 100 wykonanych dla grafitu mineralnego drobnopłatkowego MG 192. Grubość skanowanych warstw $\neq 0,6$ mm

Fig. 10 a)–h). A sample of 8 out of 100 tomograms for the mineral graphite MG 192. Scanned layers thickness 0.6 mm

3. PODSUMOWANIE

Próba zastosowania tomografii komputerowej CAT do określania struktury grafitu naturalnego w zależności od rozmiaru ziarna w przedstawionych badaniach dała wynik negatywny. Otrzymane rozdzielczości tomogramów są zbyt małe do wyciągnięcia konstruktywnych wniosków. Niewątpliwą zaletą metody CAT jest możliwość otrzymywania obrazów wewnątrz danego obiektu, czego nie można zrealizować np. za pomocą metod mikroskopowych. Jednak nawet badania TK grafitu wielkopłatkowego nie zwiększyły czytelności otrzymanych tomogramów.

Badane próbki grafitu charakteryzowały się określonym przez producenta stopniem zanieczyszczenia. Na otrzymanych tomogramach trudno jest jednak się ich doszukiwać, mimo że 8% (FG 192, MG 192) lub 5% (FG 595) zanieczyszczeń to są względnie duże wartości. Tym samym nie można nic powiedzieć np. o rodzaju tych zanieczyszczeń, ich rozmieszczeniu w strukturze czy też ewentualnym wpływie ich umiejscowienia na własności smarne grafitu.

Przyczyn otrzymanego negatywnego wyniku badań należy doszukiwać się w zbyt małej, jak dla inżynierii materiałowej, rozdzielczości zastosowanego tomografu.

Ogólnym wnioskiem z przeprowadzonych badań dla warstw o grubości $\neq 0,6$ mm jest stwierdzenie, że wzrost drobnoziarnistości grafitu wpływa na zwiększenie upakowania atomów węgla C w pyłe grafitowym (obraz przekrojów jest coraz jaśniejszy).

Grafit nie jest metalem, dzięki czemu w tomografii komputerowej (TK) w sąsiedztwie krystalitów grafitu nie występują artefakty i zniekształcenia, które uniemożliwiają prawidłową ocenę otrzymanego obrazu, co zostało już zauważone m.in. w [2, 3, 7, 8]. Dlatego korzystne wydaje się kontynuowanie badań w tym kierunku, mimo obecnych niepowodzeń, z wykorzystaniem możliwie najmniejszych grubości warstw skanowanych i największej możliwej rozdzielczości.

LITERATURA

- [1] BIELAŃSKI A.: Podstawy chemii nieorganicznej, cz. 1. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 2007.
- [2] GODET M.: The third body approach: A mechanical view of wear. *Wear* 100, 1984, 437–452.
- [3] GRABOWSKA M., MIKOŁAJCZYK J.R.: Zastosowanie tomografii komputerowej CAT w inżynierii materiałowej. *Czasopismo Naukowo-Techniczne: Postępy w inżynierii mechanicznej* 9(5), 2017, 15–26.
- [4] GRABOWSKA M., MIKOŁAJCZYK J.R., BASIAK S.: Zastosowanie tomografii komputerowej CAT w nieniszczących badaniach złączy spawanych. *Czasopismo Naukowo-Techniczne: Postępy w inżynierii mechanicznej* 11(6), 2018, 31–44.
- [5] [http://www..sinograf.com.pl](http://www.sinograf.com.pl)
- [6] KRAWIEC S.: Kompozycje smarów plastycznych i stałych w procesie tarcia stalowych węzłów maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław, 2011.
- [7] KRUK A.: Tomografia elektronowa i jej zastosowanie w obrazowaniu i metrologii mikrostruktury materiałów. Wydawnictwo AGH Kraków, 2012.
- [8] LASS P.: Tomografia emisyjna fotonu. VIA MEDICA Gdańsk, 1998.
- [9] MIKOŁAJCZYK J.R.: Wpływ dodatków smarowych na transformację warstwy wierzchniej. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile, 2017.
- [10] MIKOŁAJCZYK J.R.: Maszyny tarciove. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile, 2018.
- [11] MIKOŁAJCZYK J.R.: Tribotestery. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Pile, 2019.
- [12] POLAKOWSKI K.: Tomograficzne obrazowanie lokalnych wartości parametrów przepływów produktów spalania w technice samochodowej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej Warszawa, 2011.
- [13] RIGNEY D.A., GLAESER W.A.: The significance of near surface mikrostruktury in the wear process. *Wear* 46(1), 1978, 241–250.
- [14] RÓŻYŁO-KALINOWSKA I.: Standardy Europejskiej Akademii Radiologii Stomatologicznej i Szczękowo-Twarzowej dotyczącej obrazowania wolumetrycznego (CBCT). *Magazyn Stomatologiczny* 5, 2009, 12–16.
- [15] RÓŻYŁO-KALINOWSKA I.: Rola tomografii wolumetrycznej w ortodoncji. *Forum Ortodontyczne* 7(1), 2011, 28–40.

AN ATTEMPT TO APPLY CAT SCANNING TO DETERMINE THE NATURAL GRAPHITE STRUCTURE DEPENDING ON THE GRAIN SIZE

Summary: The article presents the results of the study with the aid of computer tomograph Somatom Definition AS (Siemens). The examined probes were the following natural graphites: FG 595, FG 192, MG 192. The graphite material has been supplied by the firm Sinograf.

Key words: tribology, condition of surface layer, the properties and the quality of surface layer, Computer Axial Tomography, tomograph

Zbigniew JARMOLIŃSKI, Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK

BADANIA WPLYWU TECHNOLOGII CIĘCIA STALI NA TWARDOŚĆ POWIERZCHNI BIJAKA

Streszczenie: Rozdrabnianie materiałów, w szczególności materiałów spożywczych, to proces wyjątkowo złożony, zależny nie tylko od konstrukcji elementów roboczych urządzenia, lecz również od rodzaju materiałów rozdrabnianych (kukurydzy, zbóż itp.). Najbardziej popularnymi elementami roboczymi rozdrabniaczy są bijaki, które można wykonywać w różnych technologiach, np. za pomocą tłoczenia, cięcia itp. W niniejszej pracy przedstawiono wpływ technologii cięcia bijaków na twardość otrzymanej powierzchni dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 500, stal Hadfielda, Reax 500, Super Duplex, Creusambro 8000, Creusambro M oraz SW7M.

Słowa kluczowe: rozdrabniacz, młyn, bijak, cięcie stali

1. WPROWADZENIE

Bijaki stanowią element roboczy wszelkiego typu rozdrabniaczy głównie dla przemysłu spożywczego, ale nie tylko. W rozdrabniaczach tych stosuje się bijaki płytkowe lub kształtowe. Ze względu na prostotę wykonania oraz długi czas użytkowania najbardziej rozpowszechnione są bijaki płytkowe z jednym lub dwoma otworami przeznaczonymi najczęściej na sworzeń mocujący. Przykładową konstrukcję rozdrabniacza bijakowego przedstawiono na rysunku 1.

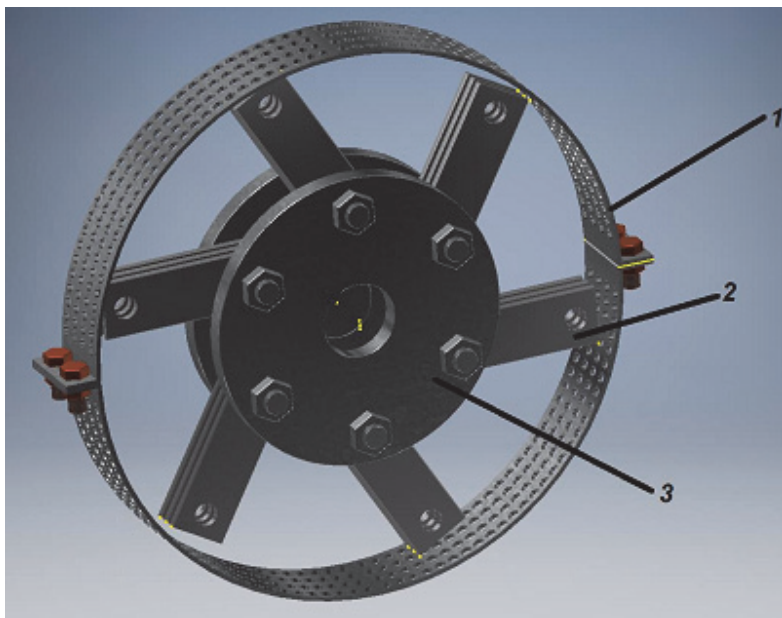
Bijaki wykonuje się głównie w technologii cięcia i wybór rodzaju tej technologii determinuje późniejsze właściwości użytkowe bijaka w korelacji z użytym materiałem rozdrabnianym, np. jęczmieniem, pszenicą itp. materiałami. Najbardziej pożądaną cechą ze względów użytkowych dla ww. urządzeń jest trudność ścieralność części roboczych, która jest ściśle związana z twardością. Generalnie można powiedzieć, że im twardszy element, tym jest trudniej ścieralny. Dlatego w prezentowanej pracy zdecydowano się na określenie wpływu rodzaju technologii cięcia na twardość wybranych gatunków stali zastosowanych na elementy robocze rozdrabniaczy [1].

W celu przeprowadzenia badań zaprojektowano i wykonano cztery rodzaje bijaków:

- bijak konwencjonalny;
- bijak zmodyfikowany wg pomysłu Jerzego Kalwaja;
- bijak wg patentu PL 173497;
- bijak obły.

¹ mgr inż. Zbigniew JARMOLIŃSKI, Zakład Projektowo-Wdrożeniowy „ROWAG” w Rogoźnie Wielkopolskim, e-mail: optima.jarmolinski@gmail.com

² dr inż. Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. S. Staszica w Pile, e-mail: jmikolajczyk@pwsz.pila.pl



Rys. 1. Przykładowa konstrukcja rozdrabniacza bijakowego: 1 – sito, 2 – bijaki (w uchwycie mocującym mogą być umieszczone różne rodzaje bijaków), 3 – koło bijakowe

Fig. 1. An example of a flail grinder: 1 – sieve, 2 – flails (different types of flails can be placed in a mounting bracket), 3 – beater wheel

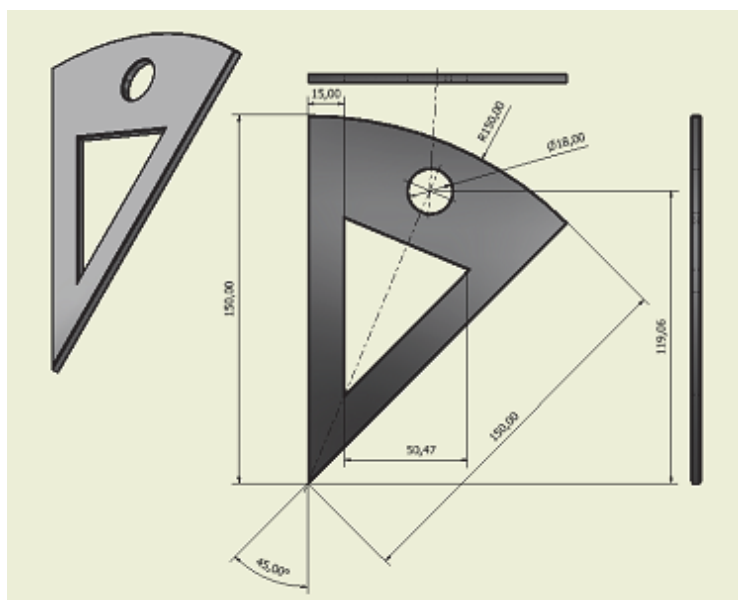
Z uwagi na to, że ww. bijaki są mocowane w konkretnym urządzeniu, część ich wymiarów jest wymuszona wymiarami gniazd mocujących. Na rysunku 2 przedstawiono bijak wg patentu PL 173497, natomiast na rysunku 3 – bijak obły. Na kolejnych rysunkach zaprezentowano zmodyfikowany bijak wg pomysłu Jerzego Kalwaja (rys. 4) oraz bijak konwencjonalny (rys. 5).

Ze względu na dostępny park maszynowy zaprojektowane wcześniej bijaki wykonano w następujących technologiach:

- cięcia plazmowego;
- cięcia laserowego;
- cięcia z wykorzystaniem metody WaterJet.

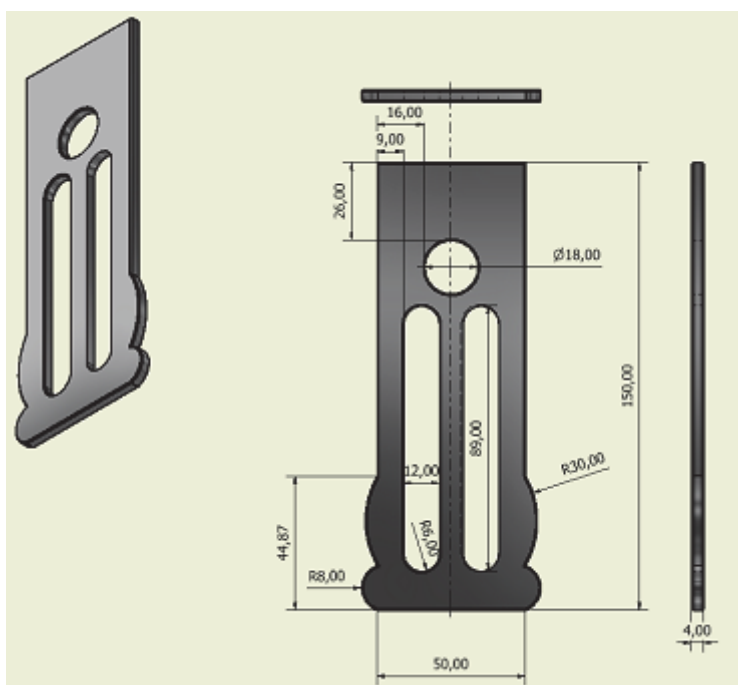
Jako materiał użyty do wykonania bijaków zastosowano następujące gatunki stali:

- Hardox 450;
- Hardox 500;
- Hadfielda;
- Reax 500;
- Super Duplex 1.4410;
- Creusabro 8000 i M;
- SW7M.



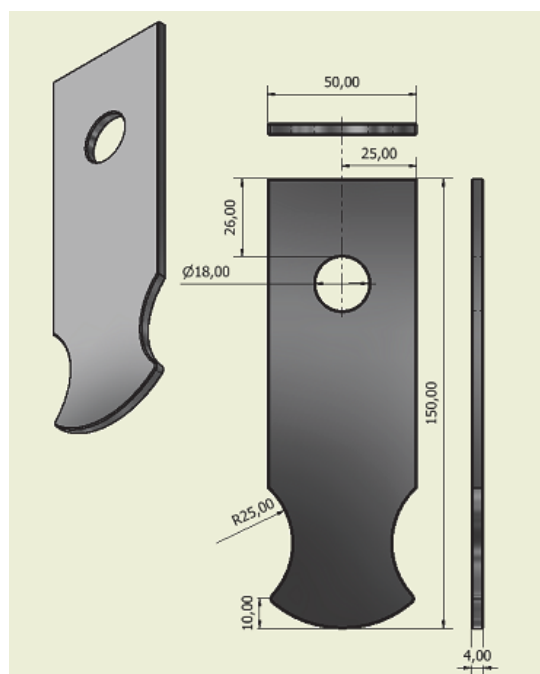
Rys. 2. Widok ogólny bijaka wg patentu PL 173497

Fig. 2. A general view of the flail according to Patent PL 173497



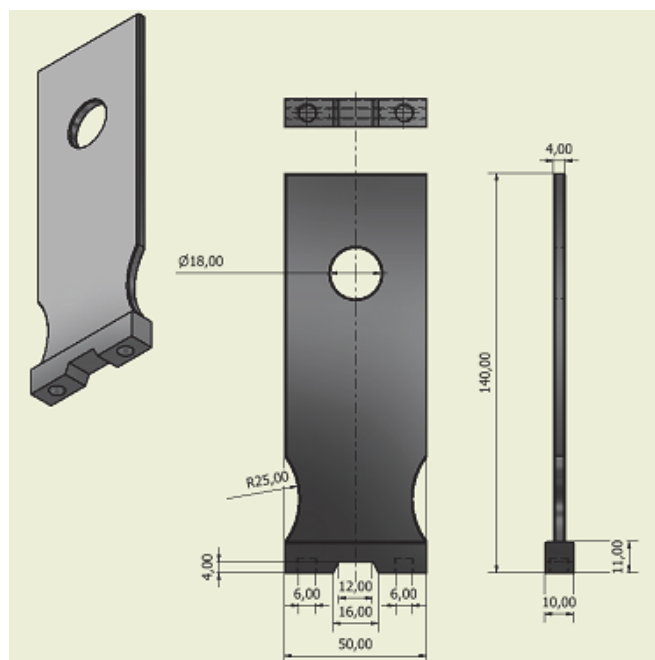
Rys. 3. Widok ogólny bijaka obłego

Fig. 3. A general view of a round flail



Rys. 4. Widok ogólny bijaka wg pomysłu Jerzego Kalwaja

Fig. 4. A general view of a flail according to the idea of Jerzy Kalwaj



Rys. 5. Widok ogólny bijaka konwencjonalnego mocowanego w oprawce

Fig. 5. A general view of a common flail mounted in the holder

Na rysunkach 6 i 7 zostały przedstawiono przykładowe bijaki wykonane w określonej technologii cięcia. Wszystkie bijaki są zrobione z blach o grubości 4 mm.



