



Wydział
Mechaniczny
Instytut Inżynierii
Mechanicznej
ul. Szafrana 4
65-246 Zielona Góra

tel. (0-68) 328-22-73
sekretariat@iim.uz.zgora.pl

IIM
Instytut Inżynierii Mechanicznej



ISBN 978-83-959326-0-1



9 788395 932601

17

INŻYNIERIA

PRODUKCJI

*Badania
w inżynierii
mechanicznej*

Pod redakcją:
Juliana Jakubowskiego
Justyny Patalas-Maliszewskiej

ZiP

Uniwersytet Zielonogórski
Zielona Góra 2020

INŻYNIERIA PRODUKCJI

*Badania
w inżynierii mechanicznej*

Pod redakcją:
Juliana Jakubowskiego
Justyny Patalas-Maliszewskiej



Zielona Góra 2020

UNIwersytet Zielonogórski



Wydawnictwo Naukowe Instytutu Inżynierii Mechanicznej

IIM

Instytut Inżynierii Mechanicznej

Autorzy rozdziałów:

Rozdział 1: Andrej Liashok, Larisa Dyachkova, Eugene Feldshtein

Rozdział 2: Oliwia Wojtysiak, Maria Agnieszka Paszkowicz

Rozdział 3: Kamil Leksycki, Agnieszka Kaczmarek-Pawelska

Rozdział 4: Paweł Schlafka, Czesław Wawrzyniak, Mariusz Michalski,
Remigiusz Romankiewicz

Rozdział 5: Mariusz Michalski, Paweł Schlafka, Czesław Wawrzyniak,
Remigiusz Romankiewicz

Rozdział 6: Kamil Krzykała, Julian Jakubowski

Rozdział 7: Patrycja Falkiewicz, Justyna Patalas-Maliszewska

Redakcja naukowa: **Julian Jakubowski, Justyna Patalas-Maliszewska**

Recenzenci: **prof. Milan Edl, dr hab. inż. Grzegorz Bocewicz**

ISBN 978-83-959326-0-1



9 788395 932601

Spis treści

Przedmowa	5
Rozdział 1	
On the effect of the grade and content of graphite on the structure, strength and tribological behavior of friction materials based on tin bronze	7
<i>Andrej Liashok, Larisa Dyachkova, Eugene Feldshtein</i>	
Rozdział 2	
Wybrane aspekty kultury bezpieczeństwa w szkole wyższej w świetle badań empirycznych	19
<i>Oliwia Wojtysiak, Maria Agnieszka Paszkowicz</i>	
Rozdział 3	
Wpływ warunków chłodzenia NA potencjał korozyjny stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu wykończeniowym	35
<i>Kamil Leksycki, Agnieszka Kaczmarek-Pawelska</i>	
Rozdział 4	
Proces cięcia blach przy zastosowaniu noży krążkowych	41
<i>Paweł Schläfka, Czesław Wawrzyniak, Mariusz Michalski, Remigiusz Romankiewicz</i>	
Rozdział 5	
Ocena metalograficzna blaszanych pokryć dachowych profilowanych metodą na rąbek	63
<i>Mariusz Michalski, Paweł Schläfka, Czesław Wawrzyniak, Remigiusz Romankiewicz</i>	
Rozdział 6	
Redukcja kosztów procesu spawalniczego poprzez wdrożenie zmian technicznych i organizacyjnych	63
<i>Kamil Krzykała, Julian Jakubowski</i>	
Rozdział 7	
Ocena efektywności wdrożenia systemu klasy erp na przykładzie modułu logistyka ..	81
<i>Patrycja Falkiewicz, Justyna Patalas-Maliszewska</i>	
Bibliografia	91
Autorzy	97

PRZEDMOWA

Szanowni Państwo,

Zmiany widoczne na rynku wynikają obecnie nie tylko z szybkości rozwoju nowych technologii, ale również z konieczności dostosowania się do warunków funkcjonowania w czasie pandemii. Praca w znaczącym stopniu wykonywana jest zdalnie za pomocą technologii informatycznych, a komunikacja pomiędzy współpracownikami odbywa się w większości również w formie cyfrowej. Jednak, pomimo trudności w wykonywaniu pracy w trybie stacjonarnym, wciąż udaje się zachęcić młodych adeptów nauki (studentów, doktorantów) do prowadzenia prac badawczych, którzy skutecznie rozwiązują problemy inżynierii mechanicznej.

Oddajemy do rąk Państwa zbiór wyników badań prowadzonych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Są to przykłady pokazujące szerokość i różnorodność tematów badawczych prowadzonych w tej dyscyplinie. Pokazano przykłady rozwiązań problemów w perspektywie budowy i eksploatacji maszyn, mechaniki oraz inżynierii produkcji.

W rozdziale pierwszym zaprezentowano wyniki badań dotyczące wpływu gatunku i zawartości grafitu na strukturę, wytrzymałość i właściwości trybologiczne materiału ciernego na bazie brązu cynowego w warunkach tarcia granicznego. Wykazano, że przy większej zawartości grafitu, niezależnie od jego gatunku, liczba metalowych styków jest stała. Wytrzymałość materiału ciernego z grafitem PG (grafit ołówkowy) jest większa niż z grafitem EG (elementowy grafit), ze względu na większą powierzchnię styków metalowych w materiale. Wytrzymałość materiałów ciernych po spiekaniu i dodatkowym zagęszczaniu rośnie, podczas gdy wytrzymałość materiału z grafitem EG jest o 10-15% wyższa. Siła adhezji materiału ciernego do tarczy stalowej zależy od porowatości, wielkości porów materiału ciernego, gatunku i zawartości grafitu, ilości wprowadzonej do niego cyny oraz jej stanu po spiekaniu lub zagęszczaniu.

W kolejnej części zaprezentowano wybrane aspekty kultury bezpieczeństwa w szkole wyższej w świetle badań empirycznych. Przedstawiono opinie respondentów na temat stwierdzeń dotyczących wybranych aspektów kultury bezpieczeństwa, pogrupowanych w osiem modułów składowych. Przedstawiono również wnioski z przeprowadzonych analiz oraz rekomendacje mogące pomóc w podniesieniu poziomu kultury bezpieczeństwa w badanej Uczelni.

Następnie pokazano wpływ warunków chłodzenia na potencjał korozyjny stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu wykończeniowym. Zaprezentowano wyniki badań dotyczące wpływu warunków chłodzenia na potencjał korozyjny w symulowanym płynie fizjologicznym (SBF) stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu wykończeniowym. Toczenie przeprowadzono w warunkach chłodzenia na sucho, z emulsją i z zastosowaniem metody MQL. Badano próbki o minimalnych wartościach parametrów $Ra = 0,499-0,626 \mu m$. Ustalono, że warunki chłodzenia wpływają na potencjał korozyjny. W porównaniu do warunków obróbki z emulsją i z MQL obróbka na sucho zapewnia korzystniejsze właściwości ochronne warstwy wierzchniej.

W rozdziale czwartym pokazano proces cięcia blach przy zastosowaniu noży krążkowych oraz wyniki badań z montażu, demontażu, dokładności i szybkości ustawienia noży krążkowych na jakość cięcia blach stosowanych na pokrycia dachowe. Procesu cięcia przeprowadzono za pomocą noży krążkowych mocowanych na przekładki dystansowe i montowane w tulejach. Zastosowa-

nie nowego sposobu mocowania noży krążkowych pozwoli na zwiększenie wydajności linii technologicznej do procesu rozkroju blach.

W rozdziale piątym dokonano oceny metalograficznych blaszanych pokryć dachowych profilowanych metodą na rąbek. Przewiedziono wyniki badań mikroskopowych próbek profili blaszanych pokryć dachowych łączonych metodą na rąbek stojący. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że chociaż materiały podlegają znacznym odkształceniom plastycznym, nie wywołuje to powstawania nieciągłości w materiale. Ustalono także, iż w przypadku blachy Zn-Ti (pasywowanej) i blachy miedzianej, ze względu na występujące mikropęknięcia i rozwarstwienia w strefie zamka, należy kontynuować badania w kierunku doboru odpowiednich parametrów procesu kształtowania.

Kolejna część przedstawia możliwości redukcji kosztów procesu spawalniczego poprzez wdrożenie zmian technicznych i organizacyjnych. Zaprezentowano wyniki analiz dotyczących możliwości zmian w procesach organizacyjnych i technicznych w przedsiębiorstwie Sitech związanych z możliwościami zwiększenia produkcji.

W rozdziale siódmym zaprezentowano przykłady wskaźników do oceny efektywności wdrożenia systemu informatycznego klasy ERP, modułu logistyka w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Zaproponowano model oceny efektywności systemu ERP: (1) analiza wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego, (2) analiza wskaźników dla działu logistyka, (3) analiza efektów wdrożenia systemu, (4) analiza efektywności wdrożenia systemu informatycznego klasy ERP. Założony model został poddany weryfikacji w dziale logistyka w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Jak w każdym zeszycie w serii Inżynieria Produkcji, przedstawione wyniki prac badawczych mają charakter aplikacyjny, a ich autorami są młodzi badacze, którzy poszukują rozwiązań problemów badawczych w dyscyplinie: inżynieria mechaniczna.

Życzymy Państwu przyjemnej lektury.

ON THE EFFECT OF THE GRADE AND CONTENT OF GRAPHITE ON THE STRUCTURE, STRENGTH AND TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF FRICTION MATERIALS BASED ON TIN BRONZE

1. INTRODUCTION

Almost all machines and mechanisms, including automotive machinery, are equipped with friction units responsible for driving, stopping, maneuvering. The bases of these units are brake elements made of friction materials. For brake elements operating under boundary friction conditions, friction materials based on copper (bronze) are mainly used. To increase the physical-mechanical and tribological properties of these materials, additives with various functional purposes are introduced. As an additive that provides the necessary tribological properties, graphite powder is used.

Ma et al. [1] noted that for a powder material containing 5 wt. % graphite, an increase in the sliding speed leads to a sharp increase in the friction coefficient. Kato et al. [2] found that the use of graphite additives increases effectively the operational properties of antifriction materials. Ghorbani M. et al. [3] found that the introduction of 5.4% graphite into a copper-based material with tin additives increases effectively the antifriction and extreme pressure properties. The material works effectively while increasing the sliding speed. Kestursatya et al. [4] found that wear resistance of lead-free tin bronze containing 10% graphite is higher than that of tin bronze containing 18–22% lead at loads of 27–118 N, and the friction coefficients are almost the same, ~ 0.038. Sadykov et al. [5] investigated the friction surfaces of copper-based materials (CuAlFe bronze and CuZnPb brass). The results of research showed the effect of grain size, phase composition and texture of materials on their wear resistance. Prasad et al. [6] showed that there is no direct correlation between mechanical properties (hardness, tensile strength and elongation) and wear resistance of samples. It is indicated that the structure of the friction surface of the contacting materials is determined by the load and sliding speed. Rajkumar et al. [7] noted that a material with a content of 5–10% graphite has increased wear resistance and the morphology of the friction surface depends of its composition. In Ilyushchenko et al. investigations [8–9] carbon was added into tin bronze to achieve necessary tribological properties (increased seizure pressure, reduced wear rate), since porous bronze does not have the necessary level of these characteristics due to its high ductility and low thermal conductivity. Tarasik [10–12] when developing friction materials paid the greatest attention to achieve stabilization and required level of friction

coefficient for the minimum friction interaction time, which determines the performance of the friction material.

At the same time, in our opinion, the performance of the friction material also depends on a number of other material characteristics, such as the thermal conductivity necessary to remove heat from the friction zone, porosity, which determines the presence of the required amount of lubricant, strength and hardness, necessary to prevent plastic deformation. However, studies of the influence of these characteristics on the performance of friction material are practically absent. There is also no data on the effect of the composition and structure of the powder friction layer on the adhesion with a steel base, while this factor is also an important characteristic that determines the operational properties and service life of the friction disk and the friction assembly as a whole. Such data are given mainly for antifriction materials operating in conditions that are fundamentally different from friction materials, and therefore they cannot be used to develop friction materials. The literature also lacks data on the influence of the grade and content of graphite on the strength and tribological properties of the friction material. The aim of this study is to study the influence of the grade and content of graphite powder on compressive strength, friction coefficient and wear rate under conditions of boundary friction for friction materials based on tin bronze.

2. EXPERIMENTAL

Friction materials were produced by free filling on DIN 66Mn4 steel disk with subsequent additional compacting. The relative density of the material after that processing was 80%.

Electrolytic copper powder with an average particle size of 70 μm , atomized tin powder with an average particle size of 40 μm , and natural graphite powder (PG) with an average particle size of 10 μm as well as elemental graphite powder (EG) with an average particle size of 100 μm were used as the starting powders. The particle shape of graphite powders is shown in Fig. 1.

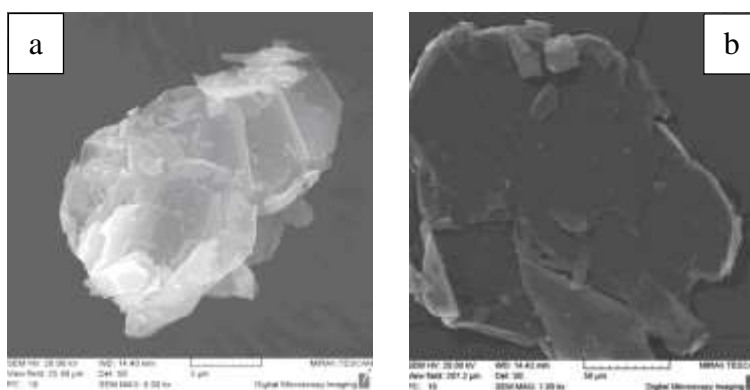


Fig. 1. The shape of graphite particles: a) PG; b) EG

The tin was introduced with an amount of 12 wt. % and graphite with an amount of 10, 20, 30, 40, 50 vol. %. The copper, tin and graphite powders mixed in a mixer of “drunken barrel” type for 2 h.

When producing friction materials, the mixture was pour using a special device with a 2 mm thick layer onto a steel disk, previously coated galvanically with a copper layer of 10–15 μm thickness. Friction materials were preliminarily sintered in a conveyor furnace in the environment of dissociated ammonia at a temperature of 840 °C for 30 min, after which they were compacted with a pressure of 200 MPa. Then these materials were sintered under the conditions described above under the pressure of 0.2 MPa. The temperature of the friction materials sintering was chosen basing on the condition of the liquid phase absence, but to ensure satisfactory strength of the friction material itself and the strength of its connection with the steel substrate.

The structures were studied using an MEF-3 optical microscope (Austria) and a MIRA high-resolution scanning electron microscope (Czech Republic) with an INCA 350 X-ray spectral attachment from Oxford Instruments (Great Britain). The samples were tested in unetched condition on the cross section perpendicular to the layer deposited. The strength of the powder layer was determined by compression testing of samples with a height of 20 mm, a width and a length of 15 mm using a Tinius Olsen H150K-U testing machine with a loading speed of 2 mm/min.

The essence of the tribological testing method was a study of the braking process using the IM-58 inertial unit in the environment of A grade oil by registering changes of the friction force moments depending on the speed and time of braking [13]. Tests were carried out using disk-on-disk method. Materials tested disks were used as a samples and DIN 66Mn4 steel disks were used as counter-bodies. The coefficient of friction and wear values were fixed after 500 test cycles. The measurement of samples wear was carried out using a micrometer MK 25-1.

The friction tests were carried out under the following conditions: initial braking speed of 19 m/s; the specific load of 0.85 MPa; the moment of fly masses inertia equal 0.56 N·m·s²; friction work equal 27.5 kJ and the overlap coefficient equal 0.29.

3. RESULTS OF THE RESEARCH

3.1 The structure of the friction material

The study of the friction materials structures showed that the area of metal contact between the copper particles depends on the content and grade of graphite introduced into the material. When the graphite content is less than 40 vol. %, in the case of the introduction of PG graphite the number of metal contacts is much smaller in comparison with the introduction of EG graphite (Fig. 2 a), since it is uniformly distributed in the copper matrix and prevents its sintering (Fig. 2 b).

EG graphite particles occupy a significantly larger area in the friction material (Fig. 2 a), but are distributed unevenly in the copper base, for the reason that the interparticles contact area in the copper phase is larger.

With a graphite content of more than 40 vol. %, regardless of its brand, the number of metal contacts is the same.

Various porosity and pore sizes are formed when free filling, depending on the graphite grade. In the case of EG using, the pore sizes were of 15–16 μm , and for PG the pore sizes were of 12–13 μm .

When the graphite content in the material is less than 20 vol. %, metal contacts with a length of 1.5 to 30 μm predominantly take place in the copper phase (Fig. 3). This, as will be shown below, affects the strength of the friction material itself and the strength of its adhesion to the steel disk.

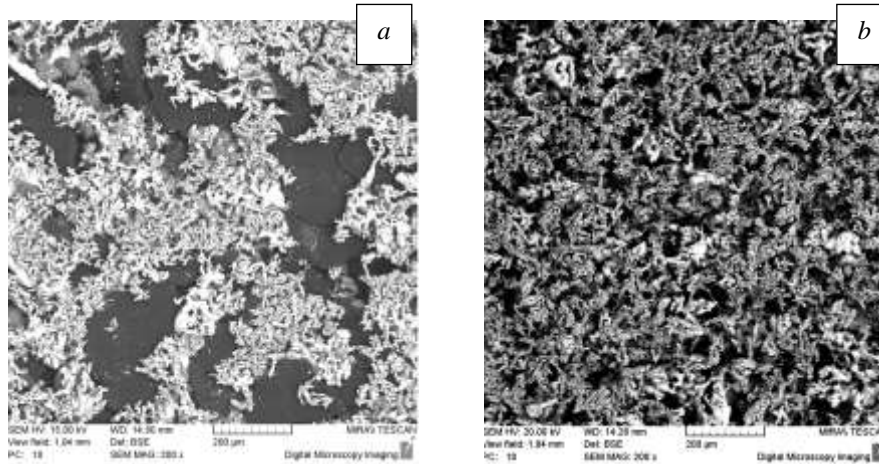


Fig. 2. Structures of loosely packed friction materials with graphite of various grades:

a) EG; b) PG

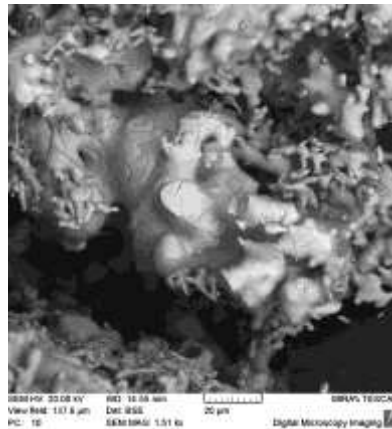


Fig. 3. The fracture surface of a friction material contained 20 wt. % of EG graphite sintered at a temperature of 840 $^{\circ}\text{C}$ during 30 min

When the friction layer is compacted and then sintered for 3 hours, the porosity decreases, but in the material with EG graphite it is 10–12% higher (Fig. 4). During

sintering in the material with EG graphite, the morphology of the structure does not change. However, due to diffusion and recrystallization when sintering, the formation of the copper phase with reduced porosity occurs (Fig. 4 a).

Despite a significantly smaller number of metal contacts in a free filling layer of friction material with PG graphite addition when sintering, due to the specific distribution of graphite particles, the area of metal contacts in the copper phase is significantly larger (Fig. 4 b).

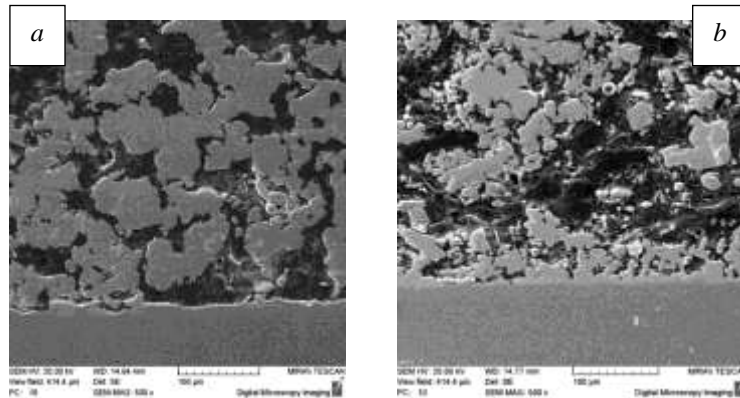


Fig. 4. Structures of compacted friction material with various grades of graphite and a contact zone with a galvanic layer of copper on a steel disk: a) EG; b) PG

3.2 The strength of the friction material

The strength of the friction materials depends significantly on the grade of introduced graphite and is determined by the number of metal contacts in the material. The area of metal contacts in the material with the addition of PG graphite increases during sintering more significantly in comparison with the addition of EG graphite and compressive strength is higher. With content of the EG graphite of 10 wt. % compressive strength after preliminary sintering is equal 58 MPa (Fig. 5). At the same content of PG graphite, the compressive strength is equal 55 MPa.

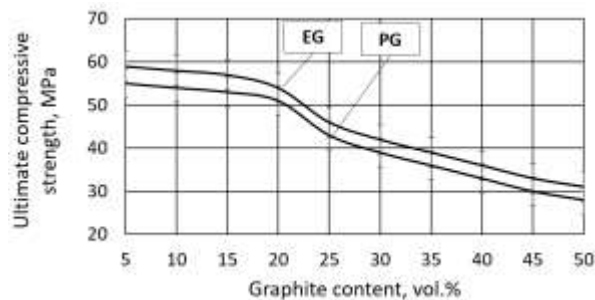


Fig. 5. The influence of grade and content of graphite on the compressive strength after preliminary sintering at a temperature of 840 °C during 30 minutes

The sintered friction material strength increases when its compacting. The compressive strength of the material with the addition of EG graphite is 10–15% higher in comparison with PG addition (Fig. 6). During compacting, graphite particles behave as an incompressible phase, preventing the deformation of the copper phase. This explains the dependence of the strength of the compacted material on the grade of graphite. EG graphite particles are distributed in the material less uniformly and occupy a smaller area, providing significantly less resistance during compaction than smaller and evenly distributed PG graphite particles. In addition, PG graphite particles are located mainly along the grain boundaries in copper particles, weakening them, and EG graphite particles are located along the boundaries of the copper phase particles.

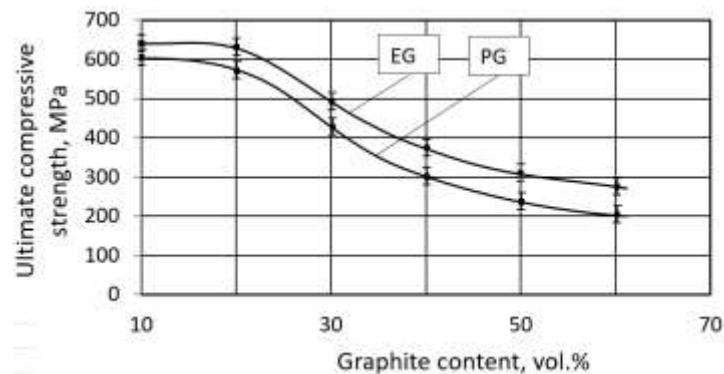


Fig. 6. The influence of the grade and content of graphite on the compressive strength of the friction material after preliminary sintering with a temperature of 750 °C within 30 min (a) and compacting to porosity of 2%

3.3 The adhesion strength of the friction material with a steel base

A number of factors influence on the adhesion strength of the friction material with the steel base: porosity and pore size of the freely poured layer, grade and content of graphite, amount of tin introduced, condition of the friction material after sintering or compacting.

In the free filling material with EG graphite, the pore size is of 15–16 μm and with PG graphite the pore size is of 12–13 μm . Therefore, tin particles smaller than 10 μm can wake up to the surface of the steel disk. In the case of a material with EG graphite, the amount of tin on a steel disk is significantly greater than with PG graphite. When using EG graphite, the tin content on the steel surface was of 8%, and when using PG graphite it was of 4%. During sintering, tin particles interact with a copper coating on steel disk, increasing the contact area (Fig. 7 a), as well as strengthening the copper phase of the friction material in the area adjacent to the contact zone. In the process of sintering, the contact zone grows (Fig. 7 b, c).

With an increase of tin content in the friction material to 15%, significant volumetric changes occur during sintering, leading to the destruction of the material (Fig. 8 a) and its detachment from the steel disk (Fig. 8 b).

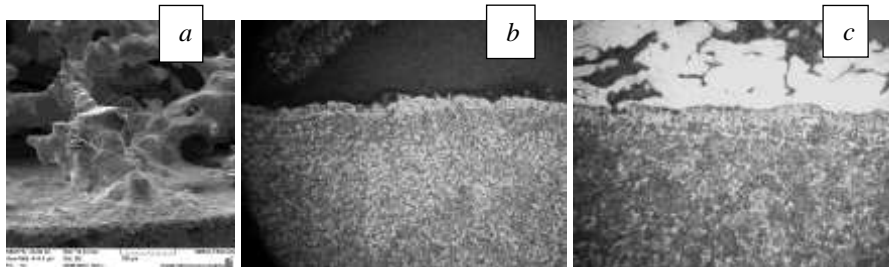


Fig. 7. The structure of the transition layer between the friction material and the steel substrate: a – SEM fixing copper particles to a steel base with EG; b, c – metallographic image; b – PG; c – EG

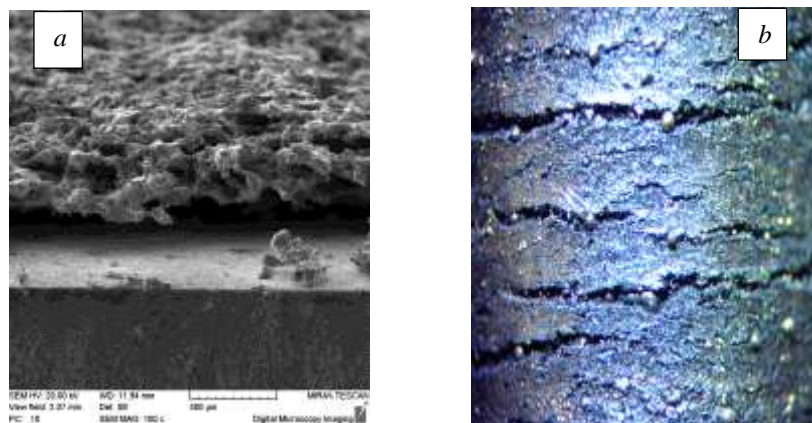


Fig. 8. Morphology of contact zone of friction material contained 15% of tin with steel substrate (a) and cracks in friction material (b)

3.4 Tribological properties of the friction material

Friction materials are assigned to provide braking in friction units; therefore, they should have a relatively high coefficient of friction and wear resistance. This is achieved by the introduction of graphite and other additives.

In a friction material based on copper, the friction coefficient changed both with increasing graphite content and with a change in its grade. The coefficient of friction of a material with EG graphite is higher than with PG graphite (Fig. 9 a).

Values of coefficient of friction of the friction material with EG graphite are higher due to larger contact area of the metal component, as well as due to orientation of the graphite particles regarding to the friction surface. Larger graphite particles can be located parallel (Fig. 10 a), obliquely (Fig. 10 b) or perpendicularly (Fig. 10 c) to the friction surface. In the process of frictional interaction, they can be destroyed both due to

the stratification of individual hexagonal planes and the chipping of particles in planes perpendicular to hexagonal planes, changing the wear mechanism of the material.

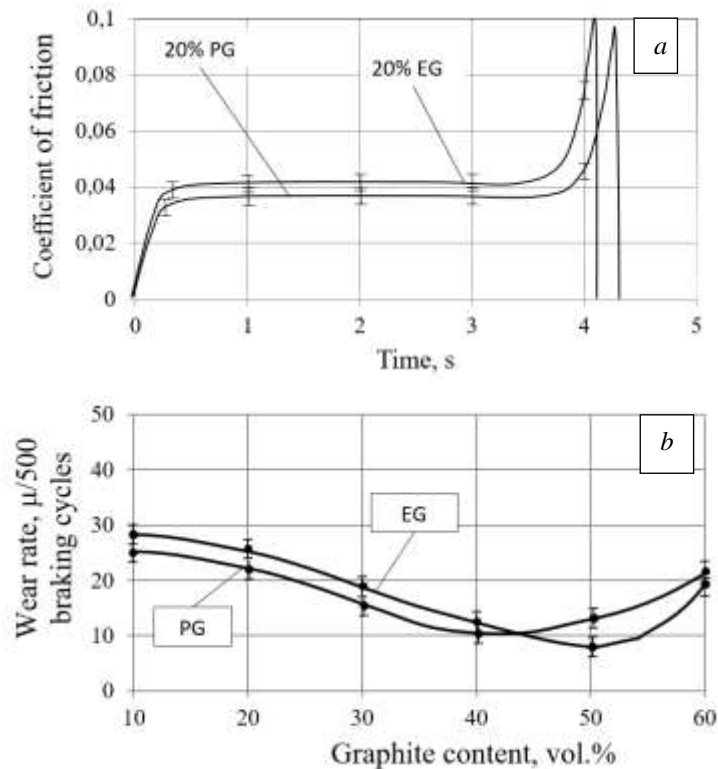


Fig. 9. The influence of the graphite grade and its content on the tribological properties of the copper-based materials: a) the coefficient of friction; b) wear rate

PG graphite particles are smaller and don't increase the coefficient of friction so significantly. In the process of wear, the PG graphite particles are broken down layer by layer (Fig. 10 d), the width of which is of 1.5–3 μm .

The wear rate of the friction material, as well as the coefficient of friction, depends both on the grade of graphite and on its content, as shown in Fig. 9). With increasing of EG graphite content up to 50 vol. % and PG grade up to 40 vol. %, wear rate increases by 2.5–3 times. When the graphite content is less than 40 vol. % more wear is observed for material with graphite grade PG, more than 40 vol. % – with graphite grade EG.

Besides the coefficient of friction and wear rate of friction material, it is important to reduce the running-in period. This characteristic is connected to the formation of the optimal geometry of the friction surfaces under operating conditions tested.

During friction, until the geometry of the contact surface hasn't been formed yet, the friction coefficient is equal 1.2–1.5 times higher (Fig. 11), and after running-in, the friction coefficient become stabilized.

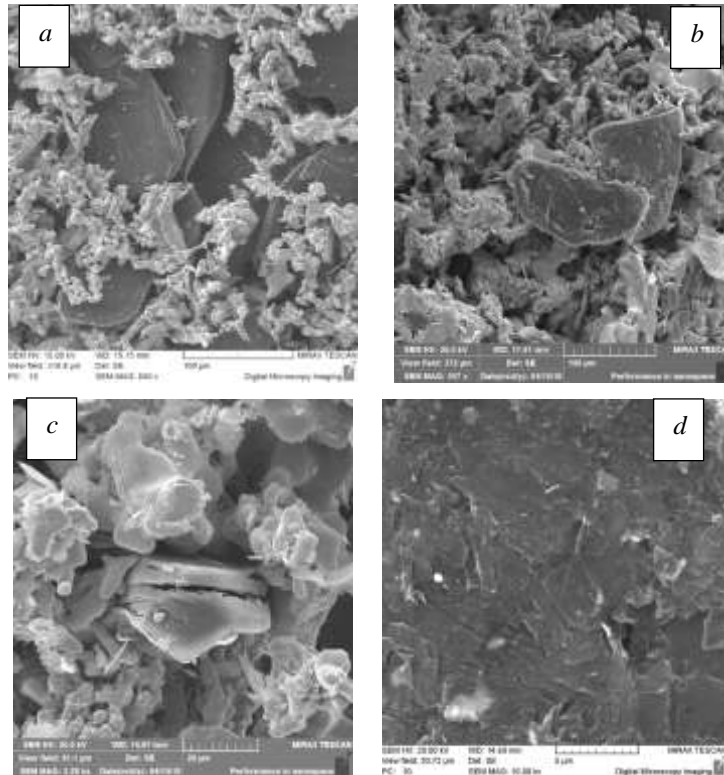


Fig. 10. Location of EG and PG graphite particles in the friction material: a, b, c – EG; d – PG; a – parallel to the slide plane; b – obliquely; c – perpendicularly to the slide plane; d – parallel to the slide plane

A study of worn surfaces made it possible to find that particles of PG graphite detached in the process of friction are embedded in the copper base (Fig. 12 a). Due to this, the wear resistance of the material increases. In addition, increasing of the wear resistance of a PG graphite material is also due to the fact that the area occupied by graphite particles on the friction surface is larger than in the case of EG graphite material (Fig. 12 b).

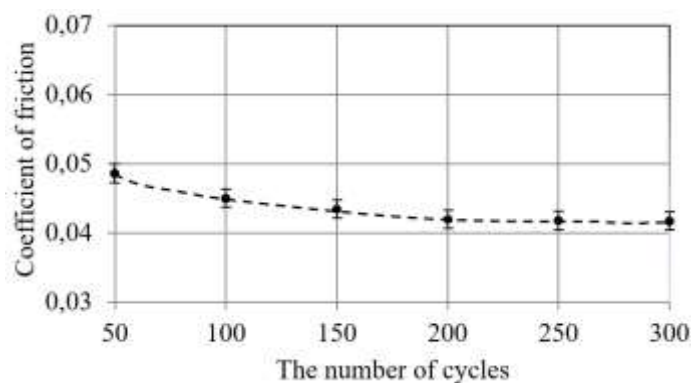


Fig. 11. Dependence of the coefficient of friction of the material with EG graphite on the number of braking cycles

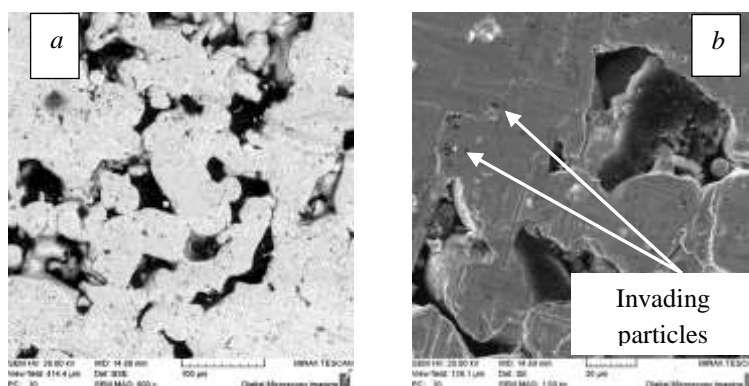


Fig. 12. The morphology of the friction surface of material contained PG graphite: a) BSE method, $\times 500$; b) SE method, $\times 1500$

4. CONCLUSIONS

In this study, the influence of the graphite grade and content on the structure, compressive strength and tribological properties of the bronze-based friction material was considered. Based on the results and discussion, the authors formulated the following conclusions:

- when free filling, the porosity formed and pore sizes depend on the grade and content of graphite: when using EG graphite, the pore size is of 15–16 μm and when using PG graphite is of 12–13 μm . When the pre-sintered material is compacted and re-sintered during 3 hours, the porosity decreases, but in the material with EG graphite it is about 10–12% higher than in the material with PG graphite,

- the area of metal particles contact in material contained fine PG graphite less than 40 vol. % is less significantly than in the case of EG graphite due to more uniform distribution of PG graphite in the base material. With a graphite content of more than 40 vol. %, regardless of grade, the number of metal contacts is the same approximately,
- the compressive strength of the friction material with PG graphite is higher than with EG graphite due to the larger area of metal contact in the material. The large area of metal contact with PG graphite explained by uniform distribution of graphite particles in the base material. The strength of the friction material after compacting and re-sintering increases by an order of magnitude, however the strength of the material with EG graphite is higher than of the material with PG graphite,
- the adhesion strength of the friction material layer with the steel disk is affected by the porosity and pore size in this layer, the grade and content of graphite, the amount of tin introduced, the condition of the friction material (after sintering or sintering with compacting);
- the coefficient of the friction of material with EG graphite is higher than with PG graphite due to the larger area of metal contact and the spatial orientation of the graphite particles regarding to the friction surface. Large particles of EG graphite are located in the surface layer parallel, obliquely or perpendicularly to the direction of sliding. In the process of frictional interaction, they are destroyed both due to the stratification of individual hexagonal planes and the chipping of particles in planes perpendicular to hexagonal planes, changing the wear mechanism of the material.
- the wear rate of the friction material depends on the grade and content of graphite, with an increase in the content of graphite EG up to 50 vol. % and graphite PG up to 40% vol. wear rate of the friction material decreases by 2.5–3 times. When the graphite content is less than 40 vol. friction material with graphite grade PG has greater wear rate then with graphite grade EG. The study of worn surfaces revealed that PG graphite particles detached in the process of friction are embedded in the material base, providing fall wear rate.

References

- [1] **W.L. Ma, J.J. Lu**, *Effect of sliding speed on surface modification and tribological behavior of copper–graphite composite*. *Tribol. Lett.* 2011. Vol.41. p.363–370.
- [2] **H. Kato, M. Takama, Y Iwai, K. Washida, Y Sasaki**, *Wear and mechanical properties of sintered copper–tin composites containing graphite or molybdenum disulfide*. *Wear.* 2003. Vol.255. p.573–578.
- [3] **M. Ghorbani, M. Mazaheri, A. Afshar**, *Wear and friction characteristics of electrodeposited graphite–bronze composite coatings*. *Surf. Coat. Technol.* 2005. Vol.190. p.32–38.
- [4] **M. Kestursatya, J.K. Kim, P.K. Rohatgi**, *Wear performance of copper–graphite composite and a leaded copper alloy*. *Mater. Sci. Eng. A.* 2003. 339, p.150–158.
- [5] **F.A. Sadykov, N.P. Barykkin, I.R. Aslanyan**, *Wear of copper and its alloys with submicrocrystalline structure*. *Wear.* 1999. Vol.225–229. p. 649–655.
- [6] **B.K. Prasad**, *Sliding wear behaviour of bronzes under varying material composition, microstructure and test conditions*. *Wear.* 2004. Vol.257. p.110–123.

-
- [7] **K. Rajkumar, S. Aravindan**, *Tribological performance of microwave sintered copper–TiC–graphite hybrid composites*. *Tribol. Int.* 2011. Vol. 44. p.347–358.
- [8] **A.F. Ilyushchenko, A.V. Leshok, O.A. Shapovalova**, *Investigation of the tribotechnical properties of the friction material MK-5 operated in BelAZ*. *Friction and Wear*, September-October 2013, Volume 33, No. 5. p.500-507.
- [9] **A.F. Ilyushchenko, A.V. Leshok, L.N. Dyachkova, A.N. Rogovoy**, *The influence of the type of graphite on the tribotechnical properties of a friction material based on copper, operating in conditions of boundary friction*. *Powder metallurgy. Interdepartmental collection of scientific papers*. 2019.No. 42. p.65-69.
- [10] **V. P. Tarasik, Yu. S. Romanovich, V. S. Savitsky**, *Modeling of the heating process of multi-disk clutches of hydromechanical transmission*, *Vestn. Belarus.-Ros. un-that.* - 2012. –№ 1 (34). - p. 107–117.
- [11] **V. P. Tarasik**, *Mathematical modeling of technical systems: a textbook for high schools*, Minsk, Design ABM, 2004. - 640 p.
- [12] **V.P. Tarasik**, *A mathematical model of heat transfer in disk clutches of transmissions of mobile machines*. *Bulletin of the Belarusian-Russian University*. 2015. No 3 (48). p. 68-78.
- [13] **A.F. Ilyushchenko, A.V. Leshok, L.N. Dyachkova, N. A. Alekseenko**, *Features of wear of a powder friction material based on copper under conditions of boundary friction*. *Friction and Wear*, 2019 (40), No. 6, p.654-660.

WYBRANE ASPEKTY KULTURY BEZPIECZEŃSTWA W SZKOLE WYŻSZEJ W ŚWIELE BADAŃ EMPIRYCZNYCH

1. WPROWADZENIE

Temat bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) jest istotny społecznie i naukowo. Podejście do bezpieczeństwa ze strony pracodawców i pracowników oddziałuje nie tylko na nich samych, ale także na osoby trzecie, co jest szczególnie widoczne w trakcie pandemii koronawirusa. Każda organizacja powinna wiedzieć, jak kwestie bezpiecznej i higienicznej pracy są postrzegane przez pracowników organizacji; niedobry w tym zakresie powinny być bodźcem do poprawy warunków pracy oraz komunikacji w organizacji.

Bezpieczeństwo pracy w zakładzie zależy zarówno od pracodawcy, jak i od pracowników. Jakość systemów zarządzania bezpieczeństwem pracy zależy od ludzi; jest ona tak dobra, jak ludzie, którzy te systemy stworzyli, jak i od tych, którzy je wdrażają i na co dzień realizują ich założenia.

Kultura bezpieczeństwa badana była przede wszystkim w zakładach typowo produkcyjnych i usługowych [3; 4]. Badania prowadzone na uczelniach są bardzo rzadkie [2, s. 41]. Pracowników uczelni technicznej badała K. Boczkowska [2]; inne analizy dotyczyły opinii studentów na temat kultury bezpieczeństwa [1; 6]. Niedobór ten stał się bodźcem do podjęcia badań w szkole wyższej. Celem przeprowadzonych analiz było uzyskanie wiedzy dotyczącej opinii pracowników wybranej szkoły wyższej (zwanej dalej Uczelnią) na temat wybranych aspektów kultury bezpieczeństwa. W artykule wykorzystano pracę dyplomową współautorki [7].

2. METODYKA BADAŃ

W badaniach wykorzystana została metoda sondażu diagnostycznego, w tym technika ankietowa oparta o kwestionariusz, zawierający pytania o charakterze zamkniętym. Ze względu na specyficzny okres, podczas którego realizowane były badania (stan epidemii koronawirusa), zastosowano narzędzie w postaci elektronicznej, nieodpłatnie udostępnione do celów badań przez dr. Patryka Krupę [5]. Kwestionariusz obejmował 8 modułów, odpowiadających postawionym problemom:

- 1) wiedza na temat bezpieczeństwa pracy w zakładzie,
- 2) poglądy i przekonania,
- 3) komunikacja w zakresie BHP,
- 4) stosunek do służ BHP,

- 5) mój wpływ na bezpieczeństwo pracy,
- 6) stosunek przełożonych do bezpieczeństwa,
- 7) stosunek do szkoleń z zakresu BHP,
- 8) odporność na stres.

W badaniu zastosowano pięciostopniową skalę Likerta (od 0 do 4). Wartość zerowa przypisana została odpowiedzi „nie wiem”. Wartość 4 zawsze była przypisana do odpowiedzi pożądanej („zdecydowanie tak” lub „zdecydowanie nie”).

2.1. Problemy badawcze

W celu pozyskania wiedzy na temat kultury bezpieczeństwa pracy w wybranej szkole wyższej, postawiono następujące problemy badawcze:

1. Jaka jest wiedza i świadomość respondentów w zakresie BHP?
2. Jakie poglądy i przekonania w zakresie BHP prezentują pracownicy wybranej szkoły wyższej?
3. Jak respondenci oceniają proces komunikacji w organizacji?
4. Jaki jest stosunek badanych do służb BHP?
5. Jaki jest stosunek badanych do szkoleń z zakresu BHP?
6. Jak respondenci oceniają własny wpływ na bezpieczeństwo pracy w zakładzie?
7. Jaki jest – w opinii pracowników – stosunek przełożonych do bezpieczeństwa?
8. Jaką odporność na stres deklarują pracownicy Uczelni?

2.2. Organizacja badań

Pilotażowe badania empiryczne zostały zrealizowane w okresie 1.04.-1.06.2020 r. Udział w badaniach był dobrowolny i anonimowy. Celem ograniczenia możliwości udziału w badaniach osób postronnych oraz wielokrotnego wypełniania przez respondentów ankiet, zastosowano tokeny (indywidualne kody dostępu). Każda osoba, która wyraziła chęć udziału w badaniach, otrzymała link do strony internetowej oraz jednorazowy token, składający się z czterech znaków wygenerowanych przez system zarządzania danymi badawczymi. Po wejściu na stronę internetową należało wprowadzić kod, a po wypełnieniu kwestionariusza – wysłać ankietę do systemu.

W przypadku badania kultury bezpieczeństwa zastosowano celowy dobór próby: pracowników Uczelni z wyższym wykształceniem. Ponieważ próba nie była duża, na podstawie uzyskanej próby nie jest możliwe generalizowanie wniosków do całej populacji pracowników szkoły wyższej. Mała liczebność próby wynikała z niechęci pracowników do wypełniania ankiet w ogóle; potencjalni respondenci tłumaczyli się też brakiem czasu wynikającym z kształcenia zdalnego, które pochłaniało im kilkakrotnie więcej czasu, niż gdyby proces kształcenia był realizowany w tradycyjny sposób.