Rys. 6. Widok bijaka konwencjonalnego mocowanego na otworze, wykonanego za pomocą cięcia z wykorzystaniem metody WaterJet (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 6. A general view of a common flail mounted on the hole, made with the WaterJet cutting method (photo by Z. Jarmoliński)



Rys. 7. Widok bijaka konwencjonalnego mocowanego na otworze, wykonanego za pomocą cięcia laserem (fot. Z. Jarmoliński)

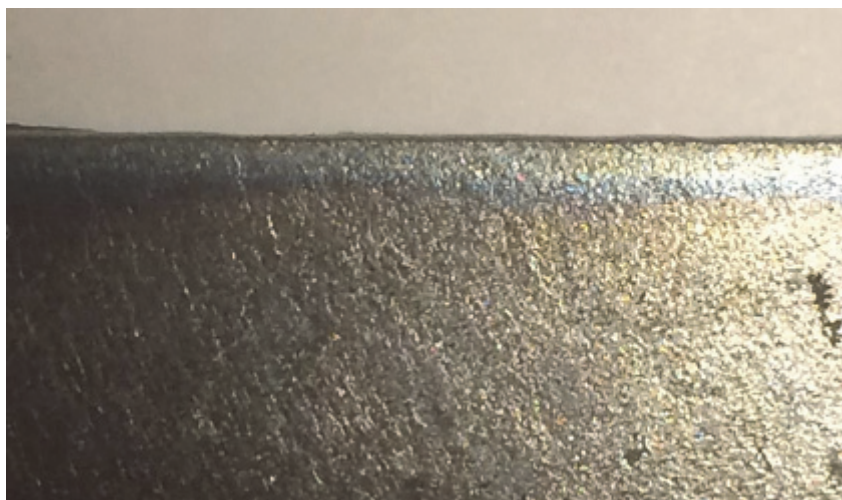
Fig. 7. A general view of a common flail mounted on the hole, made with laser cutting (photo by Z. Jarmoliński)

Stosowanie technologii cięcia z wykorzystaniem metody WaterJet minimalizuje lub nawet eliminuje strefę wpływu ciepła. Od strony wyjścia strumienia wody nie ma odpadowego materiału po cięciu (nie ma nawisu). Podczas stosowania tej metody można zauważyć jednak pewne pochylenie krawędzi cięcia tym większe, im większe są: zużycie dysz podających strumień wody (lub wody i ścierniwa), prędkość cięcia oraz grubość obrabianego materiału.

Poprzez zastosowanie cięcia laserowego można otrzymać krawędź prostopadłą do bocznej powierzchni blachy. Wielkość nawisu po wyjściu wiązki laserowej jest znikoma.

Cięcie plazmą powoduje powstawanie strefy wpływu ciepła w materiale rodzimym oraz znacznego nawisu stopionego materiału, który zazwyczaj wymaga dodatkowej obróbki wykończeniowej – należy go usunąć.

Na rysunkach 8 oraz 9 przedstawiono widok powierzchni po cięciu plazmą od strony wejścia i wyjścia strumienia plazmy. Na rysunku 10 natomiast przedstawiono widok od czoła krawędzi po cięciu plazmą. Na kolejnych rysunkach – widok krawędzi po cięciu z wykorzystaniem metody WaterJet (rys. 11) oraz po cięciu laserem (rys. 12).



Rys. 8. Widok po cięciu plazmą od strony wejścia strumienia plazmy (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 8. A view after plasma cutting from the entrance side of the plasma stream (photo by Z. Jarmoliński)



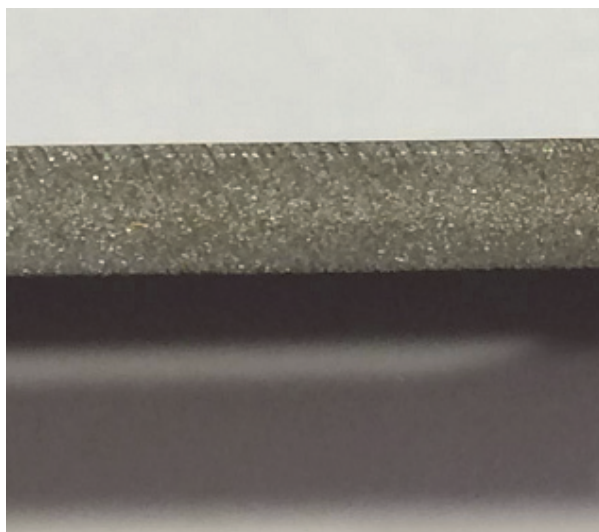
Rys. 9. Widok po cięciu plazmą od strony wyjścia strumienia plazmy (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 9. A view after plasma cutting from the exit side of the plasma stream (photo by Z. Jarmoliński)



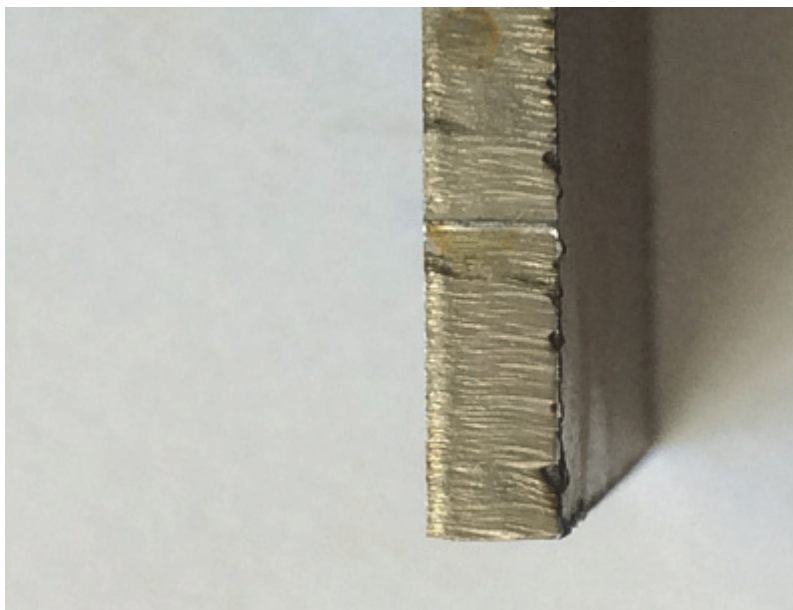
Rys. 10. Widok krawędzi po cięciu plazmą (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 10. A view of an edge after plasma cutting (photo by Z. Jarmoliński)



Rys. 11. Widok krawędzi po cięciu za pomocą metody WaterJet (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 11. A view of an edge after cutting with the method WaterJet (photo by Z. Jarmoliński)

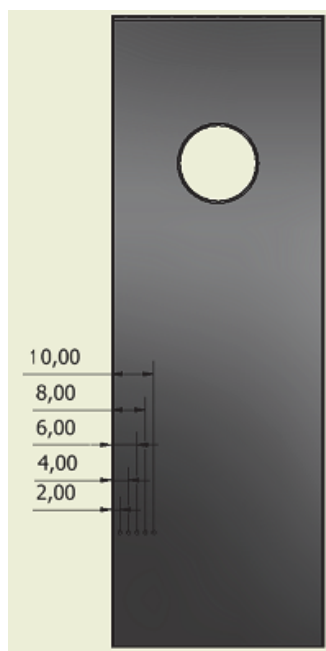


Rys. 12. Widok krawędzi po cięciu laserem (fot. Z. Jarmoliński)

Fig. 12. A view of an edge after laser cutting (photo by Z. Jarmoliński)

2. WARUNKI POMIARÓW

Do pomiaru twardości posłużono się metodą Rockwella. Zakres pomiarowy: 20÷67. Stożek diamentowy. Obciążenie wstępne 98 [N], główne 1373 [N], całkowite 1471 [N]. Na rysunku 13 przedstawiono miejsca pomiaru wartości twardości próbek wykonanych z wykorzystaniem danej technologii cięcia, w zależności od odległości od krawędzi cięcia. Twardość mierzono w odległości 2, 4, 6, 8 oraz 10 mm od krawędzi cięcia. Dla każdego pomiaru twardości w zależności od odległości od krawędzi cięcia wykonano pięć powtórzeń pomiarów w miejscach przedstawionych na rysunku 14. Na samej powierzchni cięcia pomiaru nie wykonywano ze względu na możliwość uszkodzenia twardościomierza nierównościami otrzymanej po procesie cięcia powierzchni.



Rys. 13. Odległości pomiaru twardości próbek od krawędzi cięcia [mm]
Fig. 13. Distances of hardness measurements from the cutting edge [mm]



Rys. 14. Miejsca pomiarów twardości próbek bijaków dla danej odległości od krawędzi cięcia
Fig. 14. Place for hardness measurements of flail samples for a given distance from the cutting edge

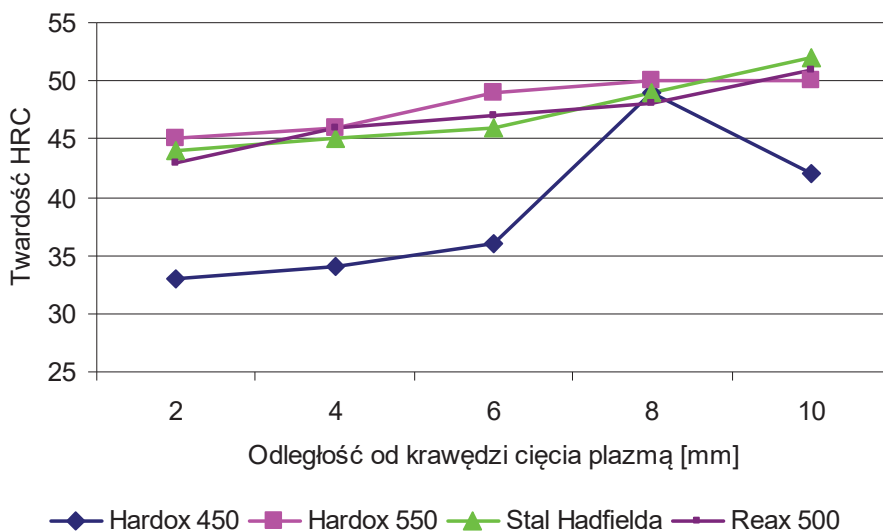
3. WYNIKI BADAŃ

Poniżej przedstawiono otrzymane wyniki. W tabeli 1 zestawiono średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu plazmą w zależności od odległości od krawędzi cięcia, ww. dane przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 15 i 16. Dla każdego z badanych gatunków stali można zauważyć znaczną zmianę twardości w zależności od odległości od krawędzi cięcia. Nie są to zmiany prostoliniowe. Świadczy to o dużej strefie wpływu ciepła, towarzyszącej tej metodzie cięcia. Spośród badanych gatunków i stali Hardox 450 oraz SW7M wykazują największą wrażliwość na zmianę twardości dla tej metody cięcia. Dla stali Hardox 450 nastąpiło obniżenie twardości ze 100% (43 HRC) dla stanu przed obróbką cięcia do ok. 76% (33 HRC) po obróbce cięcia w odległości 2 mm od krawędzi cięcia. Dla stali SW7M nastąpił natomiast wzrost twardości ze 100% (27 HRC) dla stanu przed obróbką cięcia do ok. 148% (40 HRC) po obróbce cięcia plazmą w odległości 6 mm od krawędzi. To bardzo dużo. Zazwyczaj wzrostowi twardości towarzyszy wzrost kruchości, a to dla maszyn lub ich elementów pracujących uderowo może być niebezpieczne. Tym samym metoda cięcia plazmą może powodować znaczne nieprzewidywalne zmiany wytrzymałościowe części roboczych spowodowane dużą strefą wpływu ciepła.

Tabela 1. Średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu plazmą w zależności od odległości od krawędzi cięcia

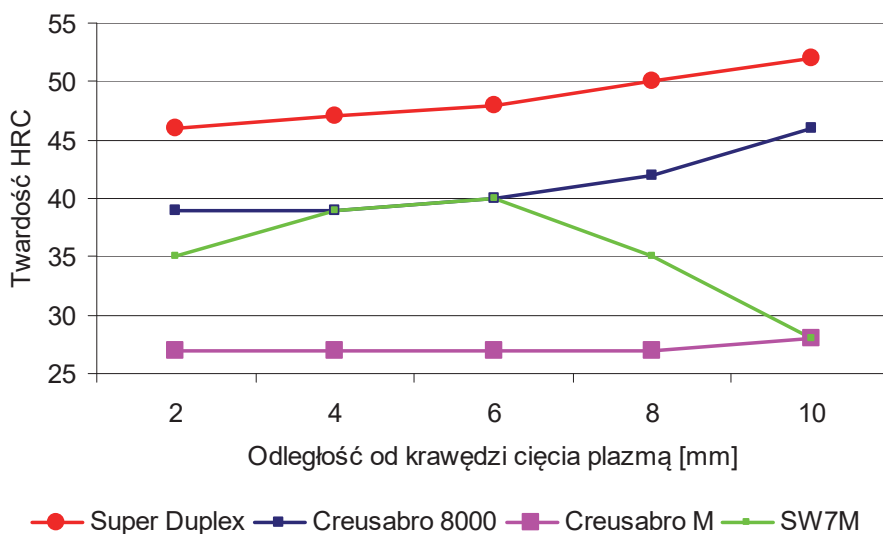
Table 1. Average values of measured HRC hardness of selected steel grades after plasma cutting depending on the distance from the cutting edge

Bijak konwencjonalny	Hardox 450	Hardox 550	Stal Hadfielda	Reax 500	Super Duplex	Creusabro 8000	Creusabro M	Stal SW7M
Twardość przed obróbką cięcia	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 2 mm	33	45	44	43	46	39	27	35
Odległość 4 mm	34	46	45	46	47	39	27	39
Odległość 6 mm	36	49	46	47	48	40	27	40
Odległość 8 mm	49	50	49	48	50	42	27	35
Odległość 10 mm	42	50	52	51	52	46	28	28



Rys. 15. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia plazmą dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 550, stal Hadfielda, Reax 500

Fig. 15. A graphical representation of the dependence of the HRC hardness on the distance from the plasma cutting edge for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 550, Hadfield steel, Reax 500



Rys. 16. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia plazmą dla następujących gatunków stali: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

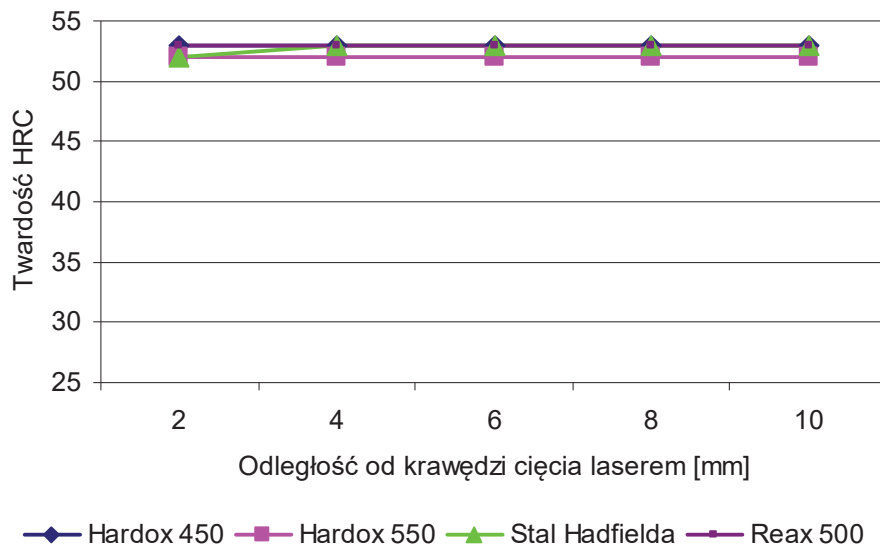
Fig. 16. Graphical representation of the dependence of the HRC hardness on the distance from the plasma cutting edge for the following steel grades: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

W tabeli 2 zestawiono średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu laserem w zależności od odległości od krawędzi cięcia. Na ich podstawie sporządzono wykresy przedstawione na rysunkach 17 i 18.