2.3. Charakterystyka respondentów

W badaniu wzięło udział łącznie 49 osób, w tym 25 mężczyzn i 24 kobiety (odpowiednio 51% i 49%). Badani reprezentowali różne przedziały wiekowe (rys. 2.1):

- a) w grupie od 20 do 29 roku życia – 1 osoba,
- b) w grupie od 30 do 39 roku życia – 6 osób,
- c) w grupie od 40 do 49 roku życia – 18 osób,

- d) w grupie od 50 do 59 roku życia – 13 osób,
- e) w grupie od 60 do 69 roku życia – 7 osób,
- f) brak danych – 4 osoby.

Wszyscy badani posiadali wykształcenie wyższe; różni ich natomiast staż pracy w Uczelni, w której było prowadzone badanie, a także staż pracy ogółem. Większość respondentów (35 osób, 71,4%) przepracowała ogółem ponad 20 lat, 7 osób posiadało staż pracy od 15 do 20 lat (14,3%); od 10 do 15 lat pracowały 4 osoby (8,2%), natomiast staż do 2 lat, 3-5 lat i 6-10 lat posiadało dwóch respondentów (2%), po jednym w każdym przedziale stażowym.

Jeżeli chodzi o staż pracy w badanej Uczelni, to najwięcej respondentów wskazało na ponad 20-letni staż (28 osób, 57,1%), następnie 12 osób (24,5%) – na staż od 15 do 20 lat. Pojedyncze osoby zadeklarowały staż mniejszy niż 2 lata oraz od 6 do 10 lat (po 2%). Dwie osoby (4,1%) pracowały od 3 do 5 lat, a trzech badanych (6,1%) – od 11 do 15 lat. Brak danych dotyczył jednej osoby.

3. POZIOM KULTURY BEZPIECZEŃSTWA SZKOŁY WYŻSZEJ

3.1. Wiedza na temat bezpieczeństwa pracy w zakładzie pracy

Pierwszy moduł w narzędziu badawczym dotyczył wiedzy pracowników na temat bezpieczeństwa. W tabeli 3.1 zestawiono uzyskane dane. Pierwsze stwierdzenie dotyczyło opinii respondentów na temat tego, czy każde ryzyko może spowodować wypadek. Co dziesiąty ankietowany uważał, że raczej nie, natomiast prawie 86% wskazało odpowiedź „tak” w różnej intensywności. Jedynie 4,08% pracowników nie posiadało wiedzy lub zdania na ten temat.

Zdecydowana większość badanych (prawie 45%), zapytana o to, czy to człowiek powoduje większość wypadków w pracy, wybrała odpowiedź „nie wiem”. Odpowiedzi pozytywne udzieliła łącznie 1/3 badanych – z przewagą odpowiedzi „raczej tak”, natomiast negatywne odpowiedzi udzieliło 16,32% ogółu respondentów.

Ponad połowa badanych nie zna zagrożeń występujących w swoim środowisku pracy. Jedynie niecałe 15% pracowników ma świadomość, na jakie zagrożenia są narażeni. Jednocześnie prawie co trzeci respondent nie był w stanie odpowiedzieć na to pytanie. Może to świadczyć zarówno o braku wiedzy na ten temat, niskich kompetencjach osób prowadzących szkolenia BHP, bądź o niskim zaangażowaniu podczas szkoleń dotyczących bezpieczeństwa w pracy.

Zdecydowana większość (85,71%) ankietowanych podpisywała dokumenty BHP nie zapoznając się z nimi, przy czym ponad połowa robiła tak „zdecydowanie”, a co trzeci – „raczej”. Jednocześnie nikt nie udzielił odpowiedzi, które wskazywałyby na to, iż za każdym razem pracownicy czytają dokumenty dotyczące BHP.

Tab. 3.1. Odpowiedzi respondentów na temat wiedzy na temat bezpieczeństwa (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Każde ryzyko może spowodować wypadek	20,41	65,31	4,08	10,20	0,00
W zdecydowanej większości to człowiek powoduje wypadki	6,12	26,53	44,90	10,20	6,12
Znam zagrożenia na swoim stanowisku pracy	0,00	14,29	28,57	34,69	22,45
Zdarza mi się podpisywać dokumenty BHP nie znając ich treści	55,10	30,61	6,12	8,16	0,00
Wiem, jak zachować się w razie wypadku	4,08	6,12	10,20	42,86	36,73

Źródło: opracowanie własne.

Również zdecydowana większość ankietowanych (prawie 80%) nie miała wiedzy na temat właściwego zachowania się w razie wypadku. Wiedzę taką posiadał jedynie co dziesiąty pracownik.

3.2. Poglądy i przekonania dotyczące BHP

Zdecydowana większość ankietowanych (prawie 70%) uważa, że wypadki w pracy są nieuniknione (tab. 3.2). Jedynie co trzeci pracownik wyraził opinię, że wypadków w pracy da się uniknąć. Porównując odpowiedzi z poprzednim modułem można te odpowiedzi wiązać z brakiem wiedzy na temat zagrożeń i sposobów zachowania się podczas wypadku.

Zapytano też pracowników Uczelni o to, czy przepisy BHP utrudniają im pracę. Co piąty ankietowany odpowiedział „zdecydowanie tak”, a co drugi, że „raczej tak”. Jedynie nieco ponad 4% badanych uznało, że przepisy nie utrudniają im codziennej pracy.

W przypadku pytania dotyczącego związku między ryzykowną pracą i wysokimi umiejętnościami, ponad połowa badanych uznała, że tak związek nie występuje. Odpowiedzi pozytywnej udzieliła 1/3 respondentów.

Tab. 3.2. Odpowiedzi respondentów na temat poglądów i przekonań (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Wypadki w pracy są nieuniknione	26,53	42,86	4,08	20,41	6,12
Przepisy BHP utrudniają pracę	20,41	55,10	20,41	0,00	4,08
Ryzykowna praca oznacza wysokie umiejętności	2,04	26,53	20,41	36,73	14,29
Podnoszenie kwalifikacji wpływa na zmniejszenie liczby wypadków	0,00	10,20	8,16	44,90	36,73
Przyczyną wypadków są zbyt niskie zarobki	0,00	14,29	2,04	44,90	38,78

Źródło: opracowanie własne.

Zdecydowana większość respondentów (81,63%) nie zauważała związku między podnoszeniem kwalifikacji pracowniczych i zmniejszaniem się liczby wypadków przy pracy. Jedynie co dziesiąty badany wyraził zdanie, że te dwie zmienne są ze sobą powiązane.

Jednocześnie zdaniem 83,68% badanych przyczyną wypadków nie są zbyt niskie zarobki. Co ciekawe, prawie 15% ankietowanych wyraziło opinię, że to właśnie wysokość zarobków ma wpływ na liczbę wypadków w pracy.

3.3. Komunikacja w zakresie BHP

Kolejny moduł zawierał pytania dotyczące reagowania przez pracowników na nieprawidłowości. Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 3.3 można stwierdzić, że zdecydowanej większości respondentów (85,17%) informacje na temat zagrożeń w pracy są przekazywane przez przełożonych na bieżąco. Zaledwie co dziesiąty badany uznał, że nie dostaje żadnych informacji o zagrożeniach w pracy.

Jeżeli chodzi o wątpliwości bądź pytania dotyczące sfery BHP, zdania badanych były podzielone. Zbliżony odsetek respondentów wiedział, do kogo może się w tej sprawie zwrócić lub nie posiadał na ten temat wiedzy (odpowiednio 43% i 47% badanych).

Tab. 3.3. Odpowiedzi respondentów na temat komunikacji w zakresie (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Informacje na temat zagrożeń w pracy są przekazywane na bieżąco	28,57	57,14	4,08	6,12	4,08
Wiem do kogo się zwrócić w sprawach BHP	6,12	36,73	10,20	42,86	4,08
Wypadki przy pracy są omawiane na spotkaniach i pracownicy wspólnie zastanawiają się nad ich przyczynami	46,94	26,53	18,37	8,16	0,00
Każdy pracownik w firmie ma możliwość podnoszenia swoich kwalifikacji zawodowych	42,86	44,90	4,08	8,16	0,00
Mam możliwość zgłaszania uwag na temat BHP	85,71	14,29	0,00	0,00	0,00

Źródło: opracowanie własne.

Należy jednocześnie zauważyć, że przyczyny wypadków przy i w pracy w większości (73,47%) były omawiane na spotkaniach, a pracownicy wspólnie zastanawiali się nad tym wraz z odpowiednimi służbami.

Dodatkowo zapytano respondentów, czy każdy pracownik Uczelni ma możliwość podnoszenia swoich kwalifikacji zawodowych. Prawie 90% ankietowanych odpowiedziało, że pracownicy mają taką możliwość. Odpowiedzi negatywne stanowiły zaledwie 8%.

Ostatnie stwierdzenie w tym module dotyczyło możliwości zgłaszania uwag na temat BHP. Wszyscy pracownicy jednogłośnie odpowiedzieli, że mają taką możliwość. Jest to sprzeczne z wcześniejszymi odpowiedziami w kwestii tego, czy posiadają wiedzę, do kogo można się zwrócić w sprawach BHP, na które prawie połowa respondentów odpo-

wiedziała negatywnie. Być może uwagi takie są zgłaszane zarówno bezpośrednio do służb BHP, jak i do bezpośrednich przełożonych.

3.4. Stosunek do służb BHP

Moduł czwarty dotyczył stosunku badanych do służby bezpieczeństwa i higieny pracy. Zdecydowana większość (ponad 95%) odpowiedziała, że utrzymywanie takich służb w strukturze Uczelni nie stanowi zbędnego wydatku dla zakładu pracy i że służby BHP są potrzebne w przedsiębiorstwie (tab. 3.4). Jedynie 4,08% ankietowanych wyraziło opinię, że organizacja nie powinna wydawać swoich środków pieniężnych na wydatki związane z zatrudnianiem pracowników służby BHP.

Podobnie wysoki odsetek respondentów (95,91%) odpowiedział negatywnie na pytanie o to, czy służby BHP to osoby zajmujące się bzdurami. Odpowiedź twierdzącą na to pytanie udzieliło jedynie 4% badanych. Jednak jeżeli chodzi o zalecenia dotyczące bezpieczeństwa pracy, to prawie 90% odpowiedzi udzielonych w ankiecie wskazuje na to, że pracownicy uważają je za fikcję.

Tab. 3.4. Odpowiedzi respondentów na temat stosunku do służb BHP (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Służby BHP to zbędny wydatek dla zakładu pracy	0,00	4,08	0,00	71,43	24,49
Służby BHP to osoby zajmujące się bzdurami	0,00	4,08	0,00	61,22	34,69
Zalecenia dotyczące bezpieczeństwa pracy to fikcja na papierze	38,78	48,98	0,00	4,08	8,16
Pracownicy służb BHP są fachowcami	36,73	44,90	6,12	12,24	0,00
Służby BHP pomagają rozwiązywać problemy związane z BHP	0,00	2,04	6,12	73,47	18,37

Źródło: opracowanie własne.

Przedostatnie pytanie w tym module dotyczyło fachowości służb BHP. Ponad 81% ankietowanych uznała, że pracownicy służby BHP są fachowcami w swojej branży, a tylko 12% odpowiedziało na to pytanie negatywnie.

Ostatnie stwierdzenie miało na celu uzyskanie odpowiedzi na temat tego, czy służby BHP wywiązują się ze swoich obowiązków i pomagają rozwiązywać problemy w organizacji. Okazuje się, że aż 91% badanych ma negatywny stosunek do jakości pomocy oferowanej przez służby BHP. Jest to informacja sprzeczna z wcześniejszymi odpowiedziami pracowników, ponieważ z jednej strony służby BHP uważani są za fachowców, a z drugiej są postrzegani jako osoby nie będące w stanie pomóc w rozwiązywaniu problemów w zakładzie pracy.

3.5. Mój wpływ na bezpieczeństwo pracy

Moduł piąty dotyczy wpływu pracowników na bezpieczeństwo w zakładzie pracy. W pytaniu o poczucie takiego wpływu (tab. 3.5), prawie 80% ankietowanych odpowiedziało pozytywnie, choć przeważała odpowiedź „raczej tak”.

Tab. 3.5. Odpowiedzi respondentów na temat ich wpływu na bezpieczeństwo w pracy (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Mam wpływ na bezpieczeństwo pracy	32,65	46,94	2,04	18,37	0,00
Czuje się odpowiedzialny za wypadki przy pracy	38,78	55,10	2,04	4,08	0,00
Pracownicy powinni się ostrzegać, jeśli widzą niebezpieczne zachowania swoich kolegów	16,33	57,14	8,16	16,33	2,04
Jestem skłonny ostrzec współpracowników, jeśli zaobserwuję ich niebezpieczne zachowanie	16,33	36,73	24,49	16,33	6,12
Ostrzegam współpracowników, jeśli widzę ich niebezpieczne zachowanie	12,24	48,98	32,65	6,12	0,00

Źródło: opracowanie własne.

Potwierdzeniem tego są odpowiedzi respondentów na temat poczucia odpowiedzialności za wypadki przy pracy. Prawie 94% odpowiedzi była pozytywna. Za wypadki przy pracy jedynie 4% pracowników nie poczuwało się do odpowiedzialności.

Jeżeli chodzi natomiast o odpowiedzialność za innych, zdania respondentów były bardziej podzielone. Co piąty respondent nie uważał, że pracownicy powinni się ostrzegać, jeżeli widzą niebezpieczne zachowania swoich kolegów. Ponad połowa ankietowanych była zdania, że ostrzeżenie współpracowników powinno mieć miejsce.

Tak samo wyglądała sytuacja w przypadku stwierdzenia dotyczącego skłonności do ostrzegania współpracowników w przypadku zauważenia ich niebezpiecznych zachowań. Ponad 20% osób odpowiedziało, że nie jest skłonna ostrzec współpracowników.

Inaczej wyglądają jednak wyniki, gdy badani odnosili się do tego, czy rzeczywiście ostrzegali swoich kolegów, widząc ich niebezpieczne zachowania. W tym przypadku 1/3 odpowiedzi to była opcja „nie wiem”, natomiast 60% udzielanych odpowiedzi było twierdzących.

3.6. Stosunek przełożonych do bezpieczeństwa

Szósty moduł dotyka postrzegania przez pracowników stosunku przełożonych do kwestii bezpieczeństwa. Pierwsze stwierdzenie w module dotyczyło tego, czy zachowania bezpieczne są nagradzane. Prawie 60% odpowiedzi była twierdząca; o połowę mniej respondentów udzieliło odpowiedzi negującej (tab. 3.6).

Jeżeli chodzi o podejmowanie ryzykownego zachowania pod naciskiem przełożonych, prawie 40% respondentów wybrało wariant odpowiedzi „nie wiem”, natomiast nieco więcej (42%) stwierdziło, że takie zachowania nie występują. Jedynie co piąty ankietowany przyznał się, że ulegał naciskowi przełożonego.

Z danych zebranych w tabeli 3.6 wynika, że ponad połowa badanych uważała, iż pracodawca nie dba o bezpieczeństwo w zakładzie pracy. Nieco mniej, bo prawie 40% respondentów, udzieliło odpowiedzi negatywnej, dostrzegając przejawy troski kierownictwa o bezpieczeństwo podwładnych.

W następnej kolejności szukano odpowiedzi na pytanie, czy wykonanie normy pracy jest ważniejsze niż bezpieczeństwo. Prawie 60% odpowiedzi udzielanych w ankiecie potwierdziła tezę zawartą w pytaniu, a jedynie 20% zanegowała ją. Co piąty badany udzielił odpowiedzi „nie wiem”.

Tab. 3.6. Odpowiedzi respondentów na temat stosunku przełożonych do bezpieczeństwa (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Bezpieczne zachowania są nagradzane	18,37	40,82	8,16	24,49	8,16
Podejmuję ryzykowne zachowania pod naciskiem przełożonych	2,04	18,37	36,73	30,61	12,24
Mój przełożony nie dba o bezpieczeństwo	14,29	40,82	6,12	26,53	12,24
Wykonanie normy pracy jest ważniejsze niż bezpieczeństwo	16,33	42,86	20,41	18,37	2,04
Pracownik podejmujący ryzykowne zachowania jest bardziej ceniony niż osoba pracująca bezpiecznie	6,12	48,98	36,73	6,12	2,04

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnie stwierdzenie w tym module brzmiało: „pracownik podejmujący ryzykowne zachowania jest bardziej ceniony niż osoba pracująca bezpiecznie”. Ponad połowa badanych (55%) wskazała na to, że rzeczywiście tak było. Jednocześnie co trzeci pracownik nie miał wiedzy na ten temat.

3.7. Stosunek do szkoleń z zakresu BHP

Ten moduł poświęcony został szkoleniom z zakresu bezpiecznej i higienicznej pracy. Z danych zgromadzonych w tabeli 3.7 można wywnioskować, że ponad 60% ankietowanych uważa szkolenia BHP za nudne, natomiast jedynie co piąty badany uważał je za interesujące.

Pomimo wcześniejszej deklaracji o niskiej (lub braku) atrakcyjności szkoleń BHP, aż 73% pracowników wyraziło opinię, że szkolenia uczą bezpiecznych zachowań i warto w nich uczestniczyć. Jedynie 12% odpowiedzi wskazywały na brak powiązania szkoleń i późniejszych bezpiecznych zachowań pracowniczych.

Tab. 3.7. Odpowiedzi respondentów na temat stosunku do szkoleń z zakresu BHP (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Szkolenia BHP są nudne	8,16	57,14	12,24	18,37	4,08
Szkolenia BHP uczą bezpiecznych zachowań	8,16	65,31	14,29	10,20	2,04
Szkolenia są prowadzone przez osoby mało kompetentne	0,00	2,04	12,24	57,14	28,57
Szkolenia BHP wpływają na poprawę bezpieczeństwa pracy	24,49	40,82	24,49	10,20	0,00
Szkolenia BHP to strata czasu	0,00	4,08	12,24	73,47	10,20

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną kwestią poruszoną w badaniu była kompetencja osób przeprowadzających szkolenia BHP. Według większości ankietowanych (85,71%) szkolenia były prowadzone przez osoby kompetentne i dobrze przygotowane. Tylko 2% badanych uważało, że pracownicy służb BHP byli mało kompetentni. Mogło być to spowodowane rutyną pracowników tej służby w przeprowadzaniu szkoleń.

Bardzo pozytywnie w badaniach wypadł wpływ szkoleń na poprawę bezpieczeństwa w pracy. Aż 65% pracowników widzi związek między szkoleniami a poprawą bezpieczeństwa pracy. Wpływu takiego nie widział jedynie co dziesiąty respondent.

Bardzo podobne konkluzje można wyciągnąć z pytania o to, czy szkolenia BHP to strata czasu. Większość ankietowanych (83%) uważa, że nie, i że są one potrzebne w zakładzie pracy.

3.8. Odporność na stres

Ostatni moduł obejmował zagadnienia odporności pracowników na stres w miejscu pracy. Pierwsze pytanie dotyczyło kwestii sprzeczności informacji uzyskiwanych przez pracowników od ich przełożonych. Prawie 27% badanych stwierdziło, że kierownictwo przekazywało sprzeczne informacje, natomiast prawie 60% uznała, że takie zjawisko nie występowało w miejscu pracy (tab. 3.8).

Kolejną kwestią, która została poruszona w badaniu, było to, czy pracownicy lubią swoją pracę. Ponad 60% odpowiedziało, że nie, z czego ponad 16% to były odpowiedzi „zdecydowanie nie”. Jedynie co trzeci pracownik, który wziął udział w badaniu, stwierdził, że „raczej” lubi to, co aktualnie robi, a tylko 6% respondentów lubił ją „zdecydowanie”.

Z wyników przedstawionych w tabeli 4.8 można wywnioskować, że prawie 60% pracowników uważała, że problemy rodzinne wpływają na jakość wykonywanej pracy. Niecałe 15% ankietowanych ma inne zdanie w tej sprawie, a 26% nie miała zdania na ten temat.

Tab. 3.8. Odpowiedzi respondentów na temat odporności na stres (w %)

Wyszczególnienie	Zdecydowanie tak	Raczej tak	Nie wiem	Raczej nie	Zdecydowanie nie
Przekazywane informacje od przełożonych są sprzeczne ze sobą	6,12	20,41	16,33	44,90	12,24
Lubię swoją pracę	6,12	26,53	6,12	44,90	16,33
Problemy rodzinne wpływają na wykonywanie pracy	8,16	51,02	26,53	14,29	0,00
Mam poczucie bezradności wobec postawionych mi obowiązków	26,53	65,31	2,04	6,12	0,00
Myszę o radykalnych zmianach w życiu	36,73	59,18	2,04	2,04	0,00

Źródło: opracowanie własne.

Kolejne pytanie w ankiecie dotyczyło poczucia bezradności badanych wobec postawionych im obowiązków przez przełożonych/pracodawcę. Prawie 92% odczuwa w takiej sytuacji bezradność. Jedynie 6% respondentów nie miało poczucia bezradności. Jednocześnie zapytani o planowanie radykalnych zmian we własnym życiu, respondenci w zdecydowanej większości deklarowali chęć dokonania zmian (aż 95,91%). Jedynie 2,04% osób raczej się nad tym nie zastanawia.