Tabela 2. Średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu laserem w zależności od odległości od krawędzi cięcia

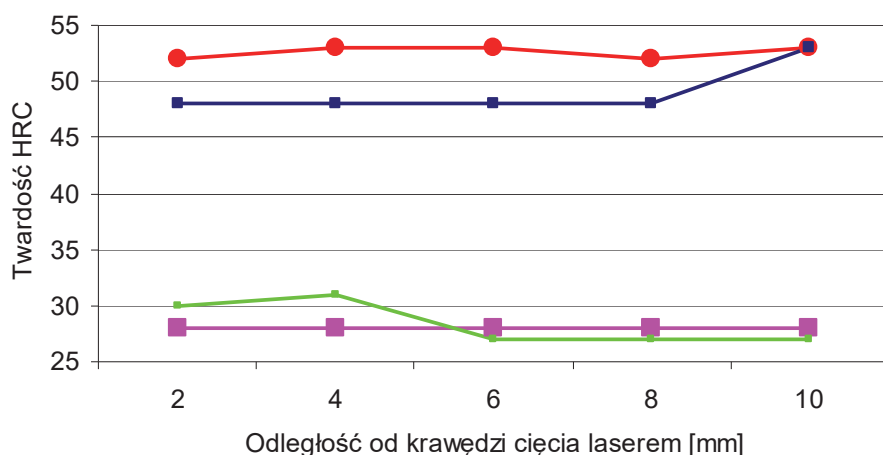
Table 2. Average values of measured HRC hardness of selected steel grades after laser cutting depending on the distance from the cutting edge

Bijak konwencjonalny	Hardox 450	Hardox 550	Stal Hadfielda	Reax 500	Super Duplex	Creusabro 8000	Creusabro M	Stal SW7M
Twardość przed obróbką cięcia	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 2 mm	43	52	52	53	52	48	28	30
Odległość 4 mm	44	52	53	53	53	48	28	31
Odległość 6 mm	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 8 mm	43	52	53	53	52	48	28	27
Odległość 10 mm	43	52	53	53	53	53	28	27



Rys. 17. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia laserem dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 550, stal Hadfielda, Reax 500

Fig. 17. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the laser cutting edge for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 550, Hadfield steel, Reax 500



—●— Super Duplex —■— Creusabro 8000 —■— Creusabro M —◆— SW7M

Rys. 18. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia laserem dla następujących gatunków stali: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

Fig. 18. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the laser cutting edge for the following steel grades: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

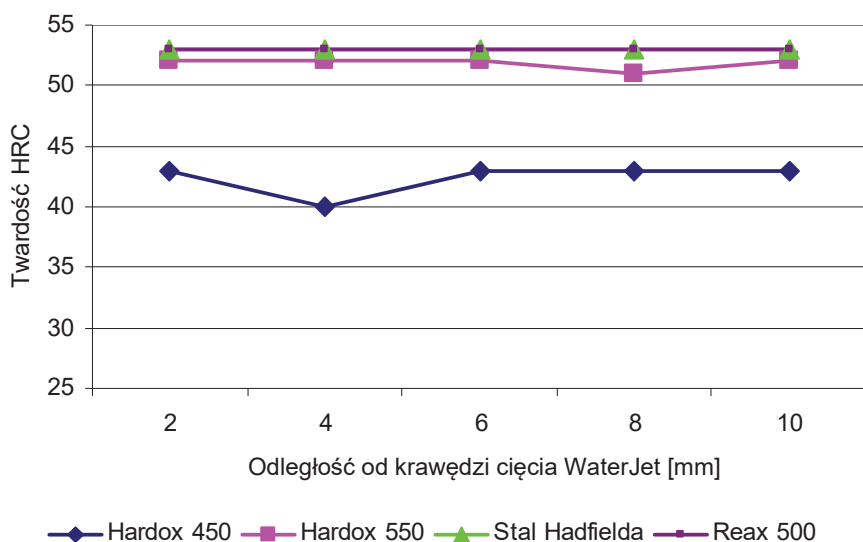
Dla stali Hardox 450, Hardox 550, stali Hadfielda, Reax 500, Creusabro M praktycznie nie stwierdzono zmian twardości w zależności od odległości od krawędzi cięcia dla tej metody obróbki. Dla stali Super Duplex, Creusabro 8000 oraz SW7M wystąpiły natomiast nieznaczne zmiany twardości tylko dla pewnych przedziałów odległości od krawędzi cięcia i nie przekraczały one 10% wartości początkowej (przed obróbką cięcia laserem). Świadczyć to może o niewielkiej strefie wpływu ciepła towarzyszącej tej metodzie obróbki, co jest korzystne w kontekście wytrzymałości danej konstrukcji/elementu roboczego.

W tabeli 3 zestawiono średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu za pomocą metody WaterJet w zależności od odległości od krawędzi cięcia, które w formie graficznej przedstawiono na rysunkach 19 i 20. Dla tej metody cięcia zmian twardości albo nie stwierdzono, jak dla stali Hadfielda oraz Reax 500, albo są one niewielkie i nie przekraczają 5%.

Tabela 3. Średnie wartości zmierzonych twardości HRC wybranych gatunków stali po cięciu za pomocą metody WaterJet w zależności od odległości od krawędzi cięcia

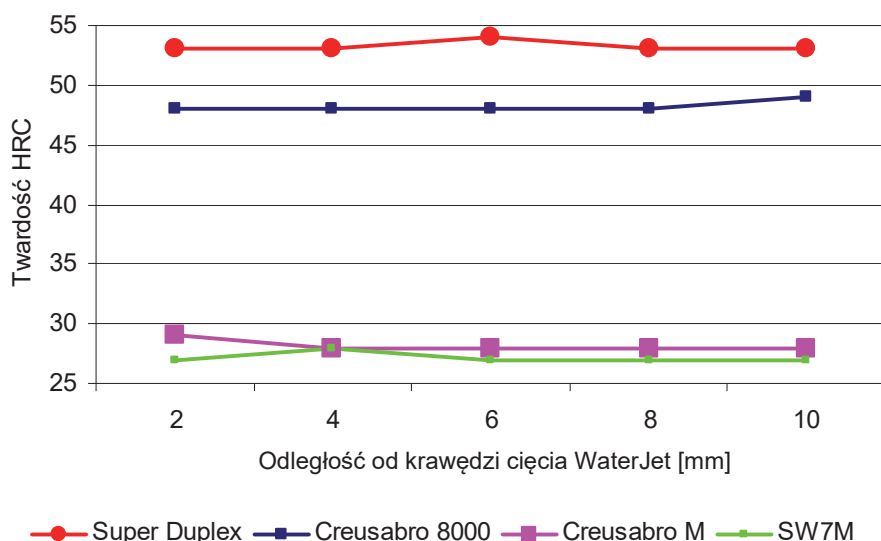
Table 3. Average values of measured HRC hardness of selected steel grades after WaterJet cutting depending on the distance from the cutting edge

Bijak konwencjonalny	Hardox 450	Hardox 550	Stal Hadfielda	Reax 500	Super Duplex	Creusabro 8000	Creusabro M	Stal SW7M
Twardość przed obróbką cięcia	43	52	53	53	53	48	28	27
Odległość 2 mm	43	52	53	53	53	48	29	27
Odległość 4 mm	40	52	53	53	53	48	28	28
Odległość 6 mm	43	52	53	53	54	48	28	27
Odległość 8 mm	43	51	53	53	53	48	28	27
Odległość 10 mm	43	52	53	53	53	49	28	27



Rys. 19. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia za pomocą metody WaterJet dla następujących gatunków stali: Hardox 450, Hardox 550, stal Hadfielda, Reax 500

Fig. 19. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the cut edge using the WaterJet method for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 550, Hadfield steel, Reax 500



Rys. 20. Graficzne przedstawienie zależności twardości HRC od odległości od krawędzi cięcia za pomocą metody WaterJet dla następujących gatunków stali: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

Fig. 20. A graphical representation of the HRC hardness dependence on the distance from the cut edge using the WaterJet method for the following steel grades: Super Duplex, Creusabro 8000, Creusabro M, SW7M

Najlepszą technologią do obróbki bijaków jest cięcie z wykorzystaniem metody WaterJet lub cięcie laserem. Ze względów: ekonomicznego i jakościowego obróbka laserem jest metodą mniej czasochłonną i oszczędniejszą przy zachowaniu odpowiedniej jakości krawędzi cięcia i nienaruszeniu struktury materiału. Niezdatna jest metoda cięcia plazmą, gdyż powoduje uszkodzenie materiału.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wpływu technologii cięcia bijaków na twardość powierzchni dla wybranych gatunków stali wykazały znaczny wpływ metody cięcia plazmą na twardość otrzymanych elementów konstrukcyjnych. Zmiana twardości od odległości od krawędzi cięcia jest zmianą nieprostoliniową. Z badanych materiałów stale Hardox 450 oraz SW7M wykazały największe zmiany twardości (odpowiednio ok. 77% i 148%). Cięcie za pomocą metody WaterJet wprowadza najmniejsze zmiany twardości obrabianych materiałów. Spowodowane jest to zapewne niewielką strefą wpływu ciepła towarzyszącą tej metodzie obróbki.

LITERATURA

- [1] DMITREWSKI J.: Teoria konstrukcji maszyn, t. 3: Maszyny i urządzenia do produkcji zwierzęcej. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Warszawa, 1978.
- [2] FLIZIKOWSKI J.: Konstrukcja rozdrabniaczy żywności. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy Bydgoszcz, 2005.
- [3] GROCHOWICZ J.: Technologia produkcji mieszanek paszowych. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Warszawa, 1996.
- [4] <http://www.stal-hurt.com/oferta/hardox-450/> (dostęp: 11.05.2019).
- [5] KALWAJ J.: Wpływ konstrukcji bijaków na efektywność rozdrabniania uderowego ziarna zbóż. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, SIGMA Warszawa, 2009.
- [6] LEWACKI P. (praca zbiorowa): Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 2017.
- [7] NIEWIADOMSKI S.: Maszyny i aparaty przemysłu chemicznego. Cz. 1 i 2. Państwowe Wydawnictwo Techniczne Warszawa, 1955.
- [8] OPIELAK M.: Wybrane zagadnienia rozdrabniania materiałów w przemyśle rolno-spożywczym. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie Lublin, 1997.
- [9] Patent PL 173497. Twórcy: Bochat A., Bogusz M.: Zespół roboczy urządzenia do rozdrabniania materiałów.
- [10] UZAROWICZ L., WOROCH S.: Maszyny i urządzenia młyńskie. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Warszawa, 1977.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STEEL CUTTING TECHNOLOGY ON THE STRENGTH OF THE HAMMER

Summary: The process of grinding materials, in particular food materials, is an extremely complex process, depending not only on the construction of the device's working elements, but also on the type of materials to be grinded (maize, cereals, etc.). The most popular working elements of grinders are flails, which can be made in various technologies, for example by pressing, cutting etc. The present work presents the impact of cutting technology on the hardness of the obtained surface for the following steel grades: Hardox 450, Hardox 500, Hadfield steel, Reax 500, Super Duplex, Creusambro 8000, Creusambro M and SW7M.

Key words: grinder, mill, flail, steel cutting

Sebastian KILIMNIK, Anna MAZURKIEWICZ, Klaudiusz MIGAWA

EKONOMICZNE ASPEKTY STOSOWANIA EKOJAZDY W SYSTEMACH TRANSPORTU DROGOWEGO

Streszczenie: Rozwój transportu drogowego spowodował, że wzrosła ingerencja człowieka w środowisko naturalne. Producenci samochodów – aby zapobiegać nadmiernemu zanieczyszczeniu – projektują nowe technologie i skłaniają użytkowników do stosowania ekójazdy. Przekazanie kierowcy wiedzy w odpowiedni sposób może sprawić, że przedsiębiorstwo transportowe uzyska oszczędności, a do środowiska naturalnego trafi mniej zanieczyszczeń. Na podstawie wykonanych badań przeprowadzono analizę wykorzystania ekójazdy w systemach transportu drogowego. Opierając się na analizie otrzymanych wyników badań, można stwierdzić, że właściwie stosowana ekójazda przynosi pożądane korzyści w wymiarach ekonomicznym oraz ekologicznym.

Słowa kluczowe: ekójazda, transport drogowy, zużycie paliwa, szkolenia kierowców

1. WPROWADZENIE

Transport drogowy to podstawowy sposób przemieszczania ludzi i towarów. W ciągu ostatnich dwudziestu lat liczba pojazdów użytkowanych w Europie zwiększyła się dwukrotnie. Przyczynia się to do znacznego rozwoju infrastruktury transportu, a co się z tym wiąże – do ingerencji człowieka w środowisko naturalne [8].

Wraz z rozwojem technologii producenci pojazdów prześcigają się w konstruowaniu napędów hybrydowych oraz elektrycznych. Należy natomiast podkreślić, że pomimo tych działań obecnie dominująca część pojazdów napędzana jest przez silniki spalinowe. Skutkiem ubocznym pracy silników spalinowych jest emisja zanieczyszczeń, których składnikami są substancje szkodliwe [5]. Aby ograniczyć przedostawanie się ich do środowiska naturalnego, producenci pojazdów wykorzystują coraz to nowsze rozwiązania technologiczne. Mają one na celu ograniczenie wytwarzania zanieczyszczeń oraz filtrację spalin. Czynniki, które mogą również ograniczyć ilość spalin emitowanych do środowiska naturalnego, to zachowanie oraz styl jazdy kierowcy. Niewłaściwe zachowania na drodze, nieumiejętna obsługa pojazdu, „agresywna” jazda – to elementy wpływające nie tylko na bezpieczeństwo, ale również na zwiększenie kosztów przemieszczania się oraz zanieczyszczenia środowiska [2, 6]. Celem przeprowadzonego badania była analiza wpływu zastosowania ekójazdy w systemie transportu drogowego, w aspekcie kryteriów ekonomicznych i ekologicznych. Odczytano

¹ mgr inż. Sebastian KILIMNIK, UTP Bydgoszcz, e-mail: sebastian.kilimnik@gmail.com

² mgr inż. Anna MAZURKIEWICZ, UTP Bydgoszcz, e-mail: an_mazurkiewicz@onet.pl

³ dr hab. inż. Klaudiusz MIGAWA, prof. UTP Bydgoszcz, e-mail: klaudiusz.migawa@utp.edu.pl

wartości spalania paliwa dla pojazdów osobowych oraz ciężarowych, które kierowcy uzyskali przed i po szkoleniu z zakresu ekof jazdy. Dokonano analizy otrzymanych wyników, co pozwoliło określić, w jakim stopniu właściwe zastosowanie ekof jazdy ogranicza zużycie paliwa, a co się z tym wiąże – redukuje koszty eksploatacji środków transportu drogowego oraz zmniejsza zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

2. METODYKA I ZAKRES SZKOLEŃ EKOJAZDY

Szkolenie z zakresu ekof jazdy w pierwszym etapie rozpoczyna się jazdą testową, podczas której trener zwraca uwagę na technikę jazdy kierowcy oraz jego zachowania na drodze. Odczyt zużycia paliwa na odcinku testowym notowany jest w karcie szkoleniowej kursanta. Kolejna część szkolenia przeprowadzana jest w formie wykładów, na których kursant poznaje zagadnienia teoretyczne. Następnie trener wraz z osobą szkoloną przechodzą do zajęć praktycznych. Ta faza szkolenia rozpoczyna się od jazdy demonstracyjnej trenera, podczas której kursant otrzymuje odpowiednie wskazówki dotyczące stylu jazdy oraz zachowania na drodze. Ostatnim etapem praktycznym jest wykonanie przez kursanta przejazdu testowego. Wynik z pierwszego przejazdu przed szkoleniem oraz wynik testu końcowego zostają porównane, całość następnie trener poddaje analizie i ocenie. Aby szkolenie przyniosło właściwy rezultat, pojazd oraz materiały pomocnicze powinny zostać odpowiednio przygotowane [1]. Trener powinien przygotować szkolenie tak, aby:

- pojazd był w pełni załadowany,
- pojazd był w pełni zatankowany, a miejsca uzupełnień paliwa powinny być wyznaczone,
- płyny eksploatacyjne w pojeździe oraz ciśnienie w ogumieniu były sprawdzone,
- ładunek był odpowiednio zabezpieczony oraz miał nisko położony środek ciężkości,
- ładunek został przygotowany przed rozpoczęciem szkolenia, a jego rodzaj był zbliżony do towaru, który przewożony jest podczas pracy szkolonego kierowcy,
- prawidłowość dokumentów była zweryfikowana,
- zebrać od kursantów karty kierowców lub przygotować tarcze tachografu dla starszych modeli pojazdów,
- przygotować miejsce pasażera, pojazdy do szkoleń często wyposażone są w dodatkowe miejsce środkowe.

Środki pomocnicze, które trener powinien przygotować do szkolenia, to:

- klikier – licznik do rejestrowania wykonanych zmian biegów,
- stoper do pomiaru czasu jazdy,
- specjalne arkusze danych ze szkolenia,
- kalkulator, brudnopis, zestaw długopisów.

Wcześniejsze przygotowanie materiałów pomocniczych sprawia, że szkolenie przebiega płynnie bez niepotrzebnych przerw.

Wzór arkusza szkoleniowego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Arkusz szkoleniowy z ekojazdy

Table 1. Document of ecodriving training

Firma	
Nazwisko i imię kierowcy	
Data szkolenia	11.05.2017
Zakres – szkolenie ECO/Jazda Defensywna	TAK
Marka/nr. Rej. Poj.	MAN TGM 15.340
Trasa	ŚMIŁOWO – DULOWA – ŚMIŁOWO 1054 km
Ładunek w tonach	25 t
Tankowanie START	stan licznika 692243, zatankowano 12,75 l
Tankowanie STOP	stan licznika 693297, zatankowano 284,20 l
Zużycie wg komp. pokładowego	29 l na 100 km
Zużycie rzeczywiste wg zatankowanych L	26,96 l na 100 km
UWAGI TRENERA	DMC pojazdu przekroczone o 87,00 kg, zatankowano po cyklu jazdy
UWAGI KIEROWCY	
Nr tel. kierowcy	
Ankieta ewaluacyjna	pyt. od 1) do 3): skala 1–5; ocena najgorsza – 1, najlepsza – 5 pyt. 4): skala 1–10; 1 oznacza najmniej, a 10 – najbardziej prawdopodobne
1) Oceń, czy szkolenie spełniło Twoje oczekiwania?	5
2) Czy podczas szkolenia zdobyłeś nowe umiejętności z zakresu techniki jazdy?	5
3) Czy instruktor przekazywał informacje, wskazówki i polecenia w jasny sposób?	5
4) Czy poleciłbyś udział w takim szkoleniu innym kierowcom?	10
Szkolenie z zakresu OC pojazdu	Przeprowadzono w pełnym zakresie 30 min

Odpowiednio przygotowany powinien zostać również odcinek testowy. Trasa powinna być na średnim poziomie trudności, a kryteria jej doboru to:

- długość 30–40 km,
- prosty początek trasy, aby kierowca dostosował się do pojazdu oraz przewożonego ładunku,
- zróżnicowanie terenu (wzniesienia oraz spadki),
- przebieg przez drogi lokalne oraz teren zabudowany,
- możliwość zawrócenia,
- omijanie dróg głównych w godzinach szczytu, aby szkolenie przebiegało płynnie,
- możliwość zastosowania trasy alternatywnej do trasy wyznaczonej w momencie wyłączenia odcinka testowego z ruchu.

Szkolenie rozpoczyna się w chwili pierwszego przejazdu testowego. Trener rejestruje wtedy wartości spalania oraz ocenia styl jazdy, jaki kierowca prezentował przed ukończeniem szkolenia. Kolejnym etapem jest szkolenie teoretyczne w formie wykładu. Kursanci poznają na nim zasady ekof jazdy i jazdy defensywnej. Dowiadują się, jakie czynniki wpływają na jazdę ekonomiczną, jak oddziałuje na kierowcę otoczenie i jakie zachowania są odpowiednie dla kierowcy. Po wykładzie trener z kursantem wykonuje jazdę demonstracyjną z komentarzem oraz wskazówkami. Następnie kierowca wykonuje przejazd końcowy zgodnie ze zdobytą wiedzą. Aby wynik szkolenia był miarodajny, obie jazdy muszą zostać przeprowadzone w zbliżonych warunkach, na tym samym odcinku testowym. Ważne jest, aby warunki atmosferyczne również były zbliżone, ponieważ różnicowanie temperatur, opady atmosferyczne czy wiatr będą miały wpływ na końcowy wynik szkolenia. Istotne, aby kierowca podczas szkolenia miał przy sobie prawo jazdy oraz przestrzegał przepisów ruchu drogowego. Obowiązkiem trenera jest poinstruowanie kursanta w kwestiach specyfikacji i obsługi pojazdu. Czynności trenera podczas przejazdu testowego to:

- przeprowadzanie pomiarów oraz obliczeń,
- udzielanie informacji na temat trasy,
- ingerencja w momencie niebezpieczeństwa,
- zapisywanie informacji na temat błędów oraz specyfikacji jazdy kierowcy,
- podczas przejazdu testowego trener nie udziela wskazówek dotyczących techniki jazdy.

Przejazd demonstracyjny z udziałem trenera jest praktyczną formą przekazywania wiedzy. Pozwala na zaprezentowanie „ekozasad” w sytuacjach występujących na drodze. Tylko wykwalifikowany, doświadczony instruktor może wykonywać jazdy demonstracyjne.

Ostatnim z etapów praktycznych jest przeprowadzenie jazdy końcowej z wykorzystaniem zasad ekof jazdy [3, 7], podczas której należy:

- wybrać odpowiedni bieg podczas ruszania,
- prawidłowo zmieniać biegi podczas jazdy i zwracać uwagę na prędkość obrotową silnika,
- stosować półbiegi podczas wzniesień,
- hamując w odpowiednim momencie, użyć hamulca silnikowego lub retardera,
- wykorzystywać pęd pojazdu,
- wykorzystywać jazdę przewidującą,
- unikać niepotrzebnych zatrzymań,
- używać toczenia,
- w terenie zabudowanym poruszać się z możliwie najniższą prędkością obrotową silnika,
- ograniczać redukcję biegów,
- płynnie włączać się do ruchu,
- błędy kursanta powinny być poprawiane spokojnie, bez gwałtownych ruchów.

Końcowa ocena przejazdów zostaje omówiona wspólnie z kierowcami. Analizie poddane zostają przejazdy początkowy oraz końcowy. Porównywane są:

- liczba zmian biegów,
- średnia prędkość,
- zużycie paliwa,
- czas przejazdu.

Po wykonaniu analizy kierowca dowiadyuje się o popełnianych przez siebie błędach. Trener wyjaśnia uzyskane przez szkolonych wyniki. Kierowcy mają możliwość zadawania dodatkowych pytań. Po odbytym szkoleniu kursanci wypełniają ankietę, w której odpowiadają na pytania dotyczące zadowolenia ze szkolenia.

Ważne jest, aby przedsiębiorstwo, dla którego wykonywano szkolenie, wprowadziło urządzenia do monitorowania parametrów jazdy [4]. Pozwala to na późniejszą kontrolę kierowcy, pilotowanie oraz udzielanie odpowiednich wskázówek. Kierowca, który otrzyma od pracodawcy normę zużycia paliwa i zostanie do przestrzegania nowych reguł odpowiednio zmotywowany np. systemem premiowania, będzie stosował się do zasad ekojazdy.

3. WYNIKI I ANALIZA ZREALIZOWANYCH BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań odczytano za pomocą urządzenia podłączonego do szyny CAN pojazdów, w których odbywało się szkolenie. Poniższe tabele przedstawiają część wyników pomiarów przeprowadzonych na pojazdach dostawczych o DMC do 3,5 t oraz ciężarowych DMC powyżej 3,5 t.

Badania przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch różnych rodzajów pojazdów. Zróźnicowanie polegało na gabarytach oraz masie pojazdu. Do pierwszej grupy zaliczały się samochody dostawcze o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony, natomiast do drugiej – pojazdy ciężarowe o DMC powyżej 3,5 t.

W przypadku pierwszego rodzaju pojazdów uzyskano 167 wyników pomiarów. Badanie przeprowadzono na tym samym modelu pojazdów marki FORD. Uczestnikami szkolenia były osoby pracujące w tej samej firmie przewozowej.

Analizując wyniki badań przeprowadzonych w grupie pierwszej, podczas testu końcowego uzyskano oszczędność zużycia paliwa w 152 przejazdach. Takie samo zużycie paliwa w przypadku obu przejazdów uzyskało 10 kierowców. Większe spalanie niż w przypadku przejazdu testowego zanotowano w 5 przypadkach. Z arkuszy szkoleniowych można wyczytać, że przejazdy ze zwiększonym zużyciem paliwa odbyły się w utrudnionych warunkach. Były to: zatrzymanie przez policję, zatory drogowe lub wypalanie filtra cząstek stałych.

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla pojazdów dostawczych uzyskane podczas szkolenia ekod jazdy
 Table 2. Measurement results of the fuel consumption for delivery van during ecodriving training

Kierowca	Miejsce szkolenia	Termin szkolenia	Trasa (w km)	Zużycie paliwa przejazd testowy (w l na 100 km)	Zużycie paliwa po szkoleniu (w l na 100 km)	Oszczędność (w l na 100 km)
Kierowca 1	Warszawa	16.01.2015	24,40	10,80	6,62	4,18
Kierowca 2	Warszawa	16.01.2015	24,40	14,40	12,30	2,10
Kierowca 3	Warszawa	16.01.2015	24,40	7,20	6,80	0,40
Kierowca 4	Warszawa	16.01.2015	24,40	10,50	8,20	2,30
Kierowca 5	Warszawa	16.01.2015	24,40	12,00	9,00	3,00
Kierowca 6	Warszawa	16.01.2015	24,40	10,73	4,63	6,10
Kierowca 7	Katowice	23.01.2015	25,00	8,70	8,00	0,70
Kierowca 8	Katowice	23.01.2015	25,00	6,50	6,80	-0,30
Kierowca 9	Katowice	23.01.2015	25,00	11,12	10,56	0,56
Kierowca 10	Katowice	23.01.2015	25,00	6,50	5,90	0,60
Kierowca 11	Katowice	23.01.2015	25,00	7,70	6,80	0,90
Kierowca 12	Katowice	23.01.2015	25,00	10,48	6,64	3,84
Kierowca 13	Kraków	30.01.2015	27,10	10,80	7,40	3,40
Kierowca 14	Kraków	30.01.2015	27,10	8,60	8,30	0,30

Tabela 3. Wyniki pomiarów dla pojazdów ciężarowych uzyskane podczas szkolenia ekod jazdy
 Table 3. Measurement results of the fuel consumption for truck during ecodriving training

Kierowca	Miejsce szkolenia	Termin szkolenia	Trasa (w km)	Zużycie paliwa przejazd testowy (w l na 100 km)	Zużycie paliwa po szkoleniu (w l na 100 km)	Oszczędność (w l na 100 km)
Kierowca 1	Poniatowa	30.04.2015	34,50	29,50	26,00	3,50
Kierowca 2	Poniatowa	25.04.2015	34,30	31,40	27,40	4,00
Kierowca 3	Kielce	28.05.2015	24,00	38,00	33,20	4,80
Kierowca 4	Poniatowa	16.05.2015	34,90	33,20	29,50	3,70
Kierowca 5	Poniatowa	23.05.2015	34,25	29,80	26,50	3,30
Kierowca 6	Kielce	14.05.2015	24,04	44,90	34,70	10,20
Kierowca 7	Kielce	23.04.2015	24,10	33,60	30,20	3,40
Kierowca 8	Poniatowa	13.06.2015	34,90	36,30	33,10	3,20
Kierowca 9	Poniatowa	16.05.2015	34,90	35,90	32,20	3,70
Kierowca 10	Kielce	28.05.2015	24,00	37,40	31,20	6,20
Kierowca 11	Kielce	28.05.2015	24,00	38,40	35,60	2,80
Kierowca 12	Kielce	14.05.2015	24,04	45,50	36,30	9,20
Kierowca 13	Poniatowa	16.05.2015	34,90	33,40	30,00	3,40
Kierowca 14	Kielce	14.05.2015	24,04	35,90	32,30	3,60

Aby ustalić skuteczność przeprowadzonych szkoleń, obliczono średnie wartości zużycia paliwa dla przejazdu testowego i końcowego, co pozwoliło na odczyt średniej oszczędności. Obliczenia polegały na zsumowaniu wyników spalania, a następnie podzieleniu przez liczbę kursantów. Omawiane wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Średnie wartości zużycia paliwa dla pojazdów dostawczych uzyskane podczas szkolenia ekojazdy

Table 4. The average value of the fuel consumption for delivery van during ecodriving training

Przejazd testowy średnia wartość w l na 100 km	Przejazd po szkoleniu średnia wartość w l na 100 km	Oszczędność średnia wartość w l na 100 km
8,70	6,74	1,96

Na podstawie analizy wyników zrealizowanych badań wykazano oszczędność paliwa w stosunku do przejazdu testowego o 23%.

Drugi z pomiarów, w którym uczestniczyło 39 kierowców szkolących się na pojazdach ciężarowych, zakończył się zmniejszeniem zużycia paliwa, uzyskanym przez wszystkich uczestników badań. Oszczędności wyniosły od 0,6 do 10,2 l na 100 km. W tym przypadku również wyznaczono wartość średnią zużycia paliwa, a otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Średnie wartości zużycia paliwa dla pojazdów ciężarowych uzyskane podczas szkolenia ekojazdy

Table 5. The average value of the fuel consumption for truck during ecodriving training

Przejazd testowy średnia wartość w l na 100 km	Przejazd po szkoleniu średnia wartość w l na 100 km	Oszczędność średnia wartość w l na 100 km
35,62	31,15	4,47

Uzyskana oszczędność paliwa w stosunku do pierwszego przejazdu wyniosła 12,55%.

Z wykorzystaniem otrzymanych wyników badań wykonano obliczenia, na podstawie których wyznaczono oszczędności dla każdej z analizowanych grup. W pierwszej z nich każdy z kierowców pokonuje swoim pojazdem miesięcznie ok. 5000 km. Średnia oszczędność wyniosła 1,96 l na 100 km, a średnia cena paliwa to 5 zł za l. W szkoleniu uczestniczyło 167 kierowców. Można obliczyć:

- oszczędność = $5000 \text{ km} \cdot 1,96 \text{ l na } 100 \text{ km} \cdot 5 \text{ zł za l} = 490 \text{ zł}$,
- miesięczna oszczędność dla grupy szkoleniowej = $490 \text{ zł} \cdot 167 = 81830 \text{ zł}$,
- roczna oszczędność pierwszej grupy = $81830 \text{ zł} \cdot 12 = 981960 \text{ zł}$.

Dla kierowców pojazdów ciężarowych, którzy pokonują swoimi pojazdami 10000 km miesięcznie, zużycie paliwa zmniejszyło się o 4,47 l na 100 km, a ich grupa liczyła 39 kursantów, oszczędności przedstawiają się w następujący sposób:

- oszczędność = $10000 \text{ km} \cdot 4,47 \text{ l na } 100 \text{ km} \cdot 5 \text{ zł za l} = 2235 \text{ zł}$,
- miesięczna oszczędność dla grupy szkoleniowej = $2235 \text{ zł} \cdot 39 = 87165 \text{ zł}$,
- roczna oszczędność drugiej grupy = $87165 \text{ zł} \cdot 12 = 1045980 \text{ zł}$.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników badań, dotyczących zużycia paliwa w systemie ekojazdy, wykazano oszczędności ekonomiczne liczone w setkach tysięcy złotych. Jednocześnie ograniczenie ilości spalnego paliwa w istotny sposób wpływa na redukcję emisji spalin, a tym samym – na zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

4. PODSUMOWANIE

Szkolenie z zakresu ekojazdy pozwoliło na oszczędność paliwa w ponad 92% analizowanych przypadków.

191 z 206 kursantów poprawiło swój wynik zużycia paliwa podczas przejazdu końcowego.

Pierwsza z grup uzyskała średnią wartość oszczędności na poziomie 1,97 l na 100 km, co przekłada się na 23% zmniejszenia zużycia paliwa. Druga grupa uzyskała natomiast oszczędność o średniej wartości 4,47 l na 100 km, co przekłada się na 12,55% zmniejszenia zużycia paliwa.

Z szacunkowych wyliczeń wynika, że grupy, które odbyły szkolenie w ciągu pierwszego roku, są w stanie zaoszczędzić nawet setki tysięcy złotych dla swojego przedsiębiorstwa.

Jednocześnie należy podkreślić, że ilościowe ograniczenie zużycia paliwa bezpośrednio wiąże się ze zmniejszeniem emisji substancji szkodliwych do środowiska naturalnego.

Podsumowując, można stwierdzić, że szkolenie z zakresu ekojazdy przynosi długotrwałe korzyści. Należą do nich zmniejszenie zużycia paliwa, zmniejszona eksploatacja, poprawa w zakresie ekologii oraz bezpieczeństwa na drogach. W związku z tym ekojazda może stać się istotnym czynnikiem optymalizującym procesy przewozowe w przedsiębiorstwach transportowych.

LITERATURA

- [1] AUERBACH P., KUKLA W.: Istota i zasady ekojazdy, czyli integralna część szkolenia w przedsiębiorstwach świadczących usługi transportowe. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Organizacja i Zarządzanie 60, 2013.
- [2] GRONOWICZ J.: Ochrona środowiska w transporcie lądowym. Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Eksploatacji Radom, 2004.
- [3] JUDZIŃSKA-KŁODAWSKA A.: Wpływ wybranych elementów eco-drivingu na zmniejszenie zużycia paliwa oraz emisję CO₂. Autobusy 10, 2013.
- [4] LEMPART M., MALIK P.: Proste rozwiązania – wymierne korzyści, czyli ekojazda w koncepcji zrównoważonego rozwoju. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Organizacja i Zarządzanie 60, 2013.
- [5] MERKISZ J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Tom 1 i 2. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej Poznań, 1999.
- [6] MUŚLEWSKI Ł.: Podstawy efektywności działania systemów transportowych. Wydawnictwo Naukowe ITE-PIB Radom, 2010.
- [7] SZTAL M., WÓJCIK K.: Eco driving w szkoleniu, na egzaminie, w codziennej jeździe. Wydawnictwo Grupa Image Warszawa, 2015.
- [8] ŻÓŁTOWSKI B., KWIATKOWSKI K.: Zagrożone środowisko. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego Bydgoszcz, 2012.

ECONOMIC ASPECTS OF APPLICATION ECODRIVING IN THE ROAD TRANSPORT SYSTEMS

Summary: The development of road transport has caused an interference in the natural environment. To prevent excessive pollution, car manufacturers design new technologies and recommend to use ecodriving. The right way to pass on driver knowledge can result in a transport company achieving savings and less pollution going to the environment. Based on the tests performed, an analysis of the use of ecodriving in road transport systems was carried out. On the basis of the results the ecodriving use in road transport systems was analyzed. From the obtained results, we learn that properly applied ecodriving brings desirable economic and ecological benefits.