4. WNIOSKI I REKOMENDACJE

Przeprowadzone badania kultury bezpieczeństwa w wybranej Uczelni prowadzą do następujących wniosków:

1. Moduł I: zdecydowana większość respondentów uważała, że każde ryzyko może spowodować wypadek, ale także nie wiedziała, jak zachować się w razie wystąpienia wypadku. Około połowy ankietowanych przyznało, że nie zna zagrożeń występujących w zakładzie pracy, zawsze podpisuje dokumenty dotyczące BHP bez wcześniejszego zapoznania się z nimi oraz nie jest w stanie jednoznacznie stwierdzić, czy to człowiek powoduje większość wypadków.
2. Moduł II: znacząca większość ankietowanych stwierdziła, że podnoszenie kwalifikacji zawodowych ma wpływ na zmniejszenie się liczby wypadków w pracy, a jedną z przyczyn wypadków mogą być niskie zarobki pracowników. Dla większości pracowników wypadki w pracy są nieuniknione, a przepisy BHP są tym, co utrudnia im pracę. Ponad połowa badanych uważa, że nie ma powiązania między ryzykownymi zachowaniami w pracy i wysokimi umiejętnościami.
3. Moduł III: wszyscy pracownicy stwierdzili, że mają możliwość zgłaszać uwagi na temat BHP. Według zdecydowanej większości respondentów informacje na temat zagrożeń są przekazywane im na bieżąco; nieco mniej osób stwierdziło, że przyczyny wypadków przy pracy omawiane są na spotkaniach z przełożonymi. Jednocześnie niemal połowa nie wiedziała, do kogo powinno się zwrócić w sprawach bezpieczeństwa i higieny pracy.
4. Moduł IV: widoczne są skrajne opinie na temat służb zakładowych BHP. Niemal wszyscy badani stwierdzili, że służba BHP nie stanowi zbędnego wydatku dla zakładu pracy, a pracownicy BHP nie zajmują się bzdurami. Jednocześnie według nieco mniejszego odsetka badanych zalecenia BHP to fikcja na papierze. Zdecydowana większość uważała pracowników służby BHP za fachowców, ale jednocześnie stwierdziła, że nie potrafią oni rozwiązywać problemów w zakładzie pracy.
5. Moduł V: większość badanych miała poczucie wpływu na bezpieczeństwo w pracy, a także czuła odpowiedzialność za wypadki przy pracy. Ponad połowa ankietowanych uważała, że powinno się ostrzegać współpracowników, jeżeli widzi się ich ryzykowne zachowania. Również ponad połowa zadeklarowała skłonność do ostrzegania kolegów w razie zauważenia takich zachowań, jak i rzeczywiste ostrzeganie współpracowników.
6. Moduł VI: ponad połowa badanych uważała, że zachowania bezpieczne są nagradzane, jednak tyle samo osób twierdziło, że wykonanie normy pracy jest ważniejsze niż bezpieczeństwo. Nieco ponad połowa stwierdziła, że pracownik podejmujący ryzykowne zachowania jest bardziej ceniony niż ten pracujący bezpiecznie. Ponad połowa badanych uznała, że ich przełożony nie dba o bezpieczeństwo podwładnych, a co piąty respondent ulegał pod naciskiem przełożonego, jeżeli chodzi o niebezpieczne zachowania w pracy.
7. Moduł VII: większość badanych stwierdziła, że szkolenia BHP są prowadzone przez osoby kompetentne, niemal $\frac{3}{4}$ badanych – że uczą bezpiecznych zachowań i wpływają na bezpieczeństwo pracy. Jednocześnie ponad połowa ankietowanych uznała te szkolenia za nudne, a nieliczne osoby – za stratę czasu.
8. Moduł VIII: co czwarty pracownik uważał, że przekazywane przez przełożonego informacje są ze sobą sprzeczne, a zdecydowana większość osób ma poczucie bezradności wobec postawionych im obowiązków. Ponad połowa badanych zadekla-

rowała, że nie lubi swojej pracy, niemal wszyscy myślą o radykalnych zmianach w swoim życiu.

Na podstawie wniosków ze zrealizowanych badań można wysunąć kilka rekomendacji, mogących pomóc w podnoszeniu poziomu kultury bezpieczeństwa w zakładzie pracy. Poziom kultury bezpieczeństwa w Uczelni jest na niskim poziomie. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest słabość szkoleń w zakresie BHP. Proponowanym rozwiązaniem, które mogłoby pomóc w tym zakresie, może być modyfikacja tradycyjnej formy szkoleń BHP (wykład, pokaz) w kierunku zastosowania form aktywizujących: warsztatów, ćwiczeń, zadań do wykonania przez pracowników, bądź innych form prowadzenia zajęć, które będą angażowały uczestników szkoleń.

Pracownicy wyrazili opinię, że często mają poczucie bezradności wobec postawionych im obowiązków, a komunikaty wysyłane przez kierownictwo bywają sprzeczne. Należałoby więc bliżej zdiagnozować miejsca i problemy w komunikowaniu się (zarówno poziomym, jak i pionowym) i opracować efektywniejsze reguły i formy porozumiewania się w zespołach pracowniczych.

W wynikach badań u większości pracowników pojawiła się informacja, że wyrobienie normy jest ważniejsze niż bezpieczne zachowania podczas pracy. Zatem kolejną propozycją zmiany może być zmniejszenie nacisku na wypracowywanie normy oraz promowanie bezpiecznych zachowań w miejscu i na stanowisku pracy. Należałoby rozpoznać wiedzę na temat tego, gdzie można zgłaszać uwagi dotyczące BHP oraz ułatwić ten proces.

Następnym zdiagnozowanym problemem brak wiedzy u wielu pracowników na temat zagrożeń na stanowisku i w miejscu pracy oraz prawidłowych zachowań w sytuacjach zagrożenia czy wypadku. Niezbędne jest ciągłe poszerzanie wiedzy pracowników na temat BHP. Należy również uświadamiać pracownikom, że zasady BHP zostały stworzone po to, aby chronić ich bezpieczeństwo, a nie utrudniać im wykonywanie pracy, oraz że należy zwracać uwagę na zachowania współpracowników i poczuwać się do odpowiedzialności zarówno za siebie, jak i za innych. Jest to tym bardziej ważne, iż prawie wszyscy badani wyrazili opinię, że wypadki w pracy są nieuniknione.

Analizując wyniki badań można zauważyć, że w opinii respondentów część kierownictwa nie dba o bezpieczeństwo swoich pracowników. Może to skutkować tym, że pracownicy będą zwracać mniejszą uwagę na nawyki bezpiecznej pracy, ponieważ taki przykład dostają od kadr menadżerskich i kierowniczych. Szkolenia powinny zatem obejmować nie tylko pracowników szeregowych, ale również kadrę kierowniczą. Osoby na stanowiskach kierowniczych powinny podkreślać wagę bezpieczeństwa i nagradzać zachowania bezpieczne, a także wspólnie z pracownikami opracowywać plany działania i – zgodnie z zasadą ciągłego doskonalenia – analizować stan bezpieczeństwa i higieny pracy, aby określić, co powinno zostać poprawione.

LITERATURA

- [1] **Bakonyi J.**, *Kształtowanie kultury bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie, jako element zarządzania firmą w ocenie studentów*. Bezpieczeństwo. Teoria i Praktyka nr 4/2018

- [2] **Boczkowska K.**, Wybrane aspekty kultury bezpieczeństwa na uczelni technicznej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* nr 422/2016. <https://doi.org/10.15611/pn.2016.422.03>.
- [3] **Cierniak-Emerych A.**, *Kształtowanie bezpieczeństwa i higieny pracy w przedsiębiorstwie a cechy kultury organizacyjnej*. *Edukacja Ekonomistów i Menedżerów : problemy, innowacje, projekty* nr 4 (26)/2012. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.6286>.
- [4] **Iwko J., Iwko J.**, *Badanie poziomu kultury bezpieczeństwa w wybranym przedsiębiorstwie*. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 131/2018. <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2018.131.12>.
- [5] **Krupa P.**, *Predykcja czynnika ludzkiego w kształtowaniu bezpiecznego środowiska pracy w przedsiębiorstwach produkcyjnych*. Uniwersytet Zielonogórski 2018.
- [6] **Marcinkowski J.S., Zemfler K.**, *Kultura bezpieczeństwa pracy w firmie w opinii studentów studiów niestacjonarnych*. *Problemy Profesjologii* nr 2/2008.
- [7] **Wojtysiak O.**, *Kultura bezpieczeństwa organizacji na przykładzie szkoły wyższej*. Uniwersytet Zielonogórski 2020.

WPŁYW WARUNKÓW CHŁODZENIA NA POTENCJAŁ KOROZYJNY STALI NIERDZEWNEJ X2CRNIMO17-12-2 PO TOCZENIU WYKOŃCZENIOWYM

1. WPROWADZENIE

Istotnym czynnikiem określającym zdolność użytkową metali jest odporność korozyjna [1]. Korozji metalowych implantów nie da się uniknąć, ponieważ znajdują się one w otoczeniu agresywnych płynów ustrojowych [2]. Stal nierdzewna X2CrNiMo17-12-2 w porównaniu do pozostałych stali nierdzewnych jest jednym z najczęściej stosowanych materiałów na wyroby medyczne, co wynika z jej korzystnych właściwości mechanicznych i użytkowych [3]. Jednakże, materiał ten klasyfikowany jest do grupy trudnoobrabialnych ze względu na niską wydajność, szybkie zużycie narzędzia oraz niską jakość powierzchni [4].

Istotnym aspektem podczas produkcji implantów jest jakość uzyskanej powierzchni. Z jednej strony, wyższa chropowatość powoduje korzystne przyleganie komórek i dokładniejsze połączenie kości z implantem [5]. Z drugiej, zaś, wyższa chropowatość powierzchni przyczynia się do rozwoju procesów korozyjnych [6].

Maruda [7] analizował chropowatość powierzchni stali X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu w warunkach chłodzenia na sucho i MQCL (Minimum Quantity Cooling Lubrication). W warunkach chłodzenia MQCL w porównaniu z obróbką na sucho zarejestrowano zmniejszenie wartości parametrów R_a i R_z chropowatości powierzchni od 7% do 29%. Zwiększenie wartości parametrów tworzenia mgły emulsyjnej E (przepływ masy emulsji) i P (przepływ objętościowy powietrza) w metodzie MQCL wpływa na zmniejszenie parametru chropowatości powierzchni R_a . W warunkach chłodzenia MQCL w porównaniu z obróbką na sucho uzyskano bardziej równomierne rozmieszczenie dolin i wierzchołków nierówności na powierzchni obrobionej badanej stali. Feldshteyn i Leksycki [8] ocenili wpływ dodatku przeciwzatarciowego (EP) zastosowanego w metodzie MQL (Minimum Quantity Lubrication) na chropowatość powierzchni stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2. Ustalono, że dodatek wpływa korzystnie na chropowatość powierzchni badanej stali. W porównaniu do warunków chłodzenia z MQL podczas obróbki MQL + EP wartości parametrów chropowatości powierzchni zmniejszyły się o ok. 50%.

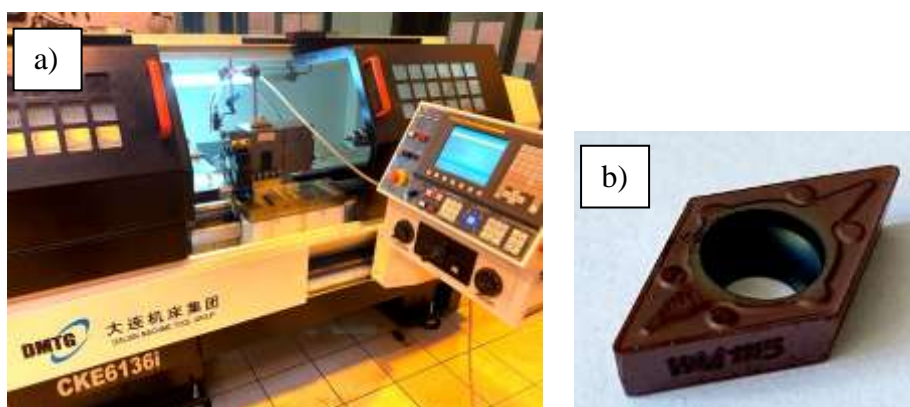
Bruschi i in. [9] badali zachowanie korozyjne stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 w celu zwiększenia jej odporności na cykle sterylizacji. Obróbkę prowadzono w warunkach chłodzenia niskotemperaturowego, a wyniki porównano z obróbką

na sucho i w obecności emulsji. Poprawę odporności na korozję uzyskano przy chłodzeniu niskotemperaturowym, a pogorszenie po obróbce na sucho. Bertolini i in. [10] badali zachowanie korozyjne stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu w warunkach chłodzenia niskotemperaturowego i w obecności emulsji. Ustalono, że chłodzenie niskotemperaturowe zwiększa odporność korozyjną badanej stali.

Celem badań była analiza wpływ warunków chłodzenia na potencjał korozyjny stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu wykończeniowym.

2. WARUNKI I METODYKA BADAŃ

Badane próbki wykonano na tokarce CNC typu CKE6136i firmy DMTG (rys. 1 a). Zastosowano nóż tokarski z oprawką CoroTurn SDJCR 2525M 11 i płytkę wymienną CoroTurn DCMX 11 T3 04-WM 1115 z powłoką $(Ti,Al)N+(Al,Cr)_2O_3$ naniesioną metodą PVD (rys. 1 b).



Rys. 1. Tokarka CNC typu CKE6136i firmy DMTG (a) oraz płytka wymienna CoroTurn DCMX 11 T3 04-WM 1115 (b).

Badania zrealizowano w warunkach chłodzenia na sucho, w obecności emulsji wodnej na bazie oleju obróbkowego emulgującego Castrol Alusol SL 51 XBB o 7% stężeniu roboczym oraz z zastosowaniem metody MQL, gdzie mgła olejowa wytwarzana była przez Mikronizer Lenox 1LN jako mieszanina powietrza i oleju ECOCUT MIKRO 20 E.

Badano stal nierdzewną X2CrNiMo17-12-2 o składzie chemicznym [11]: $C \leq 0,030\%$; $Cr = 16-18\%$; $Fe = 61,9-72\%$; $Mn \leq 2,0\%$; $Mo = 2,0-3,0\%$; $Ni = 10-14\%$; $P \leq 0,045\%$; $Si \leq 1,0\%$; $S \leq 0,030\%$.

Toczenie prowadzono ze stałą prędkością skrawania 160 m/min i głębokością skrawania 0,5 mm. Posuw dla obróbki na sucho wynosił 0,14 mm/obr, a dla chłodzenia z emulsją i z MQL 0,094 mm/obr. Dla badanych warunków chłodzenia uzyskano minimalne $Ra = 0,499-0,626 \mu\text{m}$ chropowatości powierzchni.

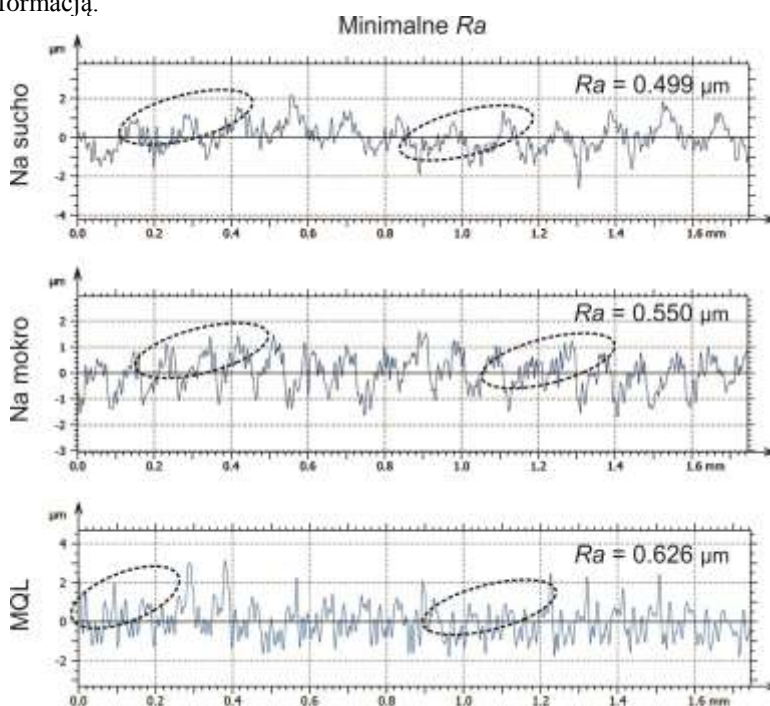
Chropowatość powierzchni po obróbce mierzono z wykorzystaniem profilometru optycznego Sensofar S Neox 3D.

Próbki poddano badaniom potencjału korozyjnego (E_{kor}) z wykorzystaniem potencjostatu/galwanostatu Atlas 0531. Do badań zastosowano symulowany płyn fizjologiczny (SBF) o pH= 7,2–7,4. Skład chemiczny SBF dobrano na podstawie [13]. Na próbkach eksponowano obszar 0,25 cm², który był wystawiony na działanie SBF. Pomiary 1 minutowe potencjału korozyjnego (E_{kor}) przeprowadzono po 1 godzinie oraz 1, 7, 14, 28, 48 i 72 dniach zanurzenia w roztworze SBF. Badania przeprowadzono w układzie trój-elektrodowym: elektroda pracująca, elektroda pomocnicza i elektroda odniesienia.

3. WYNIKI BADAŃ

Profile chropowatości powierzchni próbek o minimalnych parametrach Ra chropowatości powierzchni uzyskane po toczeniu wykończeniowym stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 w warunkach chłodzenia na sucho, w obecności emulsji i z zastosowaniem metody MQL pokazano na rysunku 2.

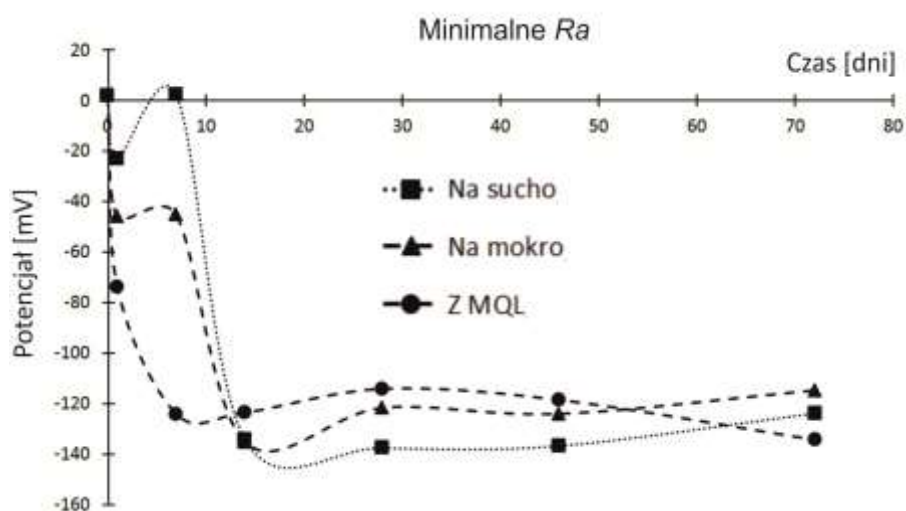
W zakresie minimalnych wartości parametrów $Ra = 0,499–0,626 \mu\text{m}$ niezależnie od warunków chłodzenia na profilach chropowatości powierzchni obserwuje się spłaszczone szczyty, co oznacza, że powierzchnie obrobione charakteryzują się plastyczną deformacją.



Rys. 2. Profile chropowatości powierzchni stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 w zależności od warunków chłodzenia.

Potencjał korozyjny E_{kor} to podstawowy parametr rejestrowany w warunkach bezprądowych. E_{kor} stanowi rezultat bilansowania się reakcji anodowego roztwarzania metalu lub/i pokrywającej go warstwy z zachodzącą na metalu reakcją katodową [14]. Większe wartości potencjału korozyjnego E_{kor} oznaczają wolniejsze zachodzenia procesów anodowania (roztwarzania i przechodzenia metalu w postaci jonów do elektrolitu). Większe wartości E_{kor} mówią także o większym udziale procesów związanych z adsorpcją jonów dodatnich z roztworu do powierzchni metalu [15].

Wpływ warunków chłodzenia na potencjał korozyjny E_{kor} próbek ze stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 o minimalnych R_a przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wpływ warunków chłodzenia na potencjał korozyjny E_{kor} próbek ze stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 o minimalnych R_a .

Warunki chłodzenia wpływają na potencjał korozyjny E_{kor} stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu wykończeniowym. Po 1–7 dniach przechowywania próbek w SBF największe wartości $E_{kor} = -(20-10)$ mV i jednocześnie najkorzystniejsze właściwości ochronne warstwy wierzchniej zarejestrowano dla warunków chłodzenia na sucho. Dla obróbki w obecności emulsji wartość potencjału korozyjnego E_{kor} była mniejsza i wyniosła $-(50-40)$ mV, natomiast najmniejsze wartości $E_{kor} = -(120-70)$ mV uzyskano dla obróbki z MQL. Po 14–72 dniach niezależnie od warunków chłodzenia wartości potencjałów korozyjnych ustabilizowały się i wyniosły $-(140-120)$ mV.

4. POSUMOWANIE

W artykule analizowano wpływ warunków chłodzenia na sucho, w obecności emulsji i z zastosowaniem metody MQL na potencjał korozyjny stali nierdzewnej X2CrNiMo17-12-2 po toczeniu wykończeniowym. Na podstawie otrzymanych wyników badań ustalono, że:

- w badanych warunkach chłodzenia w zakresie minimalnych wartości parametrów $Ra = 0,499\text{--}0,626 \mu\text{m}$ na profilach chropowatości obserwuje się spłaszczone szczyty, co świadczy o plastycznej deformacji obrobionych powierzchni;
- warunki chłodzenia wpływają na potencjał korozyjny badanej stali, a wyraźne różnice rejestrowano w przedziale 1–7 dni przechowywania próbek w SBF;
- w porównaniu do warunków chłodzenia w obecności emulsji i z MQL obróbka na sucho zapewnia korzystniejsze właściwości ochronne warstwy wierzchniej.

LITERATURA

- [1] **Uo M., Watari F., Yokoyama A., Matsuno H., Kawasaki T.:** *Visualization and detectability of elements rarely contained in soft tissue by X-ray Canning analytical microscopy and elektron-probe micro analysis.* Biomaterials, Vol. 22(13), 2001, pp. 1787–1794.
- [2] **Manam N.S., Harun W.S.W., Shri D.N.A., Ghani S.A.C., Kurniawan T., Ismail M.H., Ibrahim M.H.I.:** *Study of corrosion in biocompatible metals for implants: A review.* Journal of Alloys and Compounds, Vol. 701, 2017, pp. 698–715.
- [3] **Fazel-Rezai R.:** Biomedical engineering – from theory to applications. In Tech, Rijeka, 2011.
- [4] **Wegener K., Kuster F., Weikert S., Weiss L., Stirnimann J.:** *Success story cutting.* Procedia CIRP, Vol. 46, 2016, pp. 512–524.
- [5] **Götz H.E., Müller M., Emmel A., Holzwarth U., Erben R.G. Stangl R.:** *Effect of surface finish on the osseointegration of laser-treated titanium alloy implants.* Biomaterials, Vol. 25(18), 2004, pp. 4057–4064.
- [6] **Czarnowska E., Wierzchoń T., Maranda-Niedbala A., Karczmarewicz E.:** *Improvement of titanium alloy for biomedical applications by nitriding and carbonitriding processes under glow discharge conditions.* Journal of Materials Science: Materials in Medicine, Vol. 11, 2000, pp. 73–81.
- [7] **Maruda R.:** *Chropowatość powierzchni stali austenitycznej 316L po toczeniu w warunkach chłodzenia metodą MQCL.* Mechanik, Vol. 8-9, 2016, pp. 1058-1059.
- [8] **Feldshtein E., Leksycki K.:** *Vliânie protivozadirnoj prisadki k maslânomu tumanu na šerohovatos' poverhnosti neržaveuscej stali 316L posle finišnoj obrabotki.* Priborostroenie - 2019: materialy 12-j meždunarodnoj naučno-tehničeskoj konferencii. Białoruś, Minsk: Belarusskij Nacional'nyj Techniceskij Universitet, 2019, pp. 243–243
- [9] **Bruschi S., Pezzato L., Ghiotti A., Dabala M., Bertolini R.:** *Effectiveness of using low-temperature coolants in machining to enhance durability of AISI 316L stainless steel for reusable biomedical devices.* Journal of Manufacturing Processes, Vol. 39, 2019, pp. 295–304.
- [10] **Bertolini R., Bruschi S., Ghiotti A.:** *Enhancement of corrosion resistance to sterilization stages of a biomedical grade AISI 316L stainless steel by means of low-temperature machining.* Materials Today: Proceedings, Vol. 7(1), 2019, pp. 552–559.