Key words: ecodriving, road transport, fuel consumption, driver training

Anna MAZURKIEWICZ, Agnieszka SOŁTYSIAK, Klaudiusz MIGAWA

OCENA GOTOWOŚCI ELEKTROWNI WIATROWEJ Z ZASTOSOWANIEM SYSTEMU REJESTRACJI DANYCH EKSPLOATACYJNYCH ENERCON SCADA REMOTE 3

Streszczenie: W pracy wyznaczono charakterystyki gotowości siłowni wiatrowych na przykładzie siłowni ENERCON typ E-82/BF/107/23/01/2.0MW eksploatowanych w farmie wiatrowej Glińsk 6.0 MW. Analizowane charakterystyki zostały wyznaczone na podstawie zbioru danych eksploatacyjnych uzyskanych z systemu ENERCON SCADA Remote 3. Do oceny gotowości siłowni wiatrowych zastosowano charakterystyki modelu procesu odnowy ze skończonym czasem odnowy. Wyznaczone charakterystyki umożliwiają zarówno ocenę możliwości przystąpienia do realizacji, jak i zrealizowania zadania (produkcji energii elektrycznej).

Słowa kluczowe: siłownie wiatrowe, energia odnawialna, gotowość funkcjonalna, gotowość operacyjna

1. WPROWADZENIE

Siłownie wiatrowe są jednym z istotnych źródeł energii elektrycznej. Wytwarzanie energii odbywa się z wykorzystaniem sił natury. W świecie natury występuje wiele niewykorzystanych zasobów. Siłownia wiatrowa jest to złożony obiekt, którego zadaniem jest wytwarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem energii wiatru. Energia ta jest uznawana za energię czystą. Siła wiatru jest zamieniana na ruch obrotowy wirnika generatora wytwarzającego prąd, a zasoby energii wiatrowej są nieograniczone. Siła wiatru nie jest jednakowa w każdym miejscu na ziemi – wynika to z wielu uwarunkowań – jednakże na przestrzeni lat badacze zlokalizowali najsilniejsze źródło energii wiatrowej. Wiedza ta jest następnie wykorzystywana przez producentów energii elektrycznej z elektrowni wiatrowej. Prawidłowe usytuowanie generatorów wiatrowych (farm wiatrowych) skutkuje dużą efektywnością tych sieci. Doświadczenie dowodzi, że dokonanie wyboru usytuowania farm wiatrowych musi uwzględniać również opinie lokalnych społeczności, które współdecydują o powstawaniu takich rozwiązań. W globalnym świecie zapotrzebowanie na energię elektryczną nadal gwałtownie wzrasta. W konsekwencji wzrasta również świadomość ekologiczna. Przyczynia się to do dywersyfikacji źródeł energii elektrycznej. W Unii Europejskiej nadal prym w wytwarzaniu energii elektrycznej wiodą elektrownie i elektrociepłownie wykorzystujące paliwa kopalne, takie jak: węgiel kamienny czy węgiel brunatny. Świadome podejście do rozwiązań energetycznych skłania

¹ inż. Anna MAZURKIEWICZ, UTP Bydgoszcz, e-mail: an_mazurkiewicz@onet.pl

² mgr inż. Agnieszka SOŁTYSIAK, UTP Bydgoszcz, e-mail: agnieszka.soltysiak@utp.edu.pl

³ dr hab. inż. Klaudiusz MIGAWA, prof. UTP, e-mail: klaudiusz.migawa@utp.edu.pl

obecne społeczeństwa w kierunku rozwoju energetyki odnawialnej. Powodem takiego podejścia są postępujące zmiany klimatu i zwiększenie zanieczyszczenia powietrza, co w realny sposób pogarsza stan zdrowia ludzi. Jest wiele projektów, które mają przyczynić się do karbonizacji przemysłu energetycznego. Nie jest to jednak proces, który można zrealizować w krótkim przedziale czasowym. Dlatego prognozy dotyczące rozwoju energetyki wiatrowej w Unii Europejskiej w latach 2020–2030, przygotowywane przez Komisję Europejską, przewidują znaczące zwiększenie mocy elektrowni wiatrowych, w szczególności lokalizowanych na obszarach morskich [3]. Cechą charakterystyczną elektrowni wiatrowych jest zmienność poziomu wytwarzanej mocy (energii) w czasie. W odróżnieniu od elektrowni konwencjonalnych na niezawodność siłowni wiatrowych wpływa zarówno możliwość uszkodzenia jej zespołów i elementów – niezawodność strukturalna, jak i losowy charakter źródła energii pierwotnej – niezawodność produkcyjna [1, 2, 7].

Większość obecnie istniejących elektrowni wiatrowych dostarcza wytwarzaną energię bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej. Zwiększanie mocy elektrowni wiatrowych wiąże się bezpośrednio z problemami dotyczącymi magazynowania wytworzonej energii. Coraz częściej stosowane rozwiązania to wyposażanie elektrowni wiatrowych w magazyny energii (np. baterie akumulatorów) lub stosowanie rozwiązań hybrydowych (np. paneli fotowoltaicznych). W takich przypadkach możliwe jest dostarczanie wytworzonej energii do sieci elektroenergetycznej w sposób ciągły ze stałą mocą. Miarą niezawodności strukturalnej takich elektrowni są klasyczne wskaźniki awaryjności (uszkodzalności) i dyspozycyjności (gotowości), wyznaczane analogicznie jak w przypadku elektrowni konwencjonalnych.

W wielu pracach prezentowane są modele matematyczne niezawodności elektrowni wiatrowych, w tym modele probabilistyczne i stochastyczne [4, 5, 9], a także modele przystosowane do wyznaczania i analizy niezawodności, dostępności i bezpieczeństwa w warunkach ograniczeń stosowanej metodyki i narzędzi obliczeniowych oraz istniejących danych niezawodnościowych [8].

W tej pracy wyznaczono stacjonarne charakterystyki opisujące gotowość funkcjonalną i operacyjną siłowni wiatrowych. W kolejnych etapach realizowanych prac badawczych zostaną opracowane modele oceny i sterowania gotowością i bezpieczeństwem siłowni wiatrowych, z zastosowaniem stochastycznych modeli procesu eksploatacji, semi-markowskich modeli decyzyjnych oraz niedeterministycznych metod wyznaczania rozwiązań optymalnych (algorytmów ewolucyjnych, genetycznych i symulowanego wyżarzania).

2. MODEL OCENY GOTOWOŚCI SIŁOWNI WIATROWYCH

Wiatrowe generatory prądu elektrycznego są to obiekty o złożonej konstrukcji, którą można podzielić na dwa podstawowe zespoły. Zespół pierwszy składa się ze słupowego elementu nośnego o dużym przekroju, na którym zamontowana jest głowica generatora. W takiej konstrukcji bardzo ważną rolę odgrywa prawidłowe posadowienie i fundamentowanie. Na konstrukcji fundamentu

osadza się element słupowy, który można zaliczyć do konstrukcji wysokościowej. Konstrukcja z racji swych wymiarów musi mieć odpowiednią sztywność. Generator umieszczony na elemencie nośnym musi być trwale powiązany z częścią nośną. Konstrukcja i rozmiar generatora wraz z łopatom wirującymi w bardzo silny sposób oddziałują na fundament i część nośną urządzenia. Z tego względu siłownia wiatrowa musi być rozpatrywana jako cała konstrukcja. W prezentowanym opracowaniu siłownia wiatrowa rozpatrywana jest jako obiekt złożony, a do oceny jej poprawnego funkcjonowania należy stosować metody i modele matematyczne. Narzędzia matematyczne, które należy zastosować, pozwolą na dokładne odwzorowanie zachodzących procesów destrukcyjnych oraz wiarygodną ocenę niezawodności. Sprawne narzędzia obliczeniowe i umiejętność odwzorowywania zachodzących zdarzeń za pomocą modelu matematycznego w znaczny sposób ograniczają przedział czasu, w którym byłoby trzeba zbierać informacje z wielu obiektów o tej samej konstrukcji. Do oceny niezawodności rozpatrywanych siłowni wiatrowych farmy wiatrowej Glińsk 6.0 MW zastosowano rzeczywisty model odnowy. Rzeczywisty model odnowy zapewnia możliwość oceny niezawodności rozpatrywanych obiektów technicznych w sposób dokładny i – co szczególnie istotne – w modelu tym uwzględniane są również charakterystyki opisujące gotowość (dostępność) tych obiektów. Poniżej przedstawiono podstawowe charakterystyki zastosowanego modelu matematycznego [6]:

a) wartość oczekiwana czasu zdatności:

$$ET' = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{+\infty} [1 - F(t)] dt \quad (1)$$

gdzie:

$F(t)$ – dystrybuanta czasu zdatności,

$f(t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa uszkodzeń;

b) wartość oczekiwana czasu odnowy:

$$ET'' = \int_0^{+\infty} t \cdot g(t) dt = \int_0^{+\infty} [1 - G(t)] dt \quad (2)$$

gdzie:

$G(t)$ – dystrybuanta czasu odnowy,

$g(t)$ – funkcja gęstości prawdopodobieństwa odnowy;

c) funkcja odnowy $H(t)$ – oczekiwana liczba uszkodzeń (odnów) w danym przedziale czasu:

$$H(t) = E[N(t)], \quad t \geq 0 \quad (3)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} H(t) = \frac{t}{ET' + ET''} \quad (4)$$

gdzie:

$N(t)$ – proces losowy określający liczbę uszkodzeń (odnów) w danym przedziale czasu;

- d) funkcja gęstości odnowy $h(t)$ – oczekiwana liczba uszkodzeń (odnów) przypadająca na jednostkę czasu:

$$h(t) = H'(t) \quad (5)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} H'(t) = \frac{1}{ET' + ET''} \quad (6)$$

- e) gotowość funkcjonalna K_g jest charakterystyką niezawodności obiektu technicznego mierzona prawdopodobieństwem tego, że obiekt techniczny w dowolnej chwili t jest zdalny i może przystąpić do realizacji zadania:

$$K_g = \lim_{t \rightarrow \infty} K_g(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[R(t) + \int_0^t R(t-x) \cdot h(x) dx \right] \quad (7)$$

gdzie:

$R(t)$ – oznacza prawdopodobieństwo tego, że obiekt nie uszkodzi się w przedziale czasu $(0, t)$,

$\int_0^t R(t-x) \cdot h(x) dx$ – oznacza prawdopodobieństwo tego, że w przedziale czasu $(0, t)$

obiekt n razy uszkodził się i n razy został odnowiony, a ostatnia odnowa została zrealizowana w chwili $t_n'' < t$ i w przedziale czasu (t_n'', t) obiekt nie uszkodził się;

- f) gotowość operacyjna $G_o(\tau)$ jest charakterystyką obiektu technicznego, mierzona prawdopodobieństwem tego, że obiekt techniczny w dowolnej chwili t jest zdalny i może przystąpić do realizacji zadania i ma zasób funkcjonowania niezbędny do jego ukończenia w wymaganym przedziale czasu τ :

$$G_o(\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} G_o(t, \tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[R(t+\tau) + \int_0^t R(t+\tau-x) \cdot h(x) dx \right] \quad (8)$$

Charakterystyki gotowości funkcjonalnej K_g i operacyjnej $G_o(\tau)$ opisują w sposób kompleksowy niezawodność rozpatrywanych obiektów technicznych (siłowni wiatrowych) i w ocenie uwzględniają nie tylko możliwość wystąpienia uszkodzeń, ale także możliwość prawidłowego wykonania zadania – produkcję energii elektrycznej.

3. WYNIKI BADAŃ GOTOWOŚCI FARMY WIATROWEJ GLIŃSK 6.0 MW

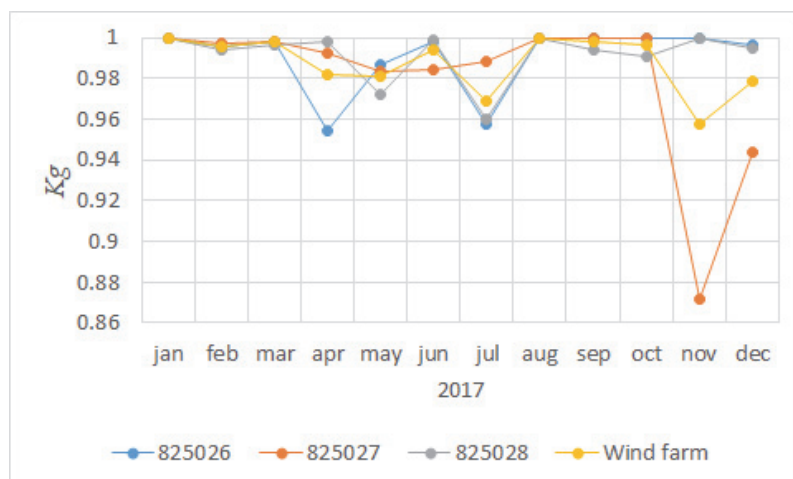
Poniżej na rysunku 1 przedstawiono przykładowe dane eksploatacyjne dotyczące siłowni wiatrowej ENERCON E-82 nr seryjny 825026, zarejestrowane w kolejnych miesiącach 2017 roku. Przedstawione dane dotyczą sumarycznych rocznych czasów: T1 – produkcji energii elektrycznej, T2 – pracy systemu SCADA, T3 – braku dostępu do sieci elektroenergetycznej, T4 – postoju organizacyjnego, T5 – braku możliwości rejestrowania danych przez system SCADA, T6 – postoju spowodowanego serwisowaniem i naprawą. Następnie na podstawie informacji pozyskanych z systemu rejestracji danych eksploatacyjnych

ENERCON SCADA Remote 3 wyznaczono gotowość rozpatrywanych siłowni wiatrowych do realizacji zadania w latach 2013–2017 oraz w kolejnych miesiącach 2017 roku. Przedstawione na rysunkach 2–5 wyniki badań dotyczą farmy wiatrowej Glińsk 6.0 MW, złożonej z trzech siłowni wiatrowych ENERCON typ E-82/BF/107/23/01/2.0MW o numerach seryjnych: 825026, 825027 i 82502.

Plant	Time	T1 [h]	T2 [h]	T3 [h]	T4 [h]	T5 [h]	T6 [h]
1 / 825026 / CS82	Dec 2017	741.33	743.98	0.04	0.00	0.00	2.60
1 / 825026 / CS82	Nov 2017	706.75	719.99	0.04	0.00	13.17	0.03
1 / 825026 / CS82	Oct 2017	659.11	744.93	0.14	0.00	85.66	0.02
1 / 825026 / CS82	Sep 2017	719.16	719.97	0.03	0.00	0.78	0.00
1 / 825026 / CS82	Aug 2017	734.85	743.97	0.08	0.00	9.03	0.01
1 / 825026 / CS82	Jul 2017	690.90	743.94	0.08	0.00	21.62	31.34
1 / 825026 / CS82	Jun 2017	709.86	719.97	0.04	0.00	8.94	1.13
1 / 825026 / CS82	May 2017	726.14	743.96	0.04	0.00	7.85	9.93
1 / 825026 / CS82	Apr 2017	686.57	719.98	0.08	0.00	0.59	32.74
1 / 825026 / CS82	Mar 2017	547.05	742.93	0.16	0.00	195.41	0.31
1 / 825026 / CS82	Feb 2017	549.41	671.95	0.13	0.00	119.37	3.04
1 / 825026 / CS82	Jan 2017	741.61	743.97	0.03	0.00	2.32	0.00

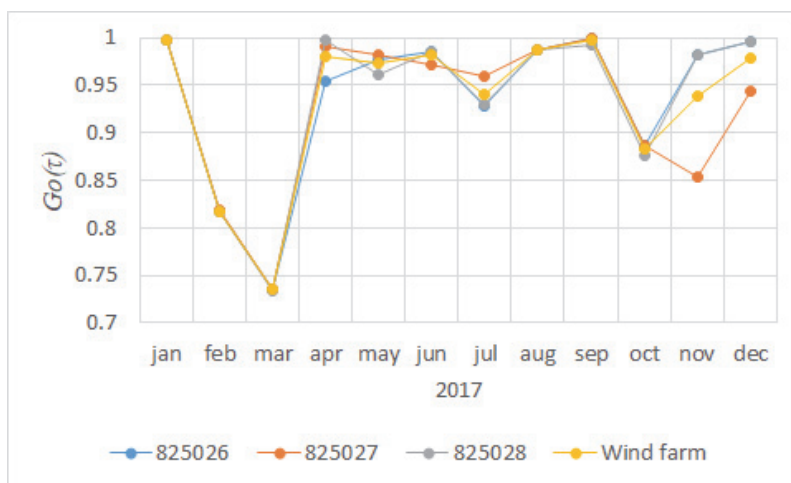
Rys. 1. Zrzut ekranowy przykładowych danych eksploatacyjnych z systemu ENERCON SCADA Remote 3 dla siłowni wiatrowej ENERCON E-82 nr seryjny 825026

Fig. 1. Screen projection of selected operational data from the ENERCON SCADA Remote 3 system for the ENERCON E-82 wind turbine serial number 825026



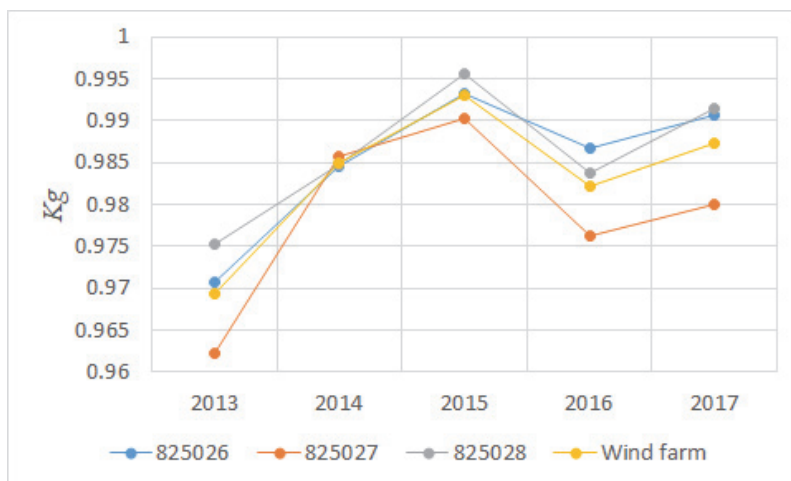
Rys. 2. Gotowość funkcjonalna K_g siłowni wiatrowych ENERCON E-82 farmy wiatrowej Glińsk 6.0 MW w kolejnych miesiącach 2017 roku

Fig. 2. Functional K_g availability of wind turbines ENERCON E-82 at the wind farm Glińsk 6.0 MW over the following months of 2017



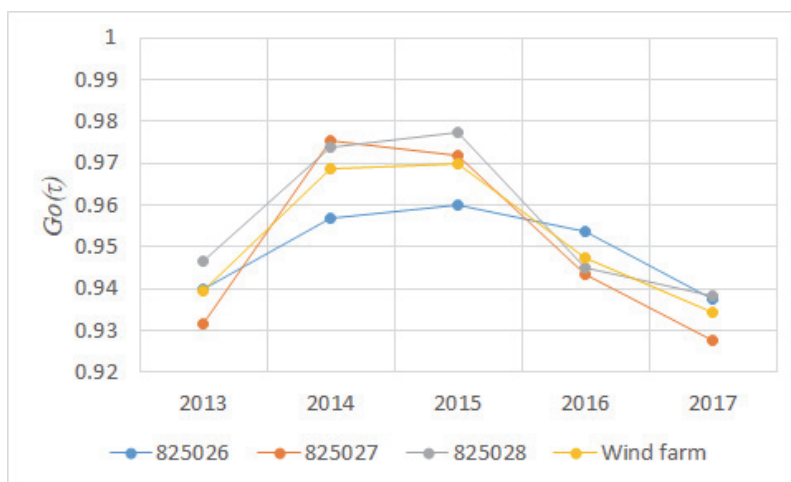
Rys. 3. Gotowość operacyjna $G_o(t)$ siłowni wiatrowych ENERCON E-82 farmy wiatrowej Glińsk 6.0 MW w kolejnych miesiącach 2017 roku

Fig. 3. Operational $G_o(t)$ availability of wind turbines ENERCON E-82 at the wind farm Glińsk 6.0 MW over the following months of 2017



Rys. 4. Gotowość funkcjonalna K_g siłowni wiatrowych ENERCON E-82 farmy wiatrowej Glińsk 6.0 MW w latach 2013–2017

Fig. 4. Functional K_g availability of wind turbines ENERCON E-82 at the wind farm Glińsk 6.0 MW over the years 2013–2017



Rys. 5. Gotowość operacyjna $G_o(\tau)$ siłowni wiatrowych ENERCON E-82 farmy wiatrowej Glińsk 6.0 MW w latach 2013–2017

Fig. 5. Operational $G_o(\tau)$ availability of wind turbines ENERCON E-82 at the wind farm Glińsk 6.0 MW over the years 2013–2017

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić wysoką gotowość funkcjonalną rozpatrywanych siłowni wiatrowych w poszczególnych miesiącach 2017 roku (dla farmy wiatrowej $K_g > 0,96$). Niewielki spadek odnotowano jedynie w listopadzie 2017 roku i dotyczy on siłowni wiatrowej o numerze seryjnym 825027. W przypadku gotowości operacyjnej poważne zakłócenia możliwości realizacji zadania (produkcji energii elektrycznej) wystąpiły w lutym, marcu, a także październiku 2017 roku.

Analiza gotowości funkcjonalnej farmy wiatrowej w poszczególnych latach jej eksploatacji świadczy, że gotowość ta w latach 2014–2017 była na wysokim poziomie ($K_g > 0,975$), natomiast należy również zauważyć znaczny spadek gotowości operacyjnej w latach 2016–2017, nawet poniżej wartości 0,93.

Ocena gotowości farmy wiatrowej zarówno ze względu na możliwości przystąpienia do realizacji zadania (gotowość funkcjonalna), jak i możliwości zrealizowania zadania (gotowość operacyjna) może być wykorzystana do bieżącej kontroli jej działania, a także – w przyszłości w celu zapewnienia ciągłości produkcji energii elektrycznej – do modernizacji i zastosowania rozwiązań hybrydowych, np. paneli fotowoltaicznych.

LITERATURA

- [1] BILLINTON R., BAI G.: Generating capacity adequacy associated with wind energy. IEEE Transactions on Energy Conversion 19(3), 2004.
- [2] CHOWDHURY A., KOVAL D.: Modelling non-dispatchable wind energy sources in generating capacity reliability planning. Proceedings of the fourth IASTED International Conference Power and Energy Systems, Rhodes, Greece, 2004.

- [3] Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: Renewable energy road map renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future. COM, 2006, 848.
- [4] HAGHIFAM M.-R., OMIÐVAR M.: Wind farm modelling in reliability assessment of power system. 9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, KTH, Stockholm, Sweden, 2006.
- [5] KARKI R., HU P., BILLINTON R.: A simplified wind power generation model for reliability evaluation. IEEE Transactions on Energy Conversion 21(2), 2006.
- [6] MIGAWA K.: Availability control in transport means operation systems. University of Science and Technology in Bydgoszcz, Publishing Department, Dissertations no. 168, 2013.
- [7] MILLIGAN M.R.: A chronological reliability model incorporating wind forecasts to assess wind plant reserve allocation. AWEA WindPower 2002 Conference, Portland, Oregon, 2002.
- [8] MILLIGAN M.R.: A sliding window technique for calculating system LOLP contributions of wind power plants. Proceedings of the WindPower 2001 Conference, Washington, D.C., 2001.
- [9] PASKA J., BARGIEL J., OLEKSY A.: Application of value-based reliability approach in power transmission system planning. 7th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems – PMAPS 2002, Naples, Italy, 2002.

ASSESSMENT OF WIND FARM AVAILABILITY WITH THE ENERCON SCADA REMOTE 3 OPERATIONAL DATA REGISTRATION SYSTEM

Summary: This paper analyzes wind turbine availability characteristics based on the example of the ENERCON type E-82/BF/107/23/01/2.0MW engine used at the Glińsk 6.0 MW wind farm. The analyzed characteristics were determined on the basis of a set of operating data obtained from the ENERCON SCADA Remote 3 system. In the evaluation of wind turbine availability, the characteristics of the renewal process model with finite regeneration time were used. The designated characteristics make both the assessment of the possibility of commencing an operation, as well as the completion of the task (production of electricity) possible.

Key words: wind turbine, renewable energy, functional availability, operational availability

Anna PIOCHACZ, Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK

WPLYW CZASU TRWANIA PROCESU ANODOWANIA STOPU ALUMINIUM EN AW-6060 NA GRUBOŚĆ I TWARDOŚĆ OTRZYMANEJ WARSTWY

Streszczenie: Anodowanie powierzchni aluminiowych wiąże się z wieloma zmiennymi czynnikami, na które można wpływać, aby ten proces optymalizować. Działania polegające na otrzymaniu powierzchni odpornych na korozję są pożądane i zawsze aktualne. W pracy przedstawiono wstępne badania wpływu wybranych parametrów procesu anodowania na grubość otrzymanej powłoki anodowej i na jej twardość. Wyniki wykonanych badań wskazują, że można dla określonej temperatury kąpeli oraz dla określonej gęstości prądu znacznie zwiększyć grubość powłoki anodowej i jej twardość, zwiększając tylko czas trwania tego procesu.

Słowa kluczowe: galwanotechnika, anodowanie

1. WPROWADZENIE

Anodowanie jest związane z jedną z powłok konwersyjnych i polega na wytworzeniu na powierzchni aluminium tlenku glinu. Wytworzona podczas tego procesu powłoka jest twardsza i bardziej odporna na korozję niż warstwa powstająca w sposób naturalny.

Jako materiał próbek wybrano stop aluminium EN AW-6060 charakteryzujący się dużą odpornością na korozję, średnią wytrzymałością na rozciąganie i średnią wytrzymałością zmęczeniową. Skład chemiczny tego gatunku materiału przedstawiono w tabeli 1. Badane próbki miały wymiary 30 x 10 x 100 mm. Celem badań było określenie wpływu czasu anodowania na grubość oraz twardość otrzymanych warstw. Do badania grubości warstw anodowanych użyto testera TOP CHECK przedstawionego na rysunku 1. Pomiarów twardości dokonano natomiast za pomocą twardościomierza firmy Łucznik z wykorzystaniem metody Rockwella skala B (rys. 2).

¹ inż. Anna PIOCHACZ, Zakład Obróbki Aluminium ZOBAL, Trzcianka k. Piły,
e-mail: ania.piochacz@gmail.com

² dr inż. Jarosław Robert MIKOŁAJCZYK, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. S. Staszica w Pile, e-mail: jmikolajczyk@pwsz.pila.pl



Rys. 1. Tester TOP CHECK do pomiaru grubości warstw anodowanych (fot. A. Piochacz)

Fig. 1. A device TOP CHECK for measuring thickness of anodized layers (photo by A. Piochacz)



Rys. 2. Twardościomierz firmy Łucznik (fot. A. Piochacz)

Fig. 2. A hardness meter produced by Łucznik (photo by A. Piochacz)

Tabela 1. Skład chemiczny stopu EN AW-6060 (na podstawie [8])

Table 1. The chemical composition of the alloy EN AW-6060 (according to [8])

Al [%]	Mg [%]	Si [%]	Fe [%]	Mn [%]	Zn [%]	Cr [%]	Ti [%]	Cu [%]	inne [%]
reszta	0,35÷0,6	0,3÷0,6	0,1÷0,3	max 0,1	max 0,15	max 0,05	max 0,1	max 0,1	max 0,05

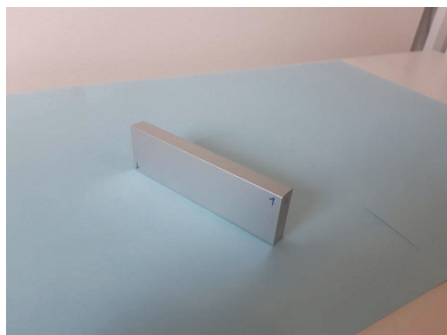
gdzie: Al – glin, Mg – magnez, Si – krzem, Fe – żelazo, Mn – mangan, Zn – cynk, Cr – chrom, Ti – tytan, Cu – miedź.

Do przeprowadzenia badań przygotowano 13 numerowanych próbek (w celu ich dalszej identyfikacji), które poddano następującym procesom:

- odtłuszczaniu, trawieniu, płukaniu (próbki o numerach 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11 oraz 13);
- odtłuszczaniu, szczotkowaniu, płukaniu (próbka o numerze 10);
- odtłuszczaniu, polerowaniu, płukaniu (próbka o numerze 12).

Próbka o numerze 3 jest materiałem w stanie surowym (oznaczona jako próbka wzorcowa „s”).

Z ww. zbioru próbek tylko cztery próbki były anodowane w identycznych warunkach dotyczących temperatury kąpeli oraz wartości gęstości prądu. Były to próbki o numerach 1, 4, 5, 6. Parametrem zmiennym dla wymienionych próbek był tylko czas anodowania. Zmierzone grubości tak otrzymanych powłok przedstawiono w tabeli 2. Temperatura kąpeli dla tych próbek wynosiła $+18^{\circ}\text{C}$, natomiast gęstość prądu $1,2 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$. Czas trwania procesu anodowania dla badanych próbek przedstawiono w tabeli 2. Fotografie poszczególnych próbek zaprezentowano na rysunkach 3–6. Pozostałe próbki miały inne zmienne parametry, np. gęstość prądu, dlatego nie ujęto ich w analizie.



Rys. 3. Próbka numer 1 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)

Fig. 3. Sample no. 1 after anodizing (photo by A. Piochacz)



Rys. 4. Próbka numer 4 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)

Fig. 4. Sample no. 4 after anodizing (photo by A. Piochacz)



Rys. 5. Próbka numer 5 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)

Fig. 5. Sample no. 5 after anodizing (photo by A. Piochacz)



Rys. 6. Próbka numer 6 po procesie anodowania (fot. A. Piochacz)

Fig. 6. Sample no. 6 after anodizing (photo by A. Piochacz)

Tabela 2. Czasy trwania procesu anodowania w min dla poszczególnych próbek

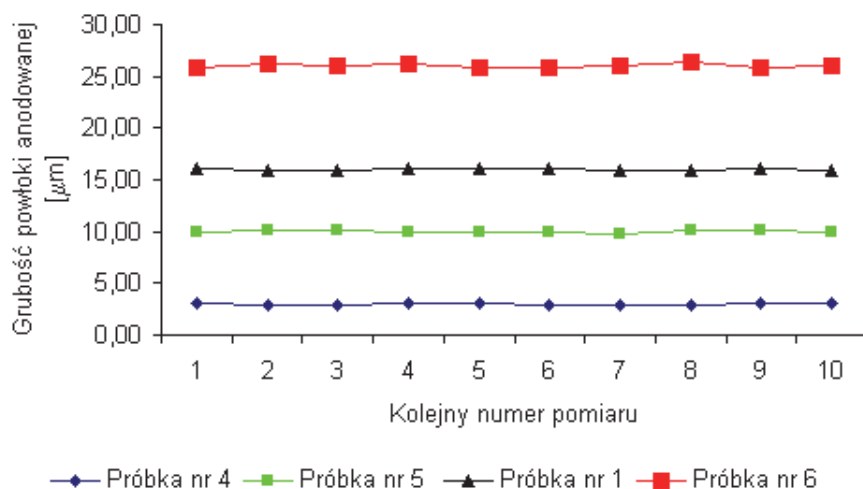
Table 2. Duration of the anodizing process in min for individual samples

Nr próbki	Czas procesu anodowania min
1	40
4	10
5	30
6	54

2. WYNIKI BADAŃ

Przedstawione poniżej wyniki badań dotyczą próbek opisanych numerami: 1, 4, 5 i 6, które stanowią część szerszych badań odnoszących się do wpływu wybranych parametrów procesu anodowania na m.in. strukturę geometryczną powierzchni. Badania te nie zostały ujęte w prezentowanym opracowaniu.

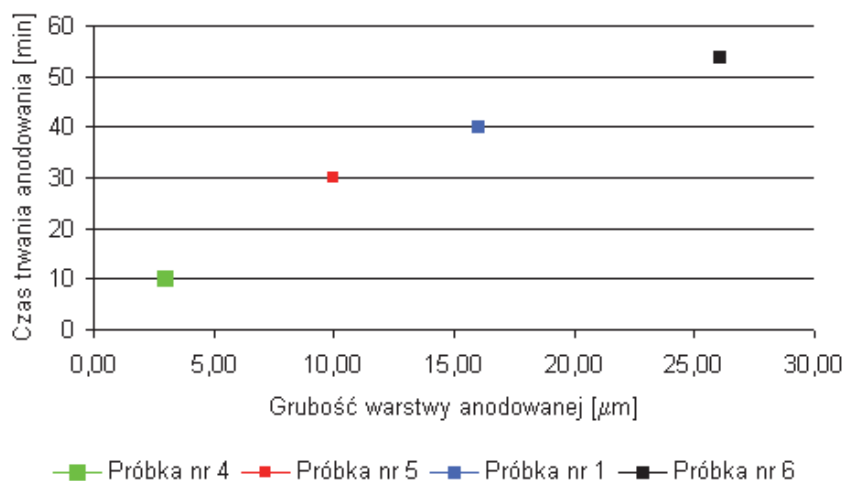
Poniżej przedstawiono otrzymane w czasie przeprowadzania ww. badań wyniki, przy czym na rysunku 7 zaprezentowano zmierzone grubości powłoki anodowanej dla badanych próbek.