- [11] <http://www.matweb.com>
- [12] **Statnikov R.B., Statnikov A.R.:** *The Parameter Space Investigation Method Toolkit*. Artech House: Boston, MA, USA, 2011.
- [13] **Asri R.I.M., Harun W.S.W., Samykano M., Lah N.A.C., Ghani S.A.C., Tarlochan F., Raza M.R.:** *Corrosion and surface modification on biocompatible metals: A review*. *Materials Science and Engineering: C*, Vol. 77, 2017, pp. 1261–1274.
- [14] **Krasicka-Cydzik E.:** *Formowanie cienkich warstw anodowych na tytanie i jego implantowych stopach w środowisku kwasu fosforowego*. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2003
- [15] **Baszkiwicz J., Kamiński M.:** *Korozja materiałów*. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006

PROCES CIĘCIA BLACH PRZY ZASTOSOWANIU NOŻY KRĄŻKOWYCH

1. WPROWADZENIE

Proces cięcia blach o różnej grubości jest powszechnie stosowany przy wykorzystaniu różnych metod [1-3]. Obecnie w trakcie procesu cięcia dąży się do osiągnięcia żądanej jakości krawędzi ciętych przy jednoczesnej minimalizacji kosztów i wzroście wydajności procesu. Wymusza to opracowanie procesu technologicznego procesu doboru i montażu noży krążkowych. Niewłaściwe ustawienie noży krążkowych w procesie cięcia blach może przyczynić się do powstania wad na powierzchni wyrobów (np. zadziorów, zagięć, deformacji arkusza blachy) oraz wpływać na szybsze zużycie narzędzia. Właściwy dobór noży krążkowych, ustawienie luzów między nożami (w zależności od ciętej blachy), docisku (krążki gumowe) wpływają na jakość otrzymanego wyrobu [4, 5]. W literaturze dotyczącej kształtowania blach skupiono się w szczególności na procesach obróbki plastycznej związanych z procesami wykrawania [6-10].

Celem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu procesy ustawienia noży krążkowych mocowanych w tulejach na ich szybkość i dokładność ustawienia oraz jakość cięcia. W firmie Dach-Metal opracowano konstrukcję noży krążkowych mocowanych na tulejach, które pozwolą wyeliminować dotychczas stosowane na rynku linie. Obecnie na rynku znajdują się linie technologiczne do cięcia wzdłużnego, które wyposażone są w zestawy tulei dystansowych niezbędnych do ustawiania odległości pomiędzy nożami krążkowymi, a ich funkcjonalność znacząco różni się od rozwiązania zrealizowanego w firmie Dach-Metal.

Dodatkowo powstała linia technologiczna ma się przyczynić do powstania nowej usługi polegająca na cięciu blachy na zamówienie dla innych firm.

2. METODYKA BADAWCZA

Badanie wpływu sposobu montażu noży krążkowych na wały stosowanych do rozkroju blach zaplanowano zrealizować w firmie Dach-Metal. W trakcie badań zostanie określona:

- dokładność ustawienia noży krążkowych,
- czas ustawienia noży krążkowych,
- korekta ustawień noży krążkowych.

Badania zostaną przeprowadzone w dwóch etapach:

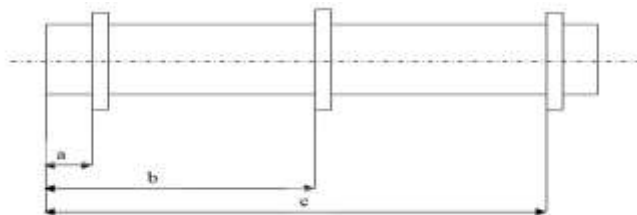
- I etap - noże montowane z przekładkami – metoda I (wg starej koncepcji),
- II etap - noże montowane w tulejach – metoda II (wg nowej koncepcji).

Głównym celem badań jest określenie dokładności ustawień noży tnących oraz czasu potrzebnego na ich montaż i korektę ustawień.

Następnie przeprowadzone zostaną badania metalograficzne jakości krawędzi blach po procesie rozkroju dla dwóch koncepcji montażu noży krążkowych.

2.1. Badanie wpływu sposobu mocowania noży krążkowych na dokładność i czas ustawień

Proces dokładności i czasu ustawień noży krążkowych do rozkroju blachy postanowiono wykonać każdorazowo dla 3 noży tnących. Do badań zostaną wykorzystane noże montowane z przekładkami (metoda I) i noże mocowane w tulejach (metoda II). Na rys. 1 przedstawiono schemat ustawienia noży.



Rys. 1. Schemat ustawienia noży, gdzie: a , b , c – odległości noży od lewej podpory wałka

W pierwszej części badania zostaną wykonane pomiary dokładności i czasu ustawień noży zgodnie z schematem (rys.1). Na puste wały zostaną zamontowane noże krążkowe (metoda I i II) na wymiar - badanie nr 1:

- $a = 50\text{mm}$,
- $b = 500\text{mm}$,
- $c = 950\text{mm}$.

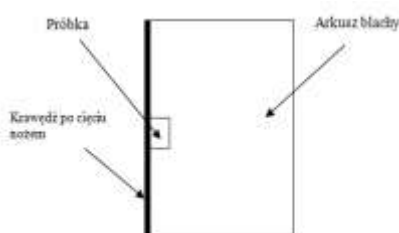
W trakcie badania zostanie dokonany pomiar czasu instalacji noży krążkowych i kontrola poprawności ich ustawienia. W drugiej części badania zostanie przeprowadzona zamiana ustawień zamontowanych noży. Przeprowadzony zostanie pomiar czasu korekty ustawienia noży i sprawdzenie dokładności ustawienia. Przeprowadzona zostanie zmiana ustawień noży tnących na wymiar - badanie nr2:

- $a = 100\text{mm}$,
- $b = 200\text{mm}$,
- $c = 1000\text{mm}$.

Po zmianie ustawień zostanie przeprowadzone cięcie testowe dla blachy o grubości 1mm mające na celu sprawdzenie poprawności ustawień.

2.2. Badanie metalograficzne krawędzi ciętych blach

W celu określenia jakości krawędzi ciętych oraz dokładności ustawień noży tnących mocowanych na przekładki i w tulejach postanowiono przeprowadzić proces rozkroju blachy o grubości 0,7mm. Próbki zostaną pobrane na 4, 10 i 18 metrze rozkrojonej blachy. Pobrane próbki zostaną podane kontroli zgodnie z schematem pokazanym rys. 2.



Rys. 2. Schemat pobrania próbek do badań metalograficznych

Próbki zostaną oczyszczone w myjce ultradźwiękowej i zainkludowane w żywicy. Następnie wykonany zostanie proces szlifowania i polerowania na szlifierko-polerce firmy „STRUERS”. Wykorzystane zostaną papiery wodne o ziarnistości od 150 do 1200 oraz tarcze i zawiesziny polerskie o granulacji: 6 μ m, 3 μ m, 1 μ m. Badania krawędzi ciętych blach zostaną przeprowadzone z wykorzystaniem mikroskopu optycznego Axio Observer.A1m na zglądach metalograficznych nietrawionych przy powiększeniu x50 i x100.

3. WYNIKI BADAŃ

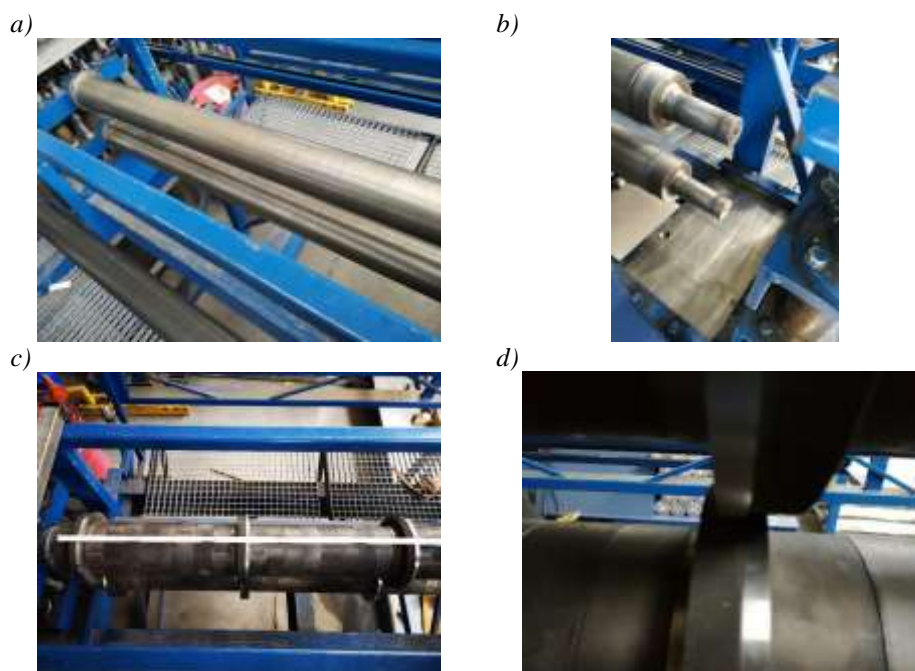
3.1. Badanie wpływu sposobu mocowania noży krążkowych na dokładność i czas ustawień

Zgodnie z przyjętą metodyką badawczą zaplanowano instalacje noży krążkowych montowanych na przekładki zgodnie z rysunkiem 1.

W cel określenia wpływu stosowania noży krążkowych mocowanych na przekładkach na dokładność cięcia i czas wykonane zostały następujące czynności:

- uniesienie wału górnego (rozpoczęcie pomiaru czasu),
- odsunięcie prawej podpory,
- oczyszczenie powierzchni wału (kontrola wizualna),
- dobranie osprzętu do ponownego ustawienia,
- montaż osprzętu na wałach (przekładki dystansowe, noże krążkowe tnące oraz krążki gumowe),
- dosunięcie prawej podpory,
- opuszczenie górnego wału,
- dobranie szczeliny noży do grubości ciętej blachy (zakończenie pomiaru czasu).

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe zdjęcia z etapu montażu noży krążkowych na wały.



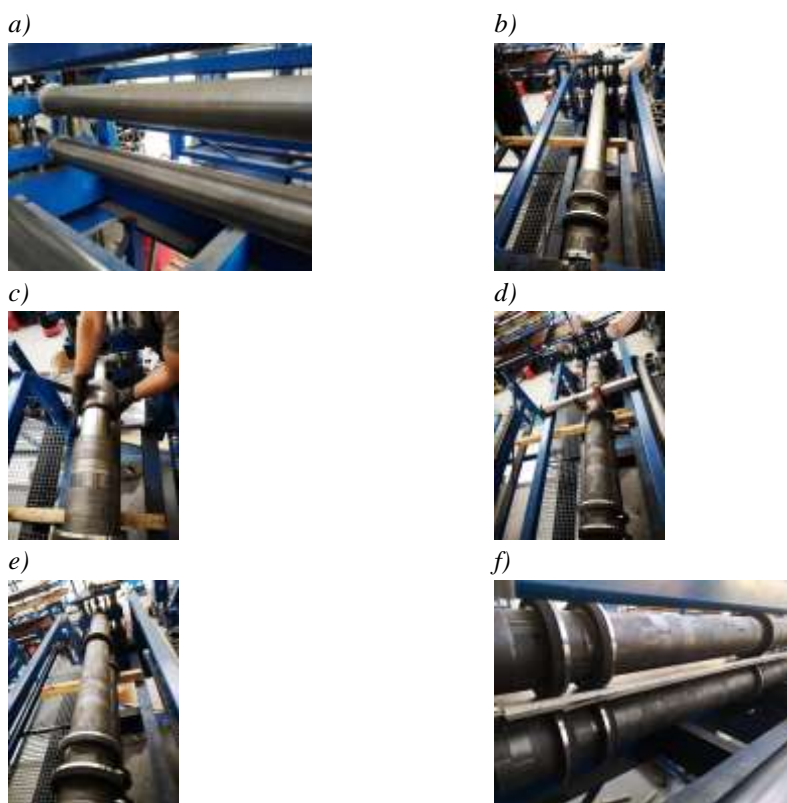
Rys. 3. Montaż noży krążkowych na wały, gdzie: a) wał gotowy do montażu noży, b) odsunięcie podpory wału, c) noże krążkowe i tuleje dystansowe zamontowane na wale, d) kontrola wielkości szczeliny

Czas trwania montażu i ustawiania noży do momentu uzyskania gotowości do pracy wynosi **53 minuty**.

W celu zmian ustawień noży krążkowych zostały wykonane następujące czynności:

- uniesienie wału górnego (rozpoczęcie pomiaru czasu),
- odsunięcie prawej podpory,
- demontaż osprzętu znajdującego się na wałach (przekładki dystansowe, noże krążkowe tnące oraz krążki gumowe),
- dobranie osprzętu do ponownego ustawienia,
- montaż osprzętu na wałach (przekładki dystansowe, noże krążkowe tnące oraz krążki gumowe),
- dosunięcie prawej podpory,
- opuszczenie górnego wału,
- dobranie szczeliny noży do grubości ciętej blachy (koniec pomiaru czasu).

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe zdjęcia wykonane w trakcie korekty ustawień krążkowych noży tnących.



Rys. 4. Korekta ustawień noży krążkowych, gdzie: a) usunięcie noży krążkowych i tulei dystansowych, b, c, d, e) montaż noży krążkowych i tulei dystansowych na wały, f) kontrola ustawień noży krążkowych

Czas trwania demontażu oraz ponowny montaż noży krążkowych i tulei dystansowych do momentu uzyskania gotowości do pracy wynosi **71min** z czego: demontaż trwa **18min**, ponowny montaż **53min**.

W cel określenia wpływu stosowania noży krążkowych mocowanych w tulejach na dokładność cięcia i czas wykonane zostały następujące czynności (wały są puste gotowe do pracy):

- uniesienie wału górnego (rozpoczęcie pomiaru czasu),
- odsunięcie prawej podpory,
- oczyszczenie powierzchni wału (kontrola wizualna),

- przygotowanie noży,
- zamontowanie noży na wałach,
- dosunięcie prawej podpory,
- opuszczenie górnego wału,
- dobranie szczeliny noży do grubości ciętej blachy (koniec pomiaru czasu).

Poniżej na rys. 5 przedstawiono odsunięcie prawej podpory na umożliwiającą montaż noży krążkowych.

a)



b)



c)



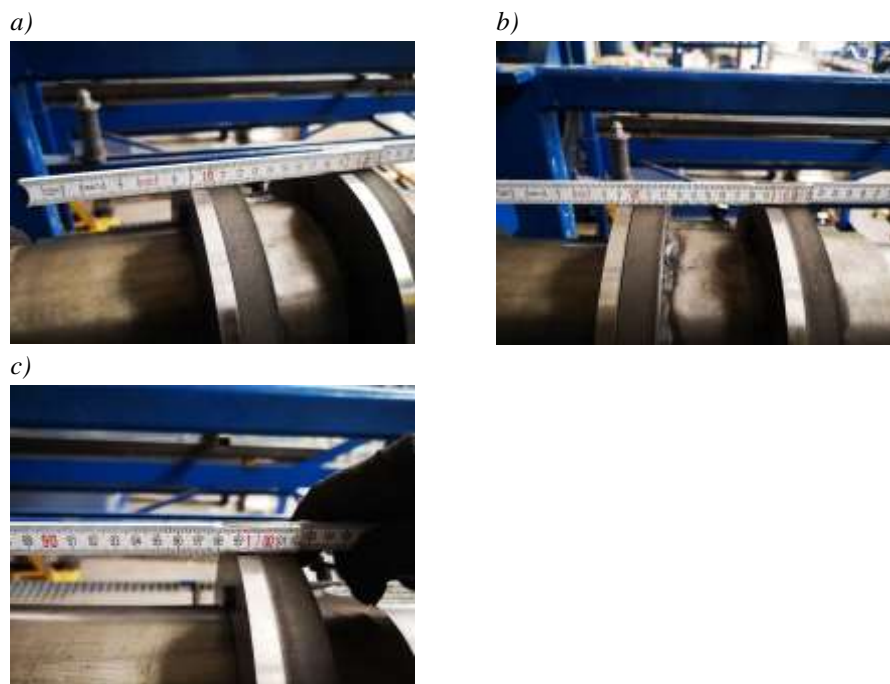
Rys. 5. Montaż noży krążkowych mocowanych w tulejach, gdzie: a) odsunięcie prawej podpory, b) montaż noży krążkowych mocowanych w tulejach, c) kontrola ustawień

Czas trwania montażu i ustawiania noży do momentu uzyskania gotowości do pracy wynosi **29min.**

W tym celu wykonane zostały następujące czynności:

- odkręcenie śrub dociskających tuleje,
- korekta ustawienia noży zgodnie z wymiarami ciętej blachy ($a = 100\text{mm}$, $b = 200\text{mm}$, $c = 1000\text{mm}$),
- dobranie szczeliny noży do grubości ciętej blachy,
- dokręcenie śrub dociskających tuleje.

Na rys. 6 pokazano zdjęcie w trakcie dokonywania korekty ustawień dla krążkowych mocowanych w tulejach.



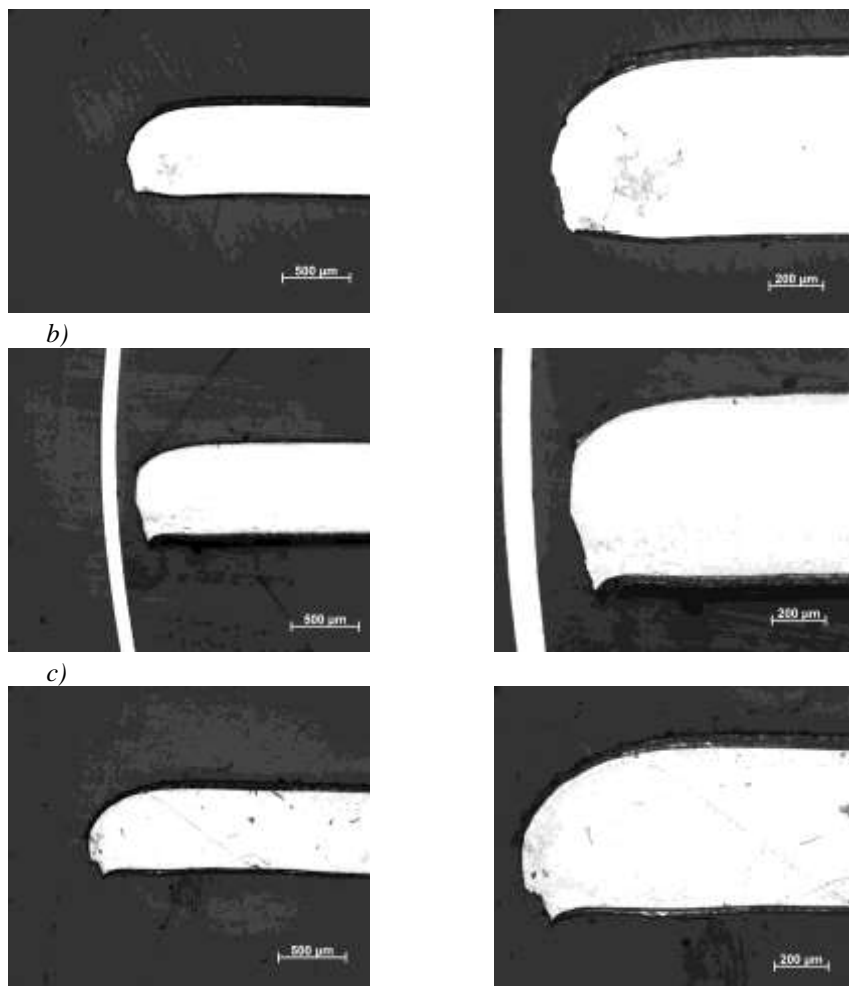
Rys. 6. Korekta ustawień noży krążkowych mocowanych w tulejach, gdzie: a) ustawienie noża (a), b) ustawienie noża (b), c) ustawienie noża (c)

Czas trwania ustawiania noży (korekta ustawień) do momentu uzyskania gotowości do pracy wynosi **14minut**.

3.2. Badanie metalograficzne krawędzi ciętych blach

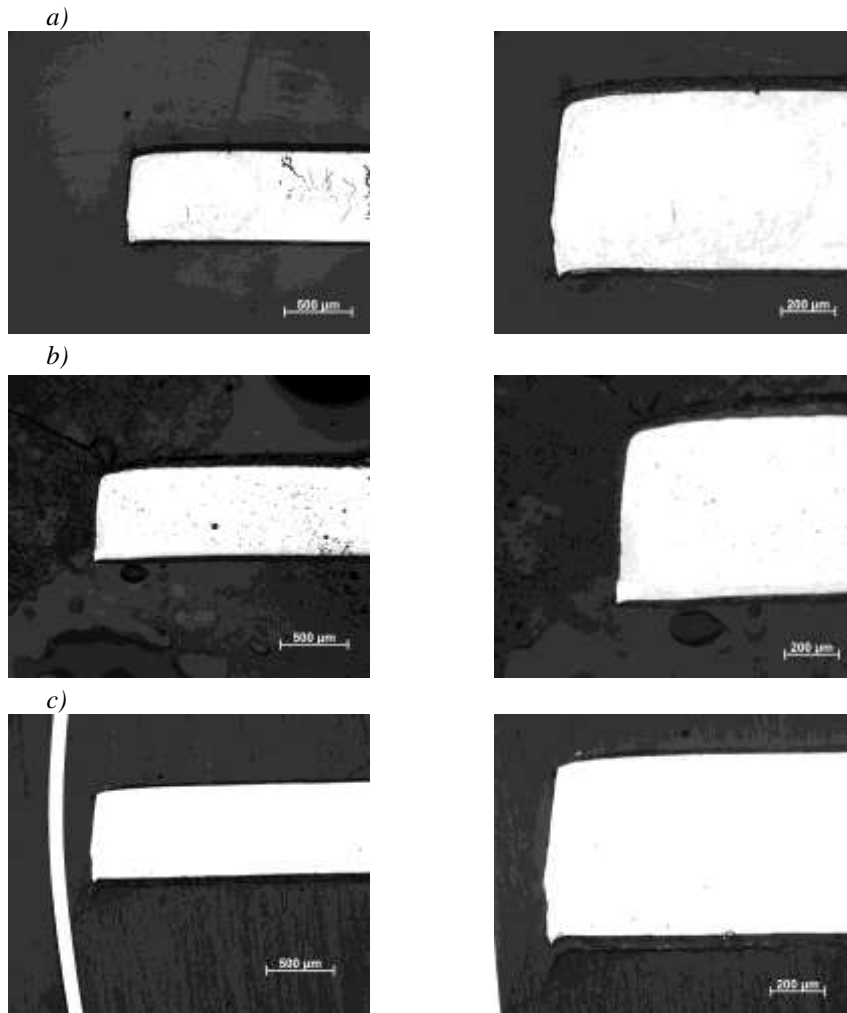
Poniżej na rys. 7 przedstawiono przykładowe zdjęcia krawędzi ciętej blachy dla noży krążkowych mocowanych na przekładki (dla noża -b. rys.1.).

a)



Rys. 7. Krawędź blachy po procesie cięcia dla noży krążkowych mocowanych na przekładki (pow.x50, x100), gdzie: a) próbka pobrana na 4m, b) próbka pobrana na 10m, c) próbka pobrana na 18m

Na rys. 8 przedstawiono przykładowe zdjęcia krawędzi ciętej blachy dla noży krążkowych mocowanych w tulejach (dla noża -b. rys.1.).



Rys. 8. Krawędź blachy po procesie cięcia dla noży krążkowych mocowanych w tulejach (pow.x50, x100), gdzie: a) próbka pobrana na 4m, b) próbka pobrana na 10m, c) próbka pobrana na 18m

4. POSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań dla noży krążkowych mocowanych na przekładki oraz mocowanych w tulejach możemy zauważyć duże różnice w procesie technologicznym montażu noży. Czas montażu noży mocowanych na przekładki wynosi 53 min, a noży mocowanych w tulejach 29 min. Korekta ustawień noży służących do

rozkroju blach jeszcze bardziej uwidacznia różnicę pomiędzy prezentowanymi dwoma metodami. Korekta ustawień dla noży mocowanych na przekładki 71min (demontaż 18min, ponowny montaż na wał 53min), a noży mocowanych w tulejach 14min.

Wszystkie krawędzie cięte mieszczą się w normie. Największa gładkość powierzchni blach stwierdzono dla noży krążkowych mocowanych w tulejach. Dla noży krążkowych mocowanych na przekładki stwierdzono wielkość luzu optymalny/ granica powiększania się luzów. Natomiast dla noży krążkowych mocowanych w tulejach stwierdzono luz normalny/ cięcie dokładne.

Na zdjęciach 7 widoczne jest zaokrąglenie w górnej części materiału ciętego przy zastosowaniu noży krążkowych mocowanych na przekładki, a w dolnej części obserwowanej próbki blachy widoczny jest grad. Wielkość powstałego gradu mieści się w normie - luz optymalny. Zmiana wielkości szczeliny może spowodować zmniejszenie wielkości gradu. Na zdjęciu 8 widoczne są krawędzie cięte blachy powstałe w wyniku procesu cięcia przy zastosowaniu noży mocowanych w tulejach. Na podstawie przeprowadzonych badań metalograficznych i przedstawionych zdjęciach wykonanych zglądów krawędzi ciętych blach możemy zauważyć występujący niewielki zadziór (grad) w dolnej części blachy.

W procesie technologicznym rozkroju blach przy użyciu noży krążkowych zaleca się stosowanie luzu zmniejszonego o ok. 50% do luzu normalnego ze względu na zużycie się narzędzia. Luz taki stosuje się dla linii pracujących w sposób automatyczny w zespołach z podajnikami. Luz taki przyczynia się do zwiększenia rezerwy na zużycie się noża co ma znaczenie w produkcji seryjnej i masowej. Zastosowanie luzów minimalnych przy podwyższonej jakości cięcia może powodować przyspieszone zużycie noży krążkowych.

Opracowane nowe rozwiązanie mocowania noży krążkowych do rozkroju blach w firmie Dach-Metal wpłynie na:

- zwiększenie wydajności procesu produkcyjnego,
- konkurencyjność firmy,
- kondycje finansową,
- umożliwi dotarcie do nowych rynków zbytu,
- poprawi warunki i bezpieczeństwo pracy.

5. LITERATURA

- [1] **Kałasznikow A., Klos S.**, *Badanie wpływu parametrów procesu cięcia plazmowego na jakość wyrobu*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, 2018. red. Knosala R. . T. 1, Opole : Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, pp. 554-563
- [2] **Wetzig A., Herwiga P., Hauptmann J., Baumann R., Rauscher P., Schlosser M., Leyensa Ch.** *Fast Laser Cutting of Thin Metal* Procedia Manufacturing Volume 29, 2019, pp. 369-374 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.150>

- [3] **Radovanovica M.**, *Multi-Objective Optimization of Abrasive Water Jet Cutting Using MOGA*. Procedia Manufacturing Volume 47, 2020, pp. 781-787 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.241>
- [4] **Bohdal Ł.**, *Analiza wpływu luzu między narzędziami tnącymi na strukturę geometryczną powierzchni przecięcia wyrobów kształtowanych na nożycach krążkowych*. PAK vol. 59, nr 7/2013, pp.159-163
- [5] **Bohdal Ł., Kukielka L.**, *Modelowanie i analiza numeryczna procesu cięcia blach nożami krążkowymi z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej i fizycznej*. Mechanik nr 8-9/2011r. s. 712-716.
- [6] **Bohdal Ł.**, *Finite element simulation of 3D sheet metal guillotining using elastic/visco-plastic damage model*. Steel Research International. Special Edition: 14th International Conference on Metal Forming 2012, pp. 1419-1422.
- [7] **Faura F., Garcí'a A., Estrems M.**, *Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process*. Journal of Materials Processing Technology 1998, Vol. 80-81., pp. 121-125.
- [8] **Tekiner Z., Nalbant M., Hakan G.**, *An experimental study for the effect of different clearances on burr, smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal*. Materials and Design 2006, Vol. 27., pp. 1134-1138.
- [9] **Kwak T.S., Kim Y.J., Bae W.B.**, *Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking*. Journal of Materials Processing Technology 2002, Vol. 130-131., pp. 462-468.
- [10] **Erbel S., Kuczyński., Marciniak Z.**, *Obróbka Plastyczna*. PWN, Warszawa 1981

Słowa kluczowe: cięcie, noże krążkowe, szybkość ustawienia, jakość cięcia

Praca realizowana w ramach projektu

"Wprowadzenie innowacji w przedsiębiorstwie DACH-METAL Producent Pokryć Dachowych Czesław Wawrzyniak poprzez wprowadzenie prac badawczo-rozwojowych"
numer projektu: RPWP.01.02.00-30-0035/16



„Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 003/RID/2018/19 kwota finansowania 11 936 596.10 zł” lub jej odpowiednikiem w języku obcym.

OCENA METALOGRAFICZNA BLASZANYCH POKRYĆ DACHOWYCH PROFILOWANYCH METODĄ NA RĄBEK

1. WPROWADZENIE

Pokrycia dachowe wykonane z blachy cieszą się ogromną popularnością. Blachy dachowe dzielą się pod względem sposobu tłoczenia, przez co osiągają odmienną formę. Jedną z najstarszych i najbardziej popularnych technologii w budownictwie jest tzw. blacha na rąbek stojący. System pokrycia dachowego metodą na rąbek polega na łączeniu wyprofilowanych blach przez odpowiednie zaginanie blachy na całej jej długości. Szczelność połączenia blach uzyskuje się dzięki zagięciu ich bocznych krawędzi. Firma Dach-Metal zaproponowała nowe rozwiązanie łączenia blach metodą na rąbek, w którym arkusz blachy posiada wyprofilowane zagięcia brzegowe spełniające rolę mechanizmu zamka i umożliwiające połączenie ze sobą kolejnych arkuszy. Taki sposób łączenia blach pozwoli między innymi na poprawę powtarzalności, szybkości i łatwości łączenia elementów dachu.

Pomimo stosowania na pokrycia dachowe materiałów o bardzo dobrych właściwościach plastycznych, dokonywana przeróbka plastyczna na zimno (gięcie, tłoczenie) może powodować wystąpienie wad w kształtowanych blachach np. w postaci mikropęknięć [1-4]. Mikropęknięcia te w sposób znaczący obniżają trwałość pokrycia dachowego poprzez obniżenie odporności korozyjnej blachy.

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest mikroskopowa ocena wpływu rodzaju materiału i procesu kształtowania blach na jakość wytworzonych profili.

2. METODYKA BADAŃ

W celu wykonania badań metalograficznych gotowych wyrobów (blach profilowanych na rąbek) próbki pobrano z sześciu rodzajów pokryć dachowych:

- a) blacha Zn-Ti, grubość od 0,6mm,
- b) blacha Zn-Ti, grubość od 0,6mm z warstwą anodową,
- c) stal DX51 (9005D)- 0,5mm- czarna,
- d) blacha miedziana- 0,55mm,
- e) stal DX51 (3005)- 0,5mm- czerwona (wiśniowy połysk),
- f) stal DX51 (3005D)- 0,5mm- czerwona (mat).

Profile, z których pobrano próbki oraz zglądy metalograficzne przedstawiono w tabeli 1.

Z blach testowych pobrano próbki w postaci przekrojów poprzecznych miejsc występowania łączników. W celu wykonania zglądów metalograficznych, próbki zainkludowano w żywicy epoksydowej. Zglądy szlifowano stosując papiery wodne ściernie o ziarnistościach od 150 do 1200.

Tab.1. Zestawienie profili i zglądów metalograficznych użytych do badań

Nr	Rodzaj materiału	Profil	Łącznik 1	Łącznik 2
1	Zn-Ti			
2	Zn-Ti (z warstwą anodową)			
3	Stal DX51-czarna			
4	Miedź			
5	Stal DX51 – czerwona			
6	Stal DX51 - czerwony mat			

Następnie próbki polerowano na półautomatycznej szlifierko- polerce firmy Struers stosując tarczę polerską MD-DAC z zawiesiną diamentową o ziarnistości $3\mu\text{m}$. Tak przygotowane zglądy trawiono odczynnikami:

- a) stale- Nital 3% (kwas azotowy + alkohol etylowy),
- b) miedź- Mi23Cu (100 g nadsiarczanu amonowego + 1 dm³ wody),
- c) Stop Zn-Ti - Ni35Zn (5cm³ HN03 + 95 cm³ alkoholu etylowego).

Badania mikroskopowe realizowano przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego JSM-5600LV firmy Jeol. Analizy metalograficzne próbek wykonano stosując detektor elektronów wstecznie rozproszonych przy powiększeniach $\times 50$ i $\times 100$. Badania te miały na celu ujawnienie wad wewnętrznych wywołanych przeróbką plastyczną blach, dlatego oprócz poszukiwania nieciągłości w materiale dokonywano także pomiarów grubości blach w miejscach ich pocienienia lub pogrubienia.

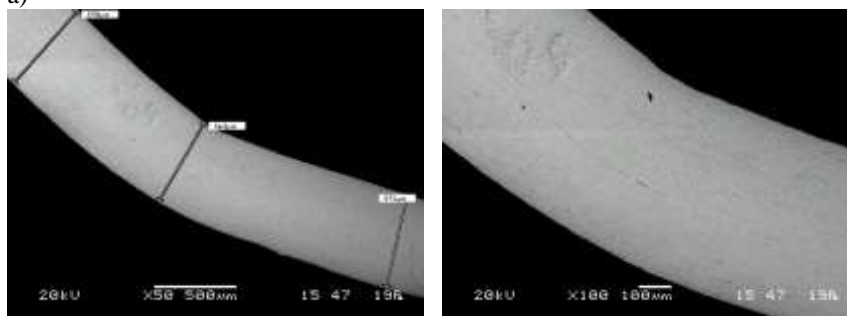
3. WYNIKI BADAŃ

Na kolejnych rysunkach przedstawiono przykładowe wyniki przeprowadzonych badań mikroskopowych. Rysunek 1 przedstawia zdjęcie zglądu metalograficznego z zaznaczonymi miejscami realizacji analiz oraz wyniki badań mikroskopowych próbki blachy 1 (Zn-Ti)- łącznik 1.

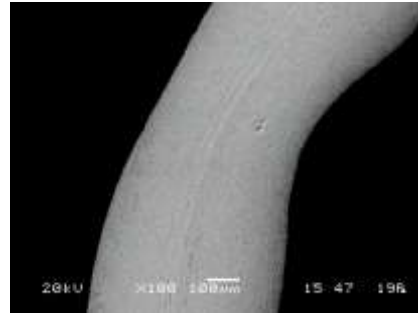
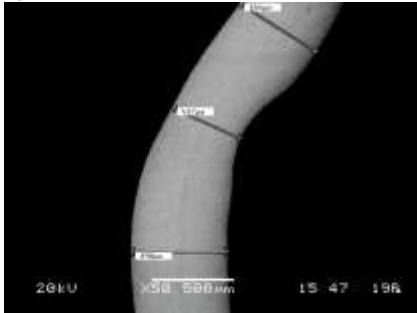
1A)



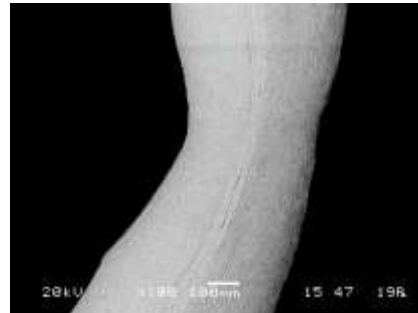
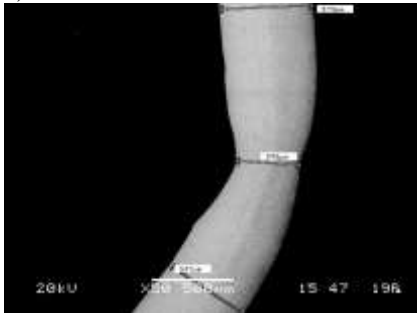
a)



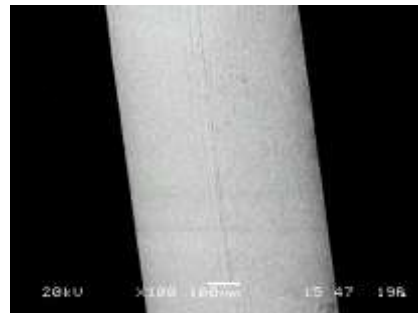
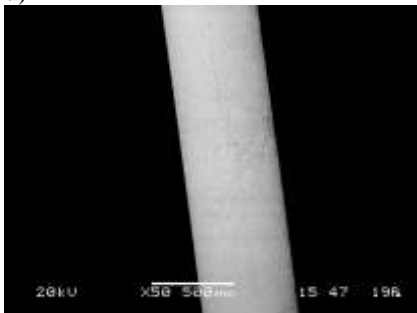
b)



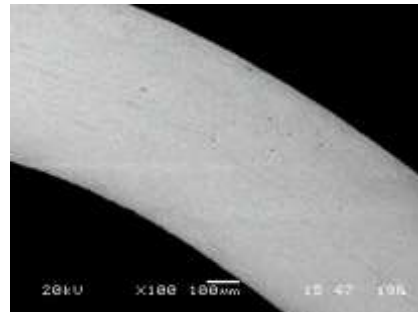
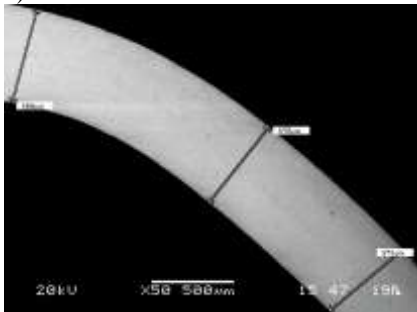
c)

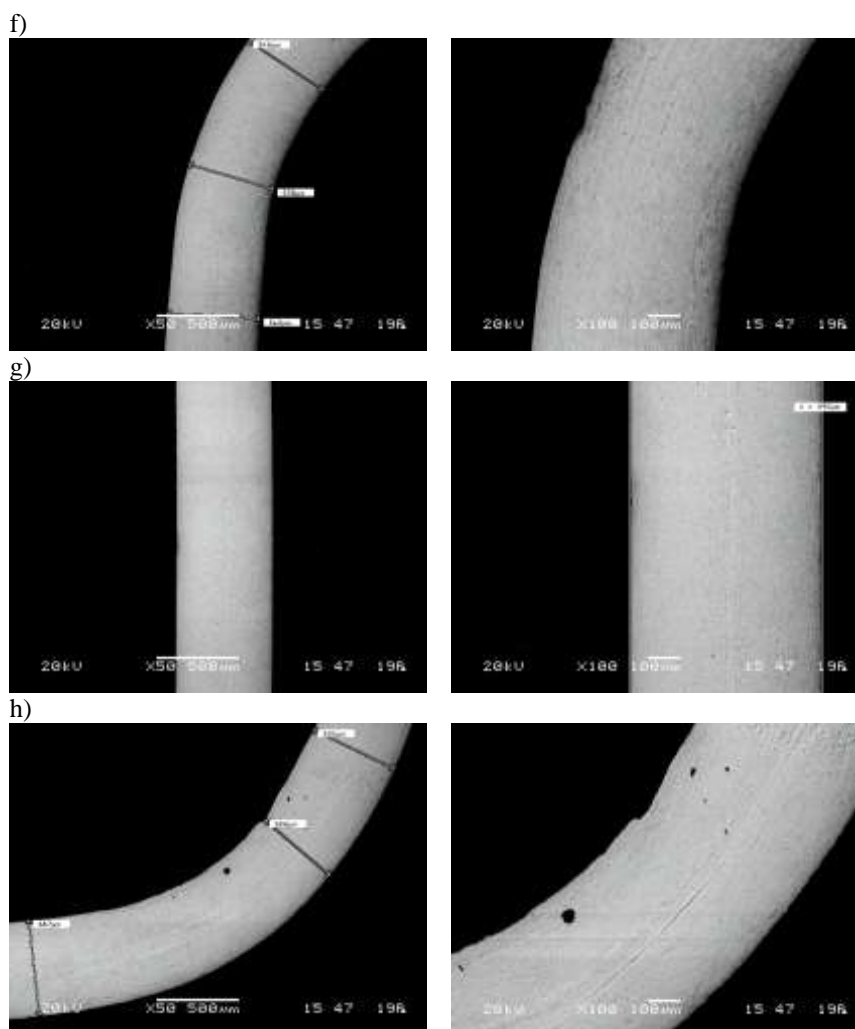


d)



e)

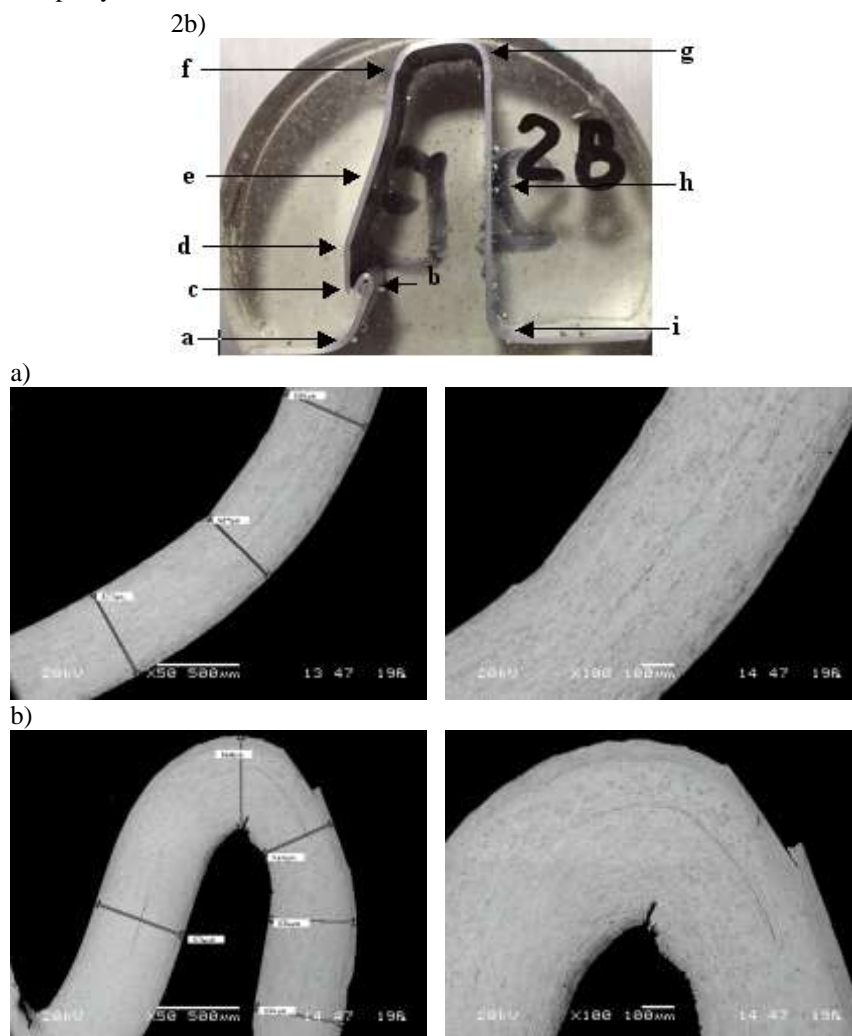




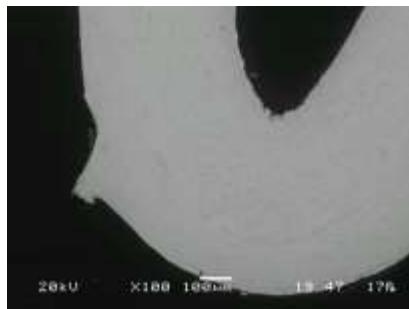
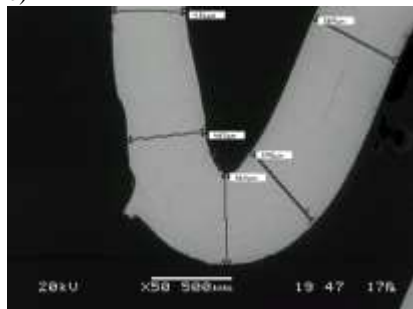
Rys. 1. Badania mikroskopowe próbki łącznika 1 blachy 1: 1A) zdjęcie makro próbki z zaznaczonymi miejscami analiz, a) pow. $\times 50$ i $\times 100$, b) pow. $\times 50$ i $\times 100$, c) pow. $\times 50$ i $\times 100$, d) pow. $\times 50$ i $\times 100$, e) pow. $\times 50$ i $\times 100$, f) pow. $\times 50$ i $\times 100$, g) pow. $\times 50$ i $\times 100$, h) pow. $\times 50$ i $\times 100$

Na podstawie badań metalograficznych próbki łącznika 1 blachy 1 ustalono, że w wyniku kształtowania nie wystąpiły nieciągłości materiału, ale stwierdzono występowanie znacznego pocienienia blachy (rys. 1c). W odniesieniu do grubości blachy przed kształtowaniem zmniejszenie grubości blachy wynosi 33,6%. Pomimo tak dużego pocienienia materiału nie ujawniono mikropęknięć, które mogłyby wpłynąć na obniżenie odporności na korozję.