Rys. 7. Zależność grubości otrzymanej powłoki anodowej od czasu trwania procesu anodowania. Parametry stałe: temperatura kąpiel $+18^{\circ}\text{C}$, gęstość prądu podczas anodowania $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$. Próbka nr 4 (10 min); próbka nr 5 (30 min), próbka nr 1 (40 min), próbka nr 6 (54 min)

Fig. 7. Dependence of the thickness of the obtained anodic coating on the duration of the anodizing process. Fixed parameters: bath temperature $+18^{\circ}\text{C}$, current density during anodizing $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$. Sample no. 4 (10 min), sample no. 5 (30 min), sample no. 1 (40 min), sample no. 6 (54 min)

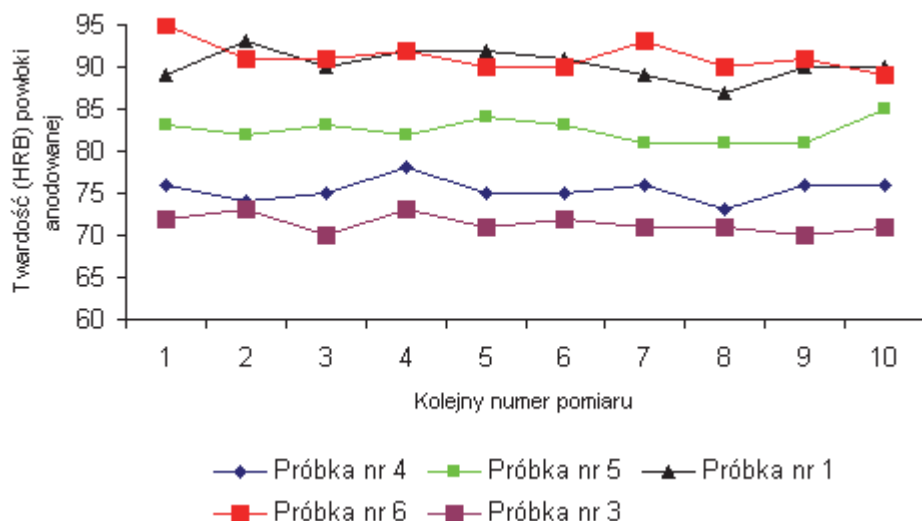
Dla zmierzonych grubości warstw anodowanych obliczono wartości średnie dla poszczególnych próbek, a następnie sporządzono wykres zależności średniej grubości otrzymanej powłoki od czasu trwania procesu anodowania, który przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Zależność średnich grubości powłoki anodowanej od czasu trwania procesu anodowania dla stałej temperatury kąpiel $+18^{\circ}\text{C}$ oraz stałego natężenia gęstości prądu $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

Fig. 8. Dependence of the average thickness of the anodized coating on the duration of the anodizing process for a fixed bath temperature $+18^{\circ}\text{C}$ and a fixed current density $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

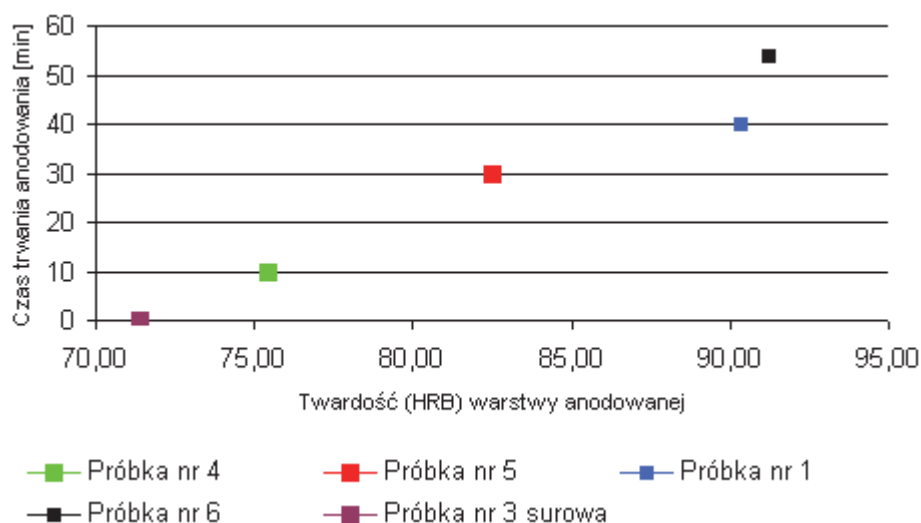
Jako ostatni etap badań był wykonany pomiar twardości powłok anodowych dla poszczególnych próbek, na podstawie którego zbudowano wykres zależności twardości powłoki od czasu trwania procesu anodowania (rys. 9).



Rys. 9. Zależność twardości (HRB) otrzymanej powłoki anodowej od czasu trwania procesu anodowania. Parametry stałe: temperatura kąpeli $+18^{\circ}\text{C}$, gęstość prądu podczas anodowania $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$. Próbka nr 3 (surowa „s” bez warstwy anodowanej); próbka nr 4 (10 min); próbka nr 5 (30 min); próbka nr 1 (40 min); próbka nr 6 (54 min)

Fig. 9. Dependence of hardness (HRB) of the obtained anodic coating on the duration of the anodizing process. Fixed parameters: bath temperature $+18^{\circ}\text{C}$, current density during anodizing $1.2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$. Sample no. 3 (raw "s" without an anodized layer); sample no. 4 (10 min); sample no. 5 (30 min); sample no. 1 (40 min); sample no. 6 (54 min)

Dla zmierzonych twardości warstw anodowanych obliczono wartości średnie dla poszczególnych próbek, a następnie sporządzono wykres zależności średniej twardości otrzymanej powłoki od czasu trwania procesu anodowania, który przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Zależność średnich twardości powłoki anodowanej od czasu trwania procesu anodowania dla stałej temperatury kąpeli $+18^{\circ}\text{C}$ oraz stałego natężenia gęstości prądu $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

Fig. 10. Dependence of the average hardness of the anodized coating on the duration of the anodizing process for a fixed bath temperature $+18^{\circ}\text{C}$ and a fixed current density $1,2 \text{ A}\cdot\text{dcm}^{-2}$

3. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona doświadczalna weryfikacja czynnika badanego, jakim był czas trwania procesu anodowania przy stałej temperaturze kąpeli i stałej gęstości prądu, wykazała wpływ tego czynnika na grubość oraz twardość otrzymanej powłoki anodowej. Zwiększenie czasu anodowania z 10 do 54 minut powoduje aż ok. 9-krotny wzrost grubości powłoki anodowej (z 3 do $26 \mu\text{m}$). Wraz z grubością otrzymanej powłoki wzrasta również jej twardość, jednak już w znacznie mniejszym stopniu z 75,4 HRB (dla czasu 10 minut) do 91,20 HRB (dla czasu 54 minut), czyli następuje wzrost twardości o ok. 27,7%.

W celu określenia wpływu innych czynników, np. zastosowania szczotkowania, na proces anodowania konieczne są dalsze badania w tym kierunku.

W wyniku anodowego utleniania aluminium powstająca warstwa tlenkowa, jak podano w pracy [5], składa się z dwóch zasadniczych części:

- pierwsza z nich jest cienka, gęsta i nieporowata o grubości od 0,5 do 2% całkowitej grubości warstwy;
- druga część jest porowata, ma mniejszą gęstość i mniejszą oporność elektryczną.

Na podstawie zaprezentowanych badań stwierdzono wzrost twardości warstwy anodowanej w zależności od czasu trwania procesu anodowania. Trudno jednak określić, czy przyczyną ww. wzrostu twardości była zmiana (zwiększenie) grubości pierwszej (licząc od podłoża) cienkiej, gęstej i nieporowatej warstewki tlenkowej, ponieważ badania nie obejmowały tego aspektu.

Badania twardości przedstawione w pracy ze względów praktycznych dotyczyły warstwy wierzchniej elementów (próbek). Konwencjonalne metody pomiaru twardości (metody: Brinnella lub Vickersa) powłok anodowanych w ich normalnym wykonaniu nie nadają się do tego celu, gdyż powstające w wyniku badania wgłębienia są najczęściej wielokrotnie większe niż grubość samej powłoki. Tymczasem pomiary makro- i mikrotwardości bardzo często różnią się znacznie od siebie w zależności od np. miejsca pomiaru (inna jest twardość na powierzchni pojedynczego kryształu metalu, a inna na granicy ziaren) [4].

LITERATURA

- [1] BIESTEK T., WEBER J.: Powłoki konwersyjne. Państwowe Wydawnictwo Techniczne Warszawa, 1968.
- [2] MIKOŁAJCZYK J.R.: Tribotestery. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica w Pile, 2019.
- [3] MIKOŁAJCZYK J.R.: Maszyny tarciove. Budowa, przeznaczenie. Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. S. Staszica w Pile, 2018.
- [4] POKRASEN A.: Pokrycia ochronne i dekoracyjne. Państwowe Wydawnictwo Techniczne Warszawa, 1959.
- [5] POSMYK A.: Kształtowanie właściwości tribologicznych warstw wierzchnich tworzyw na bazie aluminium. Politechnika Śląska Gliwice, 2002.
- [6] Praca zbiorowa: Galwanotechnika. Zagadnienia podstawowe. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 1963.
- [7] Praca zbiorowa: Poradnik galwanotechnika. Państwowe Wydawnictwa Techniczne Warszawa, 1961.
- [8] www.demet.pl

INFLUENCE OF ALUMINIUM TYPE EN AW-6060 ANODIZING PROCESS DURATION ON THE THICKNESS AND HARDNESS OF THE OBTAINED LAYER

Summary: The process of aluminum surface anodizing carries many variable factors that can be influenced to optimize this process. Efforts to obtain surfaces resistant to corrosion are desirable and always up to date. Preliminary studies on the influence of selected parameters of the anodizing process on the thickness of the anodic coating obtained and on its hardness are presented. The tests carried out show that for a given bath temperature and for a specific current density, it is possible to significantly increase the thickness of the anodic coating and its hardness, increasing only the duration of the process.

Key words: electroplating, anodizing

Małgorzata SŁOMION, Maciej MATUSZEWSKI, Piotr SZKODZIŃSKI

ANALIZA ZUŻYCIA ELEMENTÓW MŁYNA WĘGLOWEGO W ZALEŻNOŚCI OD JAKOŚCI PALIWA

Streszczenie: Przemysł energetyczny wykorzystuje różne typy młynów węglowych, które są często modyfikowane w celu uzyskania m.in. drobno zmielonego pyłu o konsystencji pudru, odpowiedniej wentylacji oraz redukcji zużycia energii, a także ograniczenia zużywania się elementów mielących. Ze względu na dużą awaryjność tych urządzeń niezbędne stają się: poprawna regulacja, staranna obsługa i dobór właściwego paliwa. Celem badań jest analiza zużywania się elementów młyna węglowego w zależności od jakości stosowanego węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: młyny węglowe, zużycie, węgiel kamienny

1. WPROWADZENIE

Młyny węglowe w przemyśle energetycznym wykorzystuje się do mielenia węgla. Węgiel palony jest w kotłach, jednak nie w postaci, w jakiej wydobywany jest w kopalni, tylko w formie zmielonego, drobnego pyłu o konsystencji pudru. Elementy młyna, takie jak stalowe kule czy łopatki wentylatora (zależne od rodzaju węgla, tj. węgla kamiennego czy brunatnego), rozdrabniają i mielą węgiel. Wentylator w młynie tłoczy gorące powietrze, które umożliwia transport pyłu węglowego do samej komory paleniskowej kotła, a także pozwala na wstępne osuszenie węgla [7].

Młyn wentylatorowy to młyn samowentylujący, który bez oddzielnego wentylatora zasysa odpowiednią ilość czynnika suszącego (spaliny, powietrze) i transportuje mieszaninę pyłowo-gazową przez odsiewacz, rurociąg i palniki do komorowy paleniskowej kotła. Węgiel wraz z czynnikiem suszącym wprowadzany jest osiowo do jednostronnie otwartego koła bijakowego, obracającego się w spiralnie ukształtowanym korpusie i miele węgiel przez uderzenie i ścieranie. Do suszenia węgla młyn zasysa gorący czynnik, czyli powietrze lub spaliny z górnej części komory paleniskowej kotła. Czynnik suszący, stykając się w kanale dolotowym z mokrym węglem, powoduje jego wstępne podsuszanie. W celu regulacji temperatury do kanału dolotowego doprowadzone są spaliny recyrkulacyjne oraz gorące i zimne powietrze [2–6].

Młyn węglowy stanowi jedno z najbardziej awaryjnych urządzeń systemu energetycznego zasilanego węglem. Wymaga nie tylko poprawnej regulacji, ale również doboru odpowiedniego paliwa oraz starannej obsługi. Elementy młyna

¹ mgr inż. Małgorzata SŁOMION, UTP Bydgoszcz, e-mail: malgorzata.slomion@utp.edu.pl

² dr hab. inż. Maciej MATUSZEWSKI, UTP Bydgoszcz, e-mail: matus@utp.edu.pl

³ inż. Piotr SZKODZIŃSKI, UTP Bydgoszcz, e-mail: piotr.szкодzinski@gkpgc.pl

podlegają intensywnemu zużyciu, co często prowadzi do utraty zdolności eksploatacyjnej młyna. W pracy podjęto analizę zużycia się elementów młyna węglowego w zależności od jakości węgla kamiennego [4–6].

2. PRZEDMIOT BADAŃ

2.1. Charakterystyka badanego węgla

Ocenę zużycia się wybranych elementów młyna przeprowadzono na podstawie badań dwóch rodzajów węgla kamiennego. W celu wyznaczenia wartości parametrów węgla wykonano analizę składu chemicznego próbek pobranych z dwóch składowisk (rys. 1, 2) przy Elektrociepłowni w Toruniu.



Rys. 1. Składowisko węgla kamiennego nr 1 (fot. autor)

Fig. 1. Hard coal storage site no. 1 (photo by author)



Rys. 2. Składowisko węgla kamiennego nr 2 (fot. autor)

Fig. 2. Hard coal storage site no. 2 (photo by author)

Tabele 1 oraz 2 zawierają odpowiednio wartości badanych parametrów węgla kamiennego oraz sprawozdanie z badania węgla pobranego ze składowiska nr 1, natomiast w tabelach 3 i 4 wyniki przedstawiono analogicznie dla składowiska nr 2.

Tabela 1. Wartości badanych parametrów węgla kamiennego – składowisko nr 1 (opracowanie własne)
Table 1. Values of tested hard coal parameters – coal storage site no. 1 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Stan suchy
Wilgoć przemijająca	%		5,5	
Wilgoć analityczna	%	2,9		
Wilgoć higroskopijna	%	2,8		
Wilgoć całkowita	%		8,1	
Zawartość popiołu	%	12,4	11,7	12,8
Zawartość siarki całkowitej	%	0,54	0,51	0,56
Zawartość siarki w popiele	%	1,63		
Zawartość siarki popiołowej	%	0,20	0,19	
Zawartość siarki palnej	%	0,34	0,32	
Przelicznik do oznaczania siarki	g·l ⁻¹	0,08		
Zawartość węgla całkowitego	%	72,30	68,43	74,46
Różnica ciężaru drucika po spaleniu	g			
Pojemność cieplna kalorymetru	J·°C ⁻¹	8937		
		8932		
Naważka węgla do spalania	g	0,9981		
		0,9981		
Ciepło spalania odczytane z kalorymetru	kJ·kg ⁻¹	28620		
Zawartość wodoru	%	4,58		
Ciepło spalania	kJ·kg ⁻¹	28526		29378
Wartość opałowa w stanie analitycznym	kJ·kg ⁻¹	27455	25854	

Tabela 2. Sprawozdanie z badania węgla kamiennego – składowisko nr 1 (opracowanie własne)
Table 2. Hard coal test report – coal storage site no. 1 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Niepewność pomiaru	Podstawa wykonania badania
Wilgoć przemijająca ^{*)}	%	-	5,5	± 0,26	PN-80/G-04511
Wilgoć analityczna ^{*)}	%	2,9	-	± 0,23	PN-80/G-04511 pkt 2.4.1.7 a
Wilgoć higroskopijna ^{*)}	%	2,8	-	± 0,30	PN-80/G-04511
Wilgoć całkowita ^{*)}	%	-	8,1	± 0,95	PN-80/G-04511 pkt 2.3.1
Zawartość popiołu ^{*)}	%	12,4	11,7	± 0,16	PN-80/G-04512 + Az1:2002 pkt.2.4.1
Zawartość siarki całkowitej ^{*)}	%	0,54	0,51	± 0,05	PN-G-04584:2001
Zawartość siarki popiołowej ^{*)}	%	0,20	0,19	± 0,01	PN-G-04584:2001
Zawartość siarki palnej	%	0,34	0,32	-	PN-G-04584:2001
Zawartość węgla całkowitego ^{*)}	%	72,30	68,43	± 1,71	W09-LB-05.00 wyd 5: 19.09.2012 r.
Ciepło spalania ^{*)}	kJ·kg ⁻¹	28526	-	± 137	PN-81/G-04513
Wartość opałowa ^{*)}	kJ·kg ⁻¹	27455	25854	± 933	PN-81/G-04513

Uwagi:

1. Niepewność wyniku wyrażona jest niepewnością rozszerzoną oszacowaną dla metody badawczej dla przedziału ufności 95% i k = 2.

2. Metody badawcze oznaczone w tym sprawozdaniu symbolem ^{*)} posiadają akredytację PCA nr AB 1048.
Normy:

1) PN-80/G-04511 Oznaczenie zawartości wilgoci,

2) PN-80/G-04512 n+ Az:2002 Oznaczenie zawartości popiołu,

3) PN-81/G-04513 Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej,
zostały wycofane bez zastąpienia przez PKN.