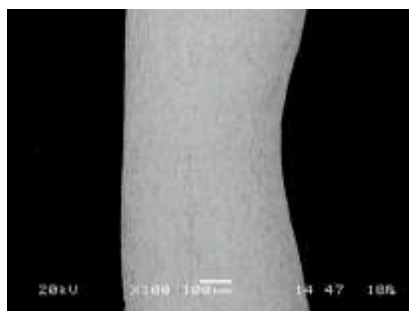
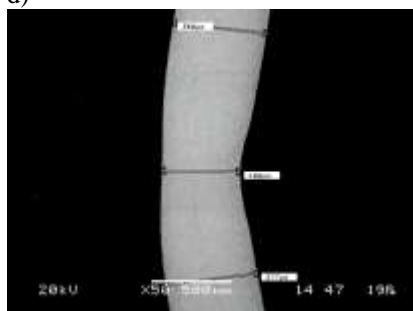
Na rysunku 2 przedstawiono zdjęcie zglądu metalograficznego próbki blachy 1 (Zn-Ti z warstwą anodową)- łącznik 1z zaznaczonymi miejscami realizacji analiz oraz wyniki badań mikroskopowych.



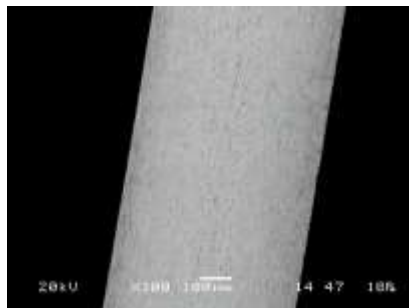
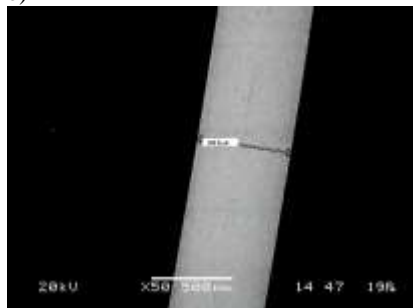
c)



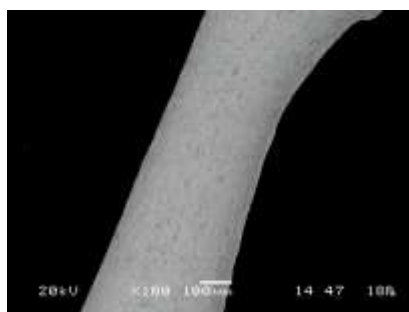
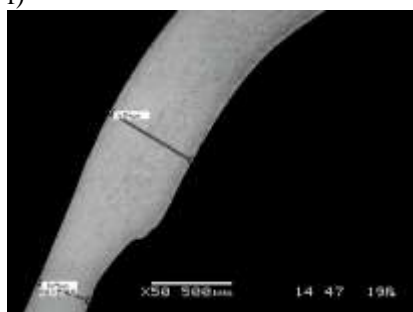
d)

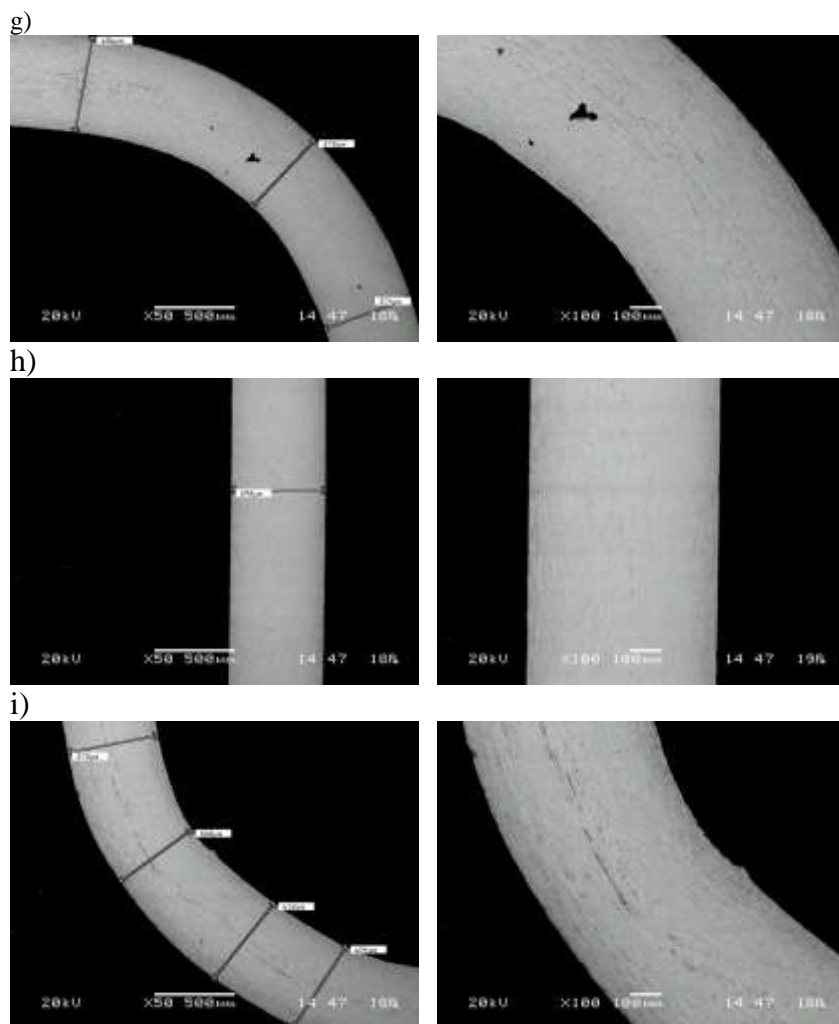


e)



f)





Rys. 2. Badania mikroskopowe próbki łącznika 2 blachy 2: 2b) zdjęcie makro próbki z zaznaczonymi miejscami analiz, a) pow. x50 i x100, b) pow. x50 i x100, c) pow. x50 i x100, d) pow. x50 i x100, e) pow. x50 i x100, f) pow. x50 i x100, g) pow. x50 i x100, h) pow. x50 i x100, i) pow. x50 i x100

Na podstawie badań metalograficznych blachy 2- łącznik 2 ustalono, że w wyniku kształtowania, największe pocienienie próbki (rys. 2f) w odniesieniu do grubości blachy przed kształtowaniem wynosi 42,7%. Pomimo tak znacznej zmiany wymiarów w miejscu tym nie ujawniono nieciągłości materiału. Wspomniane nieciągłości materiału ujawniono natomiast w miejscu występowania zamka (rys. 2b i 2c) w postaci mikropęknięcia i rozwarstwienia blachy.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w wyniku kształtowania:

- w próbkach blachy Zn-Ti (łączniki 1 i 2) największa wartość pocienienia materiału wynosi 56,2% (łącznik 2). Pomimo tak dużego pocienienia materiału nie ujawniono mikropęknięć, które mogłyby wpłynąć na obniżenie odporności na korozję;
- w próbkach pasywowanej blachy Zn-Ti (łączniki 1 i 2) największe wartości zmiany grubości odnotowano w łączniku 2 (42,7%). W miejscu tym nie ujawniono nieciągłości materiału. W łączniku 2 w miejscu występowania zamka ujawniono mikropęknięcie i rozwarstwienia w zewnętrznej części blachy. Zaobserwowane wady, wywołane nieodpowiednimi parametrami kształtowania, obniżają właściwości wytrzymałościowe i antykorozyjne blachy;
- w próbkach blachy stalowej DX51 9005D (łącznik 1 i 2) największą wartość pocienienia materiału (22,7%) odnotowano w miejscu występowania zamka łącznika 2. W obu próbkach nie odnotowano mikropęknięć;
- w próbkach profili blachy miedzianej największa wartość pocienienia materiału wynosi 38,5% (łącznik 2). W zewnętrznej części zamka (łącznika 2) ujawniono zmiany kształtu (rozwarstwienie), które jednak w przypadku miedzi nie stanowią problemu korozyjnego, ale mogą stanowić problem łączenia elementów.
- w próbkach profili blach DX51 (czerwona i czerwony mat) największe wartości pocienienia materiału występują w obszarze zamka (łączniki 2) i charakteryzują się najmniejszymi wartościami z wszystkich przebadanych próbek. Próbki te charakteryzują się również brakiem wad wewnętrznych.

Reasumując można stwierdzić, iż jedynie w przypadku próbek pasywowanej blachy Zn- Ti i blachy miedzianej ujawniono nieciągłości materiału- mikropęknięcia i rozwarstwienia, które w obu przypadkach występują w obszarze znacznego przegięcia blachy (zamek łącznika). W związku z tym, że wady te wystąpiły jedynie w tych dwóch przypadkach, czyli w materiałach o bardzo dobrych właściwościach plastycznych, należy prowadzić dalsze prace w kierunku doboru odpowiednich parametrów procesu kształtowania blach.

4. LITERATURA

- [1] **Huang S., He C., Zhao Y.** *Microstructure-based rve approach for stretch-bending of dual-phase steels.* J. Mater. Eng. Perform., 25 (3), 2016, pp. 966-976
- [2] **Liu Y., Fan D., Bhat S., Srivastava A.** *Ductile fracture of dual-phase steel sheets under bending.* International Journal of Plasticity, Volume 125, February 2020, pp. 80-96, <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2019.08.019>
- [3] **Roth C.C., Mohr D.** *Effect of strain rate on ductile fracture initiation in advanced high strength steel sheets: experiments and modeling.* Journal of Plasticity, 56, 2014, pp. 19-44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijplas.2014.01.003>
- [4] **Erbel S., Kuczyński., Marciniak Z.,** *Obróbka Plastyczna.* PWN, Warszawa 1981

Słowa kluczowe: obróbka plastyczna, badania mikroskopowe, nieciągłość materiału,

Praca realizowana w ramach projektu

"Wprowadzenie innowacji w przedsiębiorstwie DACH-METAL Producent Pokryć Dachowych Czesław Wawrzyniak poprzez wprowadzenie prac badawczo-rozwojowych"
numer projektu: RPWP.01.02.00-30-0035/16



„Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 nr projektu 003/RID/2018/19 kwota finansowania 11 936 596.10 zł” lub jej odpowiednikiem w języku obcym.

REDUKCJA KOSZTÓW PROCESU SPAWALNICZEGO POPRZEZ WDROŻENIE ZMIAN TECHNICZNYCH I ORGANIZACYJNYCH

1. WPROWADZENIE

Spawanie jest obecnie najpowszechniejszą technologią wytwarzania różnych konstrukcji. Zazwyczaj są to konstrukcje stalowe, takie jak: mosty, dźwigi, korpusy maszyn i urządzeń, zbiorniki ciśnieniowe, a także instalacje wykorzystywane w przemyśle rafineryjnym i energetycznym (wszelkiego rodzaju rurociągi). Obecne technologie spawalnicze są w dużym stopniu zautomatyzowane oraz kontrolowane przez systemy nadzorujące jakość złączy spawanych. Jednak mimo tak zaawansowanej techniki producenci nie są w stanie zapewnić spoin bez wad.

Spawanie jest najczęściej stosowaną technologią, która może zostać zautomatyzowana poprzez robotyzację. Zastosowanie robotów pozwala osiągnąć wiele korzyści, zarówno jeżeli chodzi o efektywność produkcji, w dużej mierze robotyzacja przyczynia się do wzrostu poziomu jakości złączy spawanych. Robot może pracować przez całą dobę, bez przerw, z identyczną dokładnością i niezmienną sprawnością – co w procesie produkcji jest niezwykle istotne. Dodatkowo nowoczesne systemy nadzorujące pozwalają na kontrolę parametrów spawania w czasie rzeczywistym [1,2,3,14,15].

Kontrola jakości spawania pozwala określić poprawność wykonania spoiny pod względem jej wielkości i wtopienia. Wtopienie złącza spawanego jest niezwykle istotne, ponieważ od niego zależy wytrzymałość połączenia. Oprócz sprawdzenia parametrów fizycznych, pozwala również na sprawdzenie czy występują niezgodności zewnętrzne i wewnętrzne. To niedoskonałości w złączu lub obok niego, które w większości przypadków mają wpływ na wytrzymałość jak i wygląd złącza. Kontrola złączy spawanych może być przeprowadzona z wielu powodów. Głównym celem jest ustalenie, czy jakość złącza jest odpowiednia, czyli czy spełnia oczekiwania i założenia konstrukcyjne, dlatego też aby ocenić jakość złącza, potrzebny jest dokument, który będzie punktem odniesienia i pozwoli poznać przeznaczenie i założenia wytrzymałościowe wykonywanego złącza. Próba oceny jakości spoiny bez określenia kryteriów jej akceptacji jest niemożliwa. Najczęściej wymagania odnoszące się do jakości spoiny, a także do jej wymiarów geometrycznych (długość, wysokość, czasami szerokość) zawierane są na rysunkach i schematach konstrukcyjnych. Te wymogi określane są na podstawie obliczeń oraz analiz, a w wielu przypadkach kryteria te zawarte są w wewnętrznych normach, np. koncern VW posiada wewnętrzne normy, które określają jakie założenia muszą być

spełnione w określonych konstrukcjach samochodowych. Normy te zawierają również zapisy o dopuszczalnych odchyleniach [5,6,7,16,17,18].

2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU ANALIZY

SITECH Sp. z o.o. jest wiodącym producentem metalowych stelaży siedzisk samochodowych do modeli samochodów produkowanych przez koncern VW. Firma założona została w 1998 roku w Polkowicach przez dwie niemieckie spółki – Volkswagen AG oraz KWD GmbH.

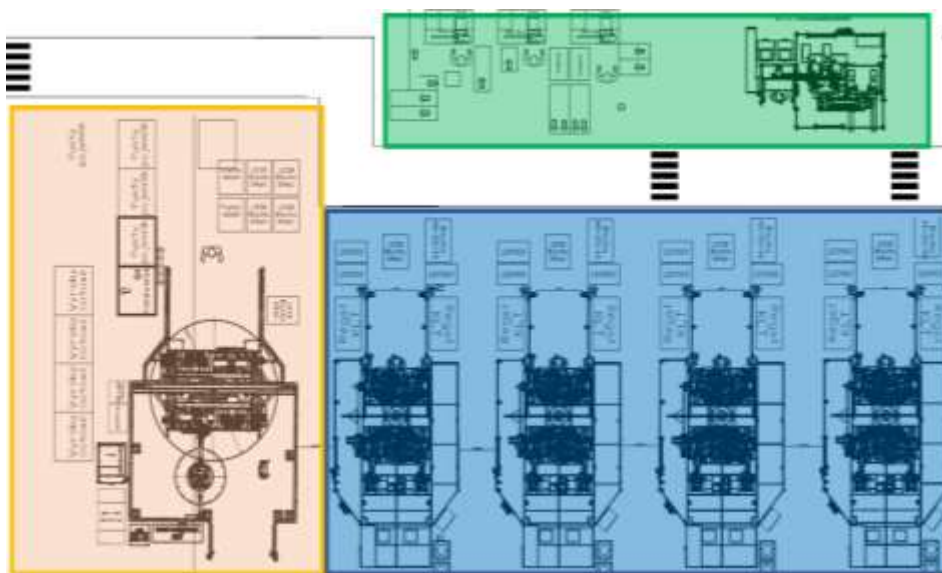
Grupa SITECH jako podstawę swojej strategii przyjmuje strategię koncernu VW, jednak wprowadzając zmiany uwarunkowane wewnętrznymi uregulowaniami i zasadami. Nowa strategia nosi nazwę „Strategia SITECH 2025 +” i składają się na nią cztery główne obszary: zadowoleni klienci, przyszłościowe produkty i procesy, mocny zespół oraz finansowe zabezpieczenie przyszłości, rys. 1. Każdy z tych obszarów opisany jest przez nie mniej niż trzy główne założenia, których spełnienie powinno skutkować prawidłowym funkcjonowaniem oraz rozwojem przedsiębiorstwa.



Rys. 01. Strategia SITECH [20]

W 2017 w Głogowie zaczęto industrializację nowego projektu, którego produkty trafiają do aut klasy premium, czyli do Audi. Modele samochodów jakich dotyczy ten projekt to A6 Limousine, A6 Avant oraz A7 Sportback, a od niedawna także e-tron. Komponenty, które są wykonywane to oparcia drugiego rzędu. Projekt obejmuje procesy

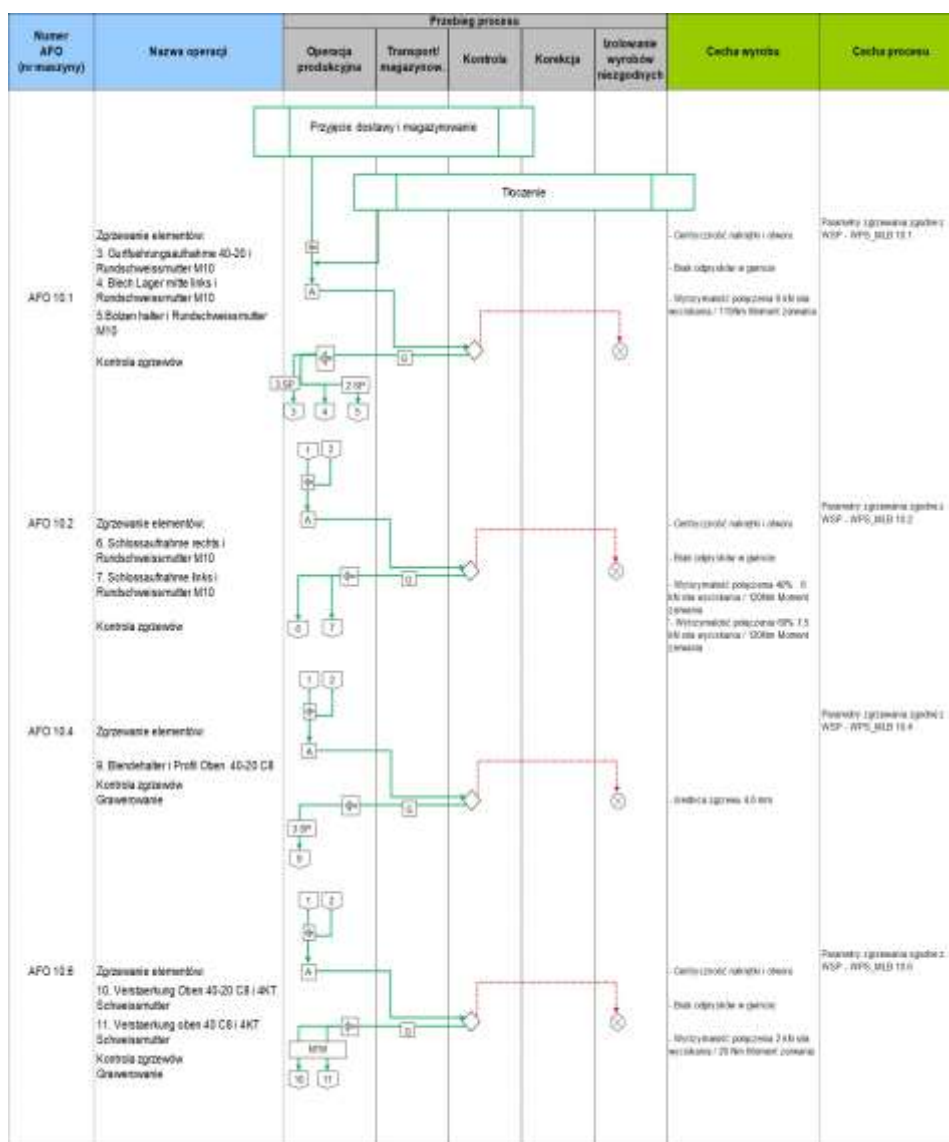
takie jak zgrzewanie garbowe, spawanie metodą MIG/MAG (nowoczesna technologia CMT) oraz spawanie laserowe. Lakierowanie oraz montaż końcowy odbywa się w SITECH Polkowice. Na layoutcie (rys. 2) umieszczone są urządzenia wykorzystywane do produkcji w projekcie MLB C8 w Głogowie, obszar podzielony został na wykorzystywane technologie produkcji, i tak na cały projekt składają się cztery zgrzewarki oznaczone kolorem zielonym, cztery kabiny spawalnicze oznaczone na niebiesko oraz jedna kabina spawania laserowego – kolor żółty. Bardzo istotnym faktem, jest to, że każda kabina spawalnicza (technologia CMT i laser) posiada dwa narzędzia spawalnicze tzw. matryce, które w nomenklaturze wewnątrz zakładowej oznaczane są jako v1 - matryca pierwsza oraz v2 - matryca druga. W niektórych przypadkach możliwa jest produkcja różnych konstrukcyjnie modeli na tej samej kabynie – możliwość ta wynika właśnie z podwójnego narzędzia spawalniczego.



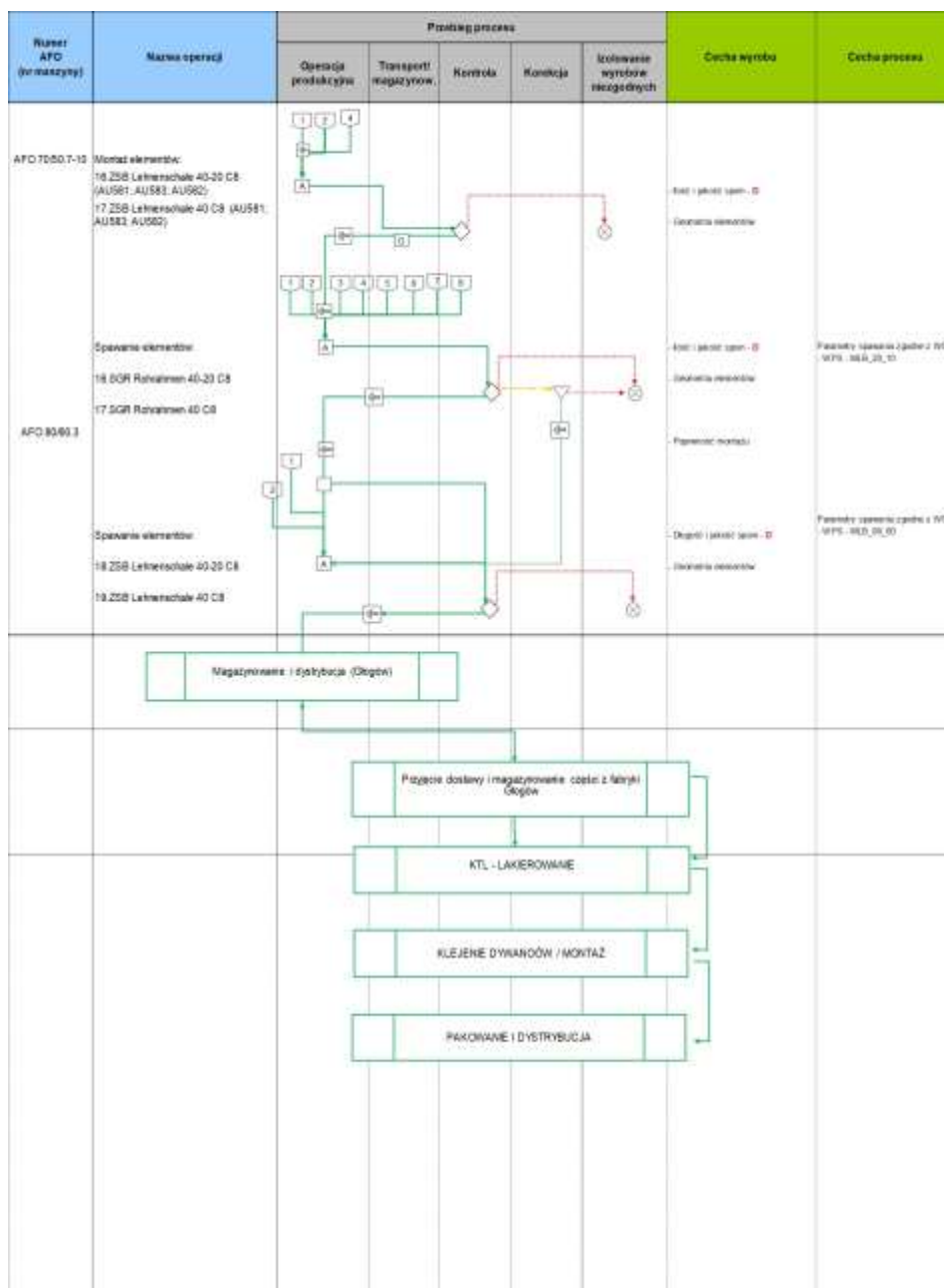
Rys. 2. Layout MLB C8 w SITECH o/Głogów [opr. własne]

Proces przebiega kaskadowo, a półprodukty ze zgrzewarek oraz części pojedyncze z magazynu trafiają na kabiny spawania CMT, gdzie następuje proces spawania całej ramy tylnego oparcia, trwa to około 5 minut – w tym czasie dwa roboty z oprzyrządowaniem do spawania zautomatyzowanego wykonują ponad sto spoin. Następnym etapem produkcyjnym jest przyspawanie metodą laserową blachy (połączenie ramy oparcia z blachą), na którą w późniejszym procesie przyklejona zostanie okładzina, która jest widoczna bezpośrednio przez każdego użytkownika samochodu w bagażniku. Po spawaniu laserowym gotowe wyroby odstawiane są na odpowiednie miejsca magazynowe i trafiają do Polkowic gdzie następuje lakierowanie, klejenie oraz montaż końcowy i wysyłka do klienta.

Na schematach (rys. 3. i rys. 4.) przedstawiono process flow w celu zobrazowania przepływu elementów pomiędzy poszczególnymi procesami i urządzeniami.

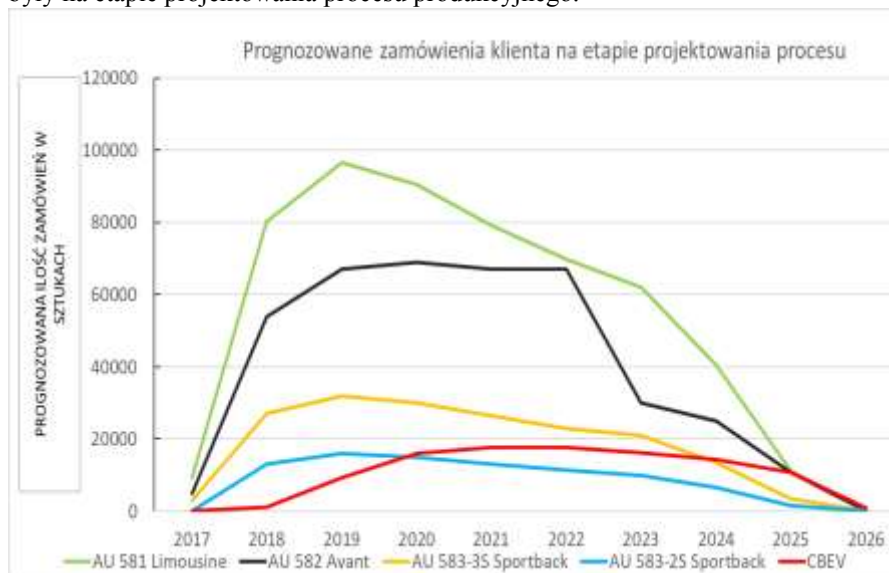


Rys. 2. Process flow urządzeń zgrzewających [opr. własne]



Rys. 03. Process flow spawalni oraz procesy wykonywane w SITECH Polkowice [opr. własne]

Na rysunku 5. przedstawiono prognozowane zamówienia klienta, które deklarowane były na etapie projektowania procesu produkcyjnego.



Rys. 0. Prognozowane zamówienia klienta [opr. własne]

Na bazie danych historycznych stwierdzono, że dane te sprawdzają się z różnicami na poziomie $\pm 3\%$, a wszystko zależy od aktualnej sytuacji na rynku, a także od spełnienia oczekiwań klientów odnośnie wyglądu oraz danych technicznych nowych modeli koncernu VW w porównaniu z odpowiednikami konkurencji.

Na etapie projektu dokonano analiz zdolności produkcyjnych poszczególnych urządzeń z planowanymi zamówieniami wykorzystując odpowiednie oprogramowanie oraz potwierdzono je fizycznymi pomiarami po uruchomieniu urządzeń w docelowym miejscu. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

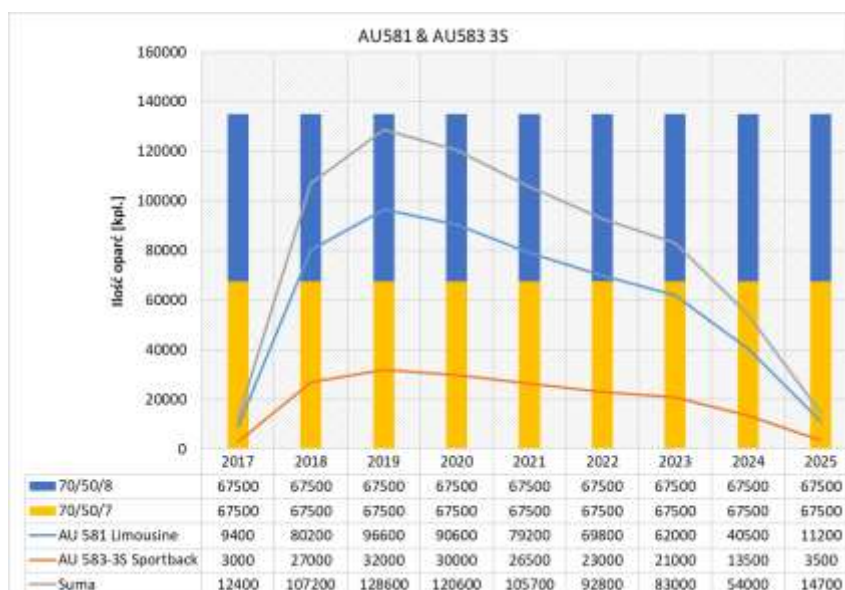
Mając takie dane obliczono dzienną, tygodniową, miesięczną a nawet w przybliżeniu roczną zdolność produkcyjną każdej maszyny. Zakładając 15 zmian tygodniowo, czyli 3 dziennie, zdolność maszyny to 90 kompletów. Przyjmując, że rok średnio ma około 250 dni pracujących otrzymano następujący wynik :

$$\text{Roczna zdolność produkcyjna} = 90\text{kpl} * 3\text{zm} * 250\text{dni} = 67\ 500\text{ kpl}$$

Na tej podstawie określono zdolność maszyn produkcyjnych, rys. 6.

Tab. 1. Normatywy MLB C8 [opr. własne]

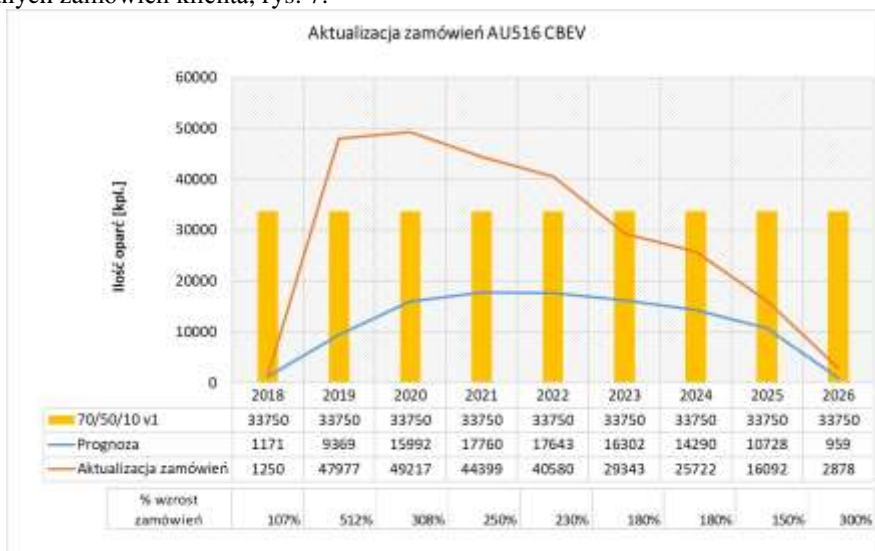
Spawanie			Rzeczywisty czas pracy [min.]		
			TPM - 15 min.	TPM - 220min.	Praca zespołowa
Model	Nazwa operacji	Stanowisko	420	215	375
AU581	CMT	AFO 70/50.7	90kpl / 1os	46kpl / 1os	80kpl / 1os
AU583 3S					
AU581	CMT	AFO 70/50.8	90kpl / 1os	46kpl / 1os	80kpl / 1os
AU583 3S					
AU582	CMT	AFO 70/50.9	90kpl / 1os	46kpl / 1os	80kpl / 1os
AU583 2S	CMT	AFO 70/50.10	90kpl / 1os	46kpl / 1os	80kpl / 1os
AU516 CBEV					
AU581	LASER	AFO 80/60.3	382kpl / 1os	204kpl / 1os	357kpl / 1os
AU582					
AU516					
AU583 2S					
AU583 3S					



Rys. 04. Zdolność maszyn - modele AU581, AU583 3S [opr. własne]

W związku z ciągle zmieniającymi się wymaganiami na rynku motoryzacyjnym związanym z emisją dwutlenku węgla do atmosfery koncerny samochodowe postanawiają poszerzać swoją ofertę aut elektrycznych. Sprzedaż aut elektrycznych rośnie w większym stopniu niż wcześniej prognozowano, tak więc zapotrzebowanie na stelaże

siedzisk i oparć samochodów rośnie. Zamówienia dla modelu AU 516 CBEV okazały się nieaktualne i konieczne stało się dostosowywanie urządzeń do nowych i zaktualizowanych zamówień klienta, rys. 7.



Rys. 0 Zaktualizowane zamówienia AUDI na model AU516 CBEV

3. PROPOZYCJE WDROŻENIA ROZWIĄZAŃ TECHNICZNO-ORGANIZACYJNYCH

Analizę możliwości zwiększenia ilości produkowanych wyrobów oparto na badaniach kilku rozwiązań, które pozwoliłyby na osiągnięcie wymaganej zdolności produkcyjnej, przy minimalnych kosztach.

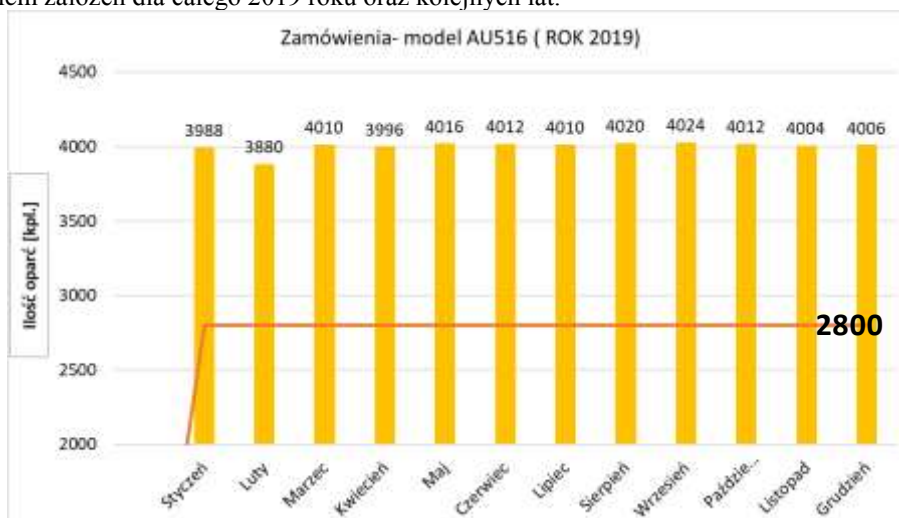
Rozważano następujące możliwości rozwiązania problemu:

- produkcja w godzinach nadliczbowych – dodatkowe zmiany weekendowe pamiętając o zachowaniu zapisów i regulacji z Kodeksu Pracy¹,
- możliwość produkcji wymaganych modeli na innych urządzeniach – techniczne zmiany w oprzyrządowaniu szablonów spawalniczych pamiętając o produkcji innych wariantów na poszczególnych maszynach,
- zakup nowej kabiny spawalniczej dedykowanej do produkcji wymaganego modelu.

Aby dokonać prawidłowej oceny i podjąć najbardziej optymalną decyzję zebrano dane wejściowe w rozbiciu planów produkcyjnych na miesiące, a nie tylko na lata, dodatkowo najbardziej problematyczne miesiące przedstawiono w sposób uwidaczniający produkcję tygodniową, rys.8.

¹ Zgodnie z KP z art. 133 §1 „Pracownikowi przysługuje w każdym tygodniu prawo do co najmniej 35 godzin nieprzerwanego odpoczynku, obejmującego co najmniej 11 godzin nieprzerwanego odpoczynku dobowego.”

Stwierdzono, że zamówienia w ciągu roku wahają się w pobliżu 4 000 kpl., tak więc dla ułatwienia analizy oraz procesu przeliczania danych związanych z wprowadzeniem optymalizacji pod uwagę wzięto tylko miesiące marzec - maj 2019. Wykazując poprawę zdolności i osiągnięcia zamierzonego celu dla tych miesięcy będzie skutkowało spełnieniem założeń dla całego 2019 roku oraz kolejnych lat.

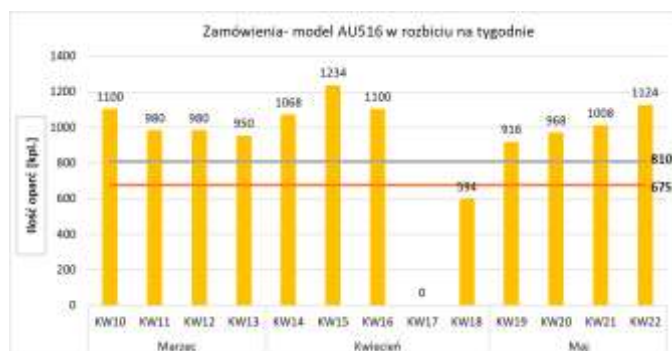


Rys. 5. Zamówienia na rok 2019 dla modelu AU516 CBEV [opr. własne]

Pierwszą propozycją było wprowadzenie zmian organizacyjnych pozwalających na produkcję w ciągu 18 zmian tygodniowo, a nie tak jak dotychczas przez 15 zmian (5 dni w tygodniu po 3 zmiany). Na rysunku 9 przedstawiono wycinek zamówień dla miesięcy marzec, kwiecień, maj (2019 rok) w rozbiciu na tygodnie. Na wykresie zaznaczono dwie linie ułatwiające wizualizację:

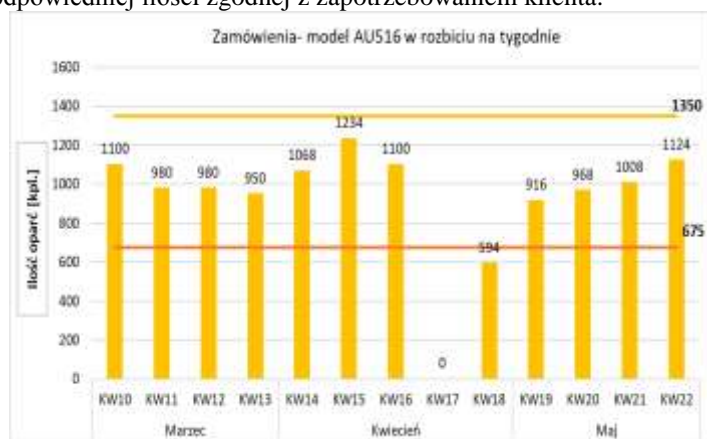
- linia na poziomie 675 kpl. oznaczona kolorem czerwonym. Linia ta reprezentuje zdolność procesu produkcyjnego do produkcji modelu AU516 w 15-nasto zmianowym tygodniu pracy, analogicznie linia na poziomie 2800 kpl. reprezentuje miesięczną zdolność produkcji tego modelu,
- druga linia oznaczona kolorem szarym na poziomie 810 kpl. reprezentuje zdolności produkcyjne z dodatkowymi trzema zmianami weekendowymi. Są to dwie zmiany w sobotę oraz nocna zmiana w niedzielę – maksymalna ilość zmian weekendowych jaka może zostać wykonana przy zachowaniu przepisów i Kodeksu Pracy.

Po analizie postawiono tezę, że same zmiany organizacyjne w przedsiębiorstwie nie przyniosą zamierzonych efektów i nie będą właściwym rozwiązaniem problemu. Sytuacja za sprawą takich zmian może zostać polepszona, ale mimo wszystko SITECH nie będzie w stanie sprostać wymaganiom klienta, a tym samym dostarczyć odpowiedniej ilości oparć samochodowych.



Rys.9. Zamówienia dla modelu AU516 CBEV w rozbiściu na tygodnie dla miesięcy marzec-kwiecień 2019 roku – zmiana organizacyjna² [opr. własne]

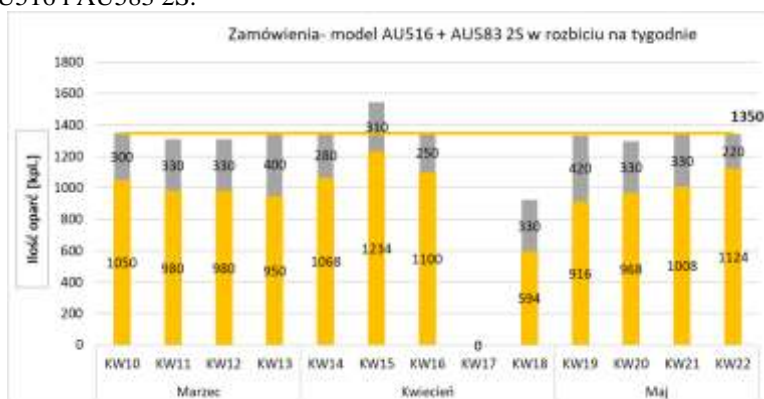
Kolejnym rozwiązaniem jest techniczna zmiana w drugiej matrycy spawalniczej na kabynie 70/50/10 pozwalająca na produkcję modeli: AU583 2S (stan aktualny) oraz dodatkowo AU516 – po wprowadzeniu zmian. Aby fizycznie dokonywać zmian najpierw należy wykonać analizę teoretyczną, na podstawie której podjąć będzie można ostateczną decyzję czy rozwiązanie przyniesie oczekiwane rezultaty. Na wykresie oznaczono zdolność produkcji modelu AU516 jeżeli spawać można by go na dwóch matrycach kabiny 70/50/10 – zdolność maszyny w tym wypadku oznaczona została pomarańczową linią na poziomie 1350 kpl., rys. 10. Zauważyć można, że w pierwszym etapie proponowana zmiana techniczna spełnia wymagane kryterium i zapewnia możliwość wykonania odpowiedniej ilości zgodnej z zapotrzebowaniem klienta.



Rys. 010. Zamówienia dla modelu AU516 CBEV w rozbiściu na tygodnie dla miesięcy marzec-kwiecień 2019 roku – dodatkowa matryca spawalnicza (zmiana techniczna) [opr. własne]

² KW skrót od Kalenderwoche – z niemieckiego tydzień kalendarzowy. Dla przykłady KW14 jest to czternasty tydzień kalendarzowy roku.

Należy jednak wziąć również pod uwagę, że wprowadzając zmiany w drugiej matrycy spawalniczej kabiny 70/50/10 nie można skupić się tylko na modelu AU516 CBEV ale należy sprawdzić wykonalność produkcji dla łącznych zamówień dla obydwóch modeli, co przedstawione zostało na rysunku 11., gdzie zobrazowano zdolność produkcyjną całej kabiny 70/50/10 (dwie matryce spawalnicze) zaznaczoną pomarańczową linią z wartością 1350 kpl. – tygodniowa maksymalna moc produkcyjna kabiny. Słupki oznaczone kolorem pomarańczowym oraz szarym są odzwierciedleniem zamówień dla modeli AU516 