Tabela 3. Wartości badanych parametrów węgla kamiennego – składowisko nr 2 (opracowanie własne)
Table 3. Values of tested hard coal parameters – coal storage site no. 2 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Stan suchy
Wilgoć przemijająca	%		11,7	
Wilgoć analityczna	%	2,7		
Wilgoć higroskopijna	%	2,9		
Wilgoć całkowita	%		19,4	
Zawartość popiołu	%	30,4	28,3	31,2
Zawartość siarki całkowitej	%	0,53	0,49	0,54
Zawartość siarki w popiele	%			
Zawartość siarki popiołowej	%			
Zawartość siarki palnej	%			
Przelicznik do oznaczania siarki	$\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$	0,08		
Zawartość węgla całkowitego	%	53,61	49,92	55,10
Różnica ciężaru drucika po spalaniu	g			
Pojemność cieplna kalorymetru	$\text{J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	8937		
		8937		
Naważka węgla do spalania	g	0,9990		
		0,9998		
Ciepło spalania odczytane z kalorymetru	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	21 729		
Zawartość wodoru	%	3,62		
Ciepło spalania	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	21646		22247
Wartość opałowa w stanie analitycznym	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	20790	19190	

Tabela 4. Sprawozdanie z badania węgla kamiennego – składowisko nr 2 (opracowanie własne)
Table 4. Hard coal test report – coal storage site no. 2 (own study)

Nazwa oznaczenia	Jednostka	Stan analityczny	Stan roboczy	Niepewność pomiaru	Podstawa wykonania badania
Wilgoć przemijająca *)	%	-	11,7	$\pm 0,31$	PN-80/G-04511
Wilgoć analityczna *)	%	2,7	-	$\pm 0,21$	PN-80/G-04511 pkt 2.4.1.7 a
Wilgoć higroskopijna *)	%	2,9	-	$\pm 0,31$	PN-80/G-04511
Wilgoć całkowita *)	%	-	19,4	$\pm 1,10$	PN-80/G-04511 pkt 2.3.1
Zawartość popiołu *)	%	30,4	28,3	$\pm 0,38$	PN-80/G-04512 + Az1:2002 pkt.2.4.1
Zawartość siarki całkowitej *)	%	0,53	0,49	$\pm 0,04$	PN-G-04584:2001
Zawartość siarki popiołowej *)	%				PN-G-04584:2001
Zawartość siarki palnej	%			-	PN-G-04584:2001
Zawartość węgla całkowitego *)	%	53,61	49,92	$\pm 1,25$	W09-LB-05.00 wyd 5: 19.09.2012 r.
Ciepło spalania *)	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	21646	-	± 104	PN-81/G-04513
Wartość opałowa *)	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	20790	19190	± 693	PN-81/G-04513

Uwagi:

1. Niepewność wyniku wyrażona jest niepewnością rozszerzoną oszacowaną dla metody badawczej dla przedziału ufności 95% i $k = 2$.

2. Metody badawcze oznaczone w tym sprawozdaniu symbolem *) posiadają akredytację PCA nr AB 1048.

Normy:

1) PN-80/G-04511 Oznaczenie zawartości wilgoci,

2) PN-80/G-04512 n+ Az:2002 Oznaczenie zawartości popiołu,

3) PN-81/G-04513 Oznaczenie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej
zostały wycofane bez zastąpienia przez PKN.

Przeprowadzona analiza wykazała znaczne różnice wartości podstawowych parametrów próbek węgla pobranych ze składowiska nr 1 i ze składowiska nr 2, co przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Porównanie wartości podstawowych parametrów badanych węgla (opracowanie własne)
Table 5. Values comparison of the basic parameters of tested hard coals (own study)

Parametr	Jednostka	Próbka węgla – składowisko nr 1	Próbka węgla – składowisko nr 2
Wilgoć całkowita	%	8,1	19,4
Zawartość popiołu	%	11,7	28,3
Zawartość siarki całkowitej	%	0,51	0,49
Wartość opałowa	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	25854	19190

2.2. Charakterystyka badanych elementów młyna

W wyniku procesu kruszenia i mielenia węgla następuje ścieranie elementów mielących. Stopniowemu ścieraniu ulegają zarówno płyty koła bijakowego, jak i płaskowniki opancerzenia korpusu (płaskowniki progowe i obwodowe). Najintensywniej zużywają się płyty bijakowe, co wynika z dużej prędkości obwodowej bijaka, dynamicznego charakteru oddziaływań płyty z węglem oraz podwyższonej temperatury panującej w komorze młyna, tj. około 150°C .

Do przeprowadzenia analizy wybrano elementy opancerzenia młyna wentylatorowego MWk16 [1, 2]:

- a) płaskowniki obwodowe o wymiarach 100 x 40 x 692 mm z materiału ST3Sx i wadze 21,54 kg zamontowane w połowie wysokości korpusu młyna z jego prawej strony (rys. 3),
- b) płaskowniki progowe o wymiarach 150 x 60 x 692 mm z materiału 65G i wadze 47,74 kg, zamontowane w górnej części korpusu młyna nad kołem bijakowym (rys. 4).



Rys. 3. Płaskownik obwodowy młyna MWk16 (opracowanie własne)
Fig. 3. MWk16 coal mill peripheral flat bar (own study)



Rys. 4. Płaskownik progowy młyna MWk16 (opracowanie własne)

Fig. 4. MWk16 coal mill threshold flat bar (own study)

3. METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono dwukrotnie dla dwóch elementów młyna, tj. płaskowników progowych I i II oraz obwodowych I i II, przy przemiele węgla kamiennych o wartościach parametrów:

a) węgiel kamienny nr 1:

- wilgoć całkowita 8,1%,
- zawartość popiołu 11,7%,
- zawartość siarki całkowitej 0,51%,
- wartość opałowa $25854 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,

b) węgiel kamienny nr 2:

- wilgoć całkowita 19,4%,
- zawartość popiołu 28,3%,
- zawartość siarki całkowitej 0,49%,
- wartość opałowa $19190 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Płaskownik progowy I i płaskownik obwodowy I zamontowano w młynie do przemiału węgla kamiennego ze składowiska nr 1, natomiast płaskownik progowy II i płaskownik obwodowy II – do przemiału węgla kamiennego ze składowiska nr 2.

Ocenę zużywania się wytypowanych elementów młyna, w zależności od jakości paliwa, przeprowadzono na młynie Elektrociepłowni w Toruniu o oznaczeniu 2MW2 (młyn kotła WP120), który pracował ze stałym obciążeniem.

Wykonano pomiary zmian masy elementów młyna, podczas jego przeglądów okresowych, po przepracowanych: 300, 500, 700 i 900 godzinach. Po przepracowanych godzinach płaskowniki każdorazowo zdemontowano i zważono w celu określenia ubytku masy.

4. ANALIZA ZUŻYWANIA SIĘ ELEMENTÓW MŁYNA

Wyniki zmian masy uzyskane dla płaskowników progowych I i II, otrzymane po przepracowaniu 300, 500, 700 i 900 godzin dla węgla kamiennego ze składowiska pierwszego i drugiego przedstawiono w tabeli 6. Analogiczne wyniki przedstawiono dla płaskowników obwodowych I i II w tabeli 7.

Tabela 6. Zmiana masy płaskowników progowych (opracowanie własne)

Table 6. Threshold flat bar weight change (own study)

Liczba godzin pracy	Parametry		Jednostka	Węgiel kamienny	
				Składowisko nr 1	Składowisko nr 2
	Wilgoć całkowita		%	8,1	19,4
	Zawartość popiołu		%	11,7	28,3
	Zawartość siarki całkowitej		%	0,51	0,49
	Wartość opałowa		kJ·kg ⁻¹	25854	19190
	Płaskownik progowy I			Płaskownik progowy II	
	Masa elementu [kg]	Zmiana masy [%]		Masa elementu [kg]	Ubytek masy [%]
0	47,74	-	47,74	-	
300	43,03	9,87	40,31	15,56	
500	38,75	9,95	35,74	11,34	
700	35,47	8,46	32,45	9,21	
900	33,28	6,17	*	-	
* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika					

* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika

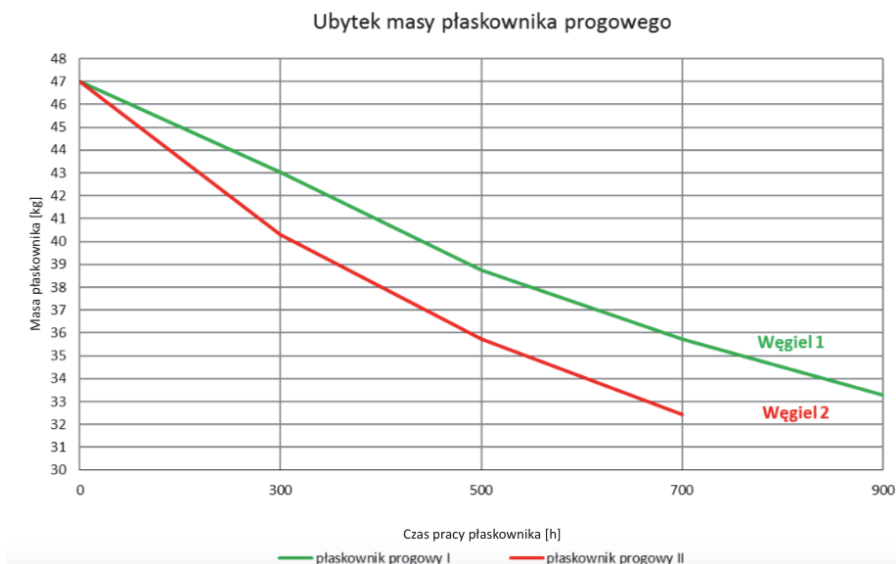
Tabela 7. Zmiana masy płaskowników obwodowych (opracowanie własne)

Table 7. Peripheral flat bar weight change (own study)

Liczba godzin pracy	Parametry		Jednostka	Węgiel kamienny	
				Składowisko nr 1	Składowisko nr 2
	Wilgoć całkowita		%	8,1	19,4
	Zawartość popiołu		%	11,7	28,3
	Zawartość siarki całkowitej		%	0,51	0,49
	Wartość opałowa		kJ·kg ⁻¹	25854	19190
	Płaskownik obwodowy I			Płaskownik obwodowy II	
	Masa elementu [kg]	Zmiana masy [%]	Masa elementu [kg]	Ubytek masy [%]	
0	21,54	-	21,54	-	
300	16,82	21,91	16,51	23,35	
500	16,04	4,64	15,45	6,42	
700	14,32	10,72	13,23	14,37	
900	13,28	7,26	*	-	
* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika					

* brak pomiaru masy ze względu na zbyt duże zużycie płaskownika

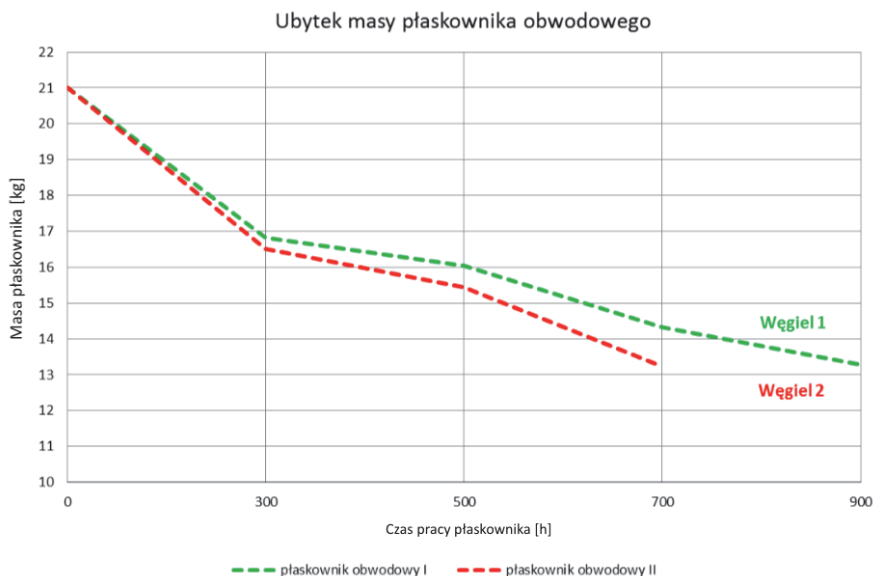
Na rysunku 5 przedstawiono zmianę masy płaskowników progowych I i II w zależności od liczby przepracowanych godzin oraz jakości węgla.



Rys. 5. Wykres zmiany masy płaskowników progowych I i II w zależności od przepracowanych godzin, po przemiele węgla kamiennego ze składowiska 1 i 2 (opracowanie własne)

Fig. 5. Graph of weight change of threshold flat bars I and II depending on hours worked, after hard coal milling from the storage site 1 and 2 (own study)

Na rysunku 6 przedstawiono zmianę masy płaskowników obwodowych I i II w zależności od liczby przepracowanych godzin oraz jakości węgla.



Rys. 6. Wykres zmiany masy płaskowników obwodowych I i II w zależności od przepracowanych godzin, po przemiele węgla kamiennego ze składowiska 1 i 2 (opracowanie własne)

Fig. 6. Graph of weight change of peripheral flat bars I and II depending on hours worked, after hard coal milling from the storage site 1 and 2 (own study)

Dla płaskownika progowego I o masie początkowej 47,74 kg po przepracowaniu 700 godzin, przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 zaobserwowano ubytek 12,27 kg masy, natomiast dla płaskownika progowego II – 15,29 kg, przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2. Z kolei ubytek masy płaskownika obwodowego I o masie początkowej 21,54 kg, po przepracowaniu 700 godzin, przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 wyniósł 7,22 kg, a płaskownika obwodowego II przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2 – 8,31 kg.

Zaobserwowano większe zużycie płaskownika progowego II i płaskownika obwodowego II przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2. Elementy młyna przy przemiele węgla ze składowiska nr 1 wykazały mniejszy ubytek masy niż w przypadku przemiału węgla ze składowiska nr 2. Po przepracowaniu przez młyn 700 godzin przy mieleniu węgla ze składowiska nr 2 konieczne było przeprowadzenie naprawy młyna ze względu na stopień zużycia elementów młyna, które uniemożliwiało jego dalszą pracę. Młyn mielący węgiel kamienny ze składowiska nr 1 przepracował 900 godzin bez konieczności wykonania napraw oraz wymiany badanych elementów młyna (płaskowników).

5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono analizę zużywania się wybranych elementów młyna węglowego przy przemiele dwóch różnych jakościowo węgla kamiennych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że po 700 godzinach pracy i przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 ubytek masy dla płaskownika progowego I wyniósł średnio 28%, natomiast dla płaskownika progowego II – węgiel kamienny ze składowiska 2 – wyniósł średnio 36% masy. Z kolei dla płaskownika obwodowego I po 700 godzinach pracy ubytek masy przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 1 wyniósł średnio 37%, a dla płaskownika obwodowego II – 44% przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2. Większe zużycie zaobserwowano dla płaskownika progowego II i płaskownika obwodowego II, czyli przy przemiele węgla kamiennego ze składowiska nr 2.

Po przepracowanych 700 godzinach młyna mielącego węgiel ze składowiska nr 2 niezbędne było przeprowadzenie jego naprawy ze względu na stopień zużycia elementów, które uniemożliwiało dalszą eksploatację. Elementy młyna mielącego węgiel kamienny ze składowiska nr 1 po przepracowaniu 900 godzin nie wymagały przeprowadzenia napraw oraz wymiany.

Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że jakość paliwa ma istotny wpływ na zużywanie się elementów młyna.

LITERATURA

- [1] DTR młyna wentylatorowego MWk-16. Aktualizacja DTR na zlecenie: Elektrociepłowni „Będzin” S.A. Mikołów, 2011.
- [2] Instrukcja eksploatacji młyna węglowego TYP: MWk16 EDF Toruń, 2014.
- [3] JAROSZEWICZ J., DRAGUN Ł.: Metody diagnostyki wibroakustycznej młynów węglowych wentylatorowych w Elektrociepłowni Białystok S.A. Energia w nauce i technice, Białystok, 2012, 43–54.

- [4] KORZUCH S., KURPANIK J., MAŁEK J., POSPOLITA J.: Wpływ zmiany liczby obrotów misy młyna węglowego na jego parametry eksploatacyjne. Aktualne problemy budowy i eksploatacji kotłów. Materiały IX Konferencji Kotłowej, t. 2, Szczyrk, 2002, 123–133.
- [5] MOROŃ J., BĘBENEK Z., ŻELKOWSKI J.: Podatność przemiałowa węgla i mieszanin węglowych. Energetyka 10, 2004, 613–617.
- [6] PARYS T.: Charakterystyki młynów wentylatorowych z różnymi typami odsiewaczy. Praca końcowa, studia podyplomowe Energetyka Ciepła, AGH Kraków, 2011/2012.
- [7] PAWLIK M., STRZELCZYK F.: Elektrownie. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa, 2009.

THE ANALYSIS OF COAL MILL ELEMENTS WEAR PROCESS DEPENDING ON THE FUEL QUALITY

Summary: The energy industry uses various types of coal mills, which are often modified to obtain, i.a. finely ground dust with a powder consistency, adequate ventilation and reduction of energy consumption, as well as to reduce the consumption of grinding elements. Due to the high failure rate of these devices, correct adjustment, careful operation and selection of the correct fuel becomes necessary. The purpose of the study is to analyze the wear of the coal mill elements depending on the quality of hard coal used.

Key words: coal mill, wear, hard coal

Lista recenzentów prac opublikowanych w numerach 11(6)2018 oraz 12(6)2018
Reviewers list publication published in issues 11(6)/2018 and 12(6)/2018

prof. dr hab. inż. Marek Bieliński	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Tomasz Buratowski	Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
dr hab. inż. Piotr Domanowski, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr inż. Jerzy Kaszkowiak	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Bogdan Ligaj, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Marek Macko, prof. UKW	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
dr hab. inż. Maciej Matuszewski, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Klaudiusz Migawa, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Janusz Musiał, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Łukasz Muślewski, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Dariusz Skibicki, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Dariusz Sykutera, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Grzegorz Szala, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr inż. Robert Święcik	Politechnika Łódzka
dr hab. inż. Andrzej Tomporowski, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. inż. Bogdan Żółtowski	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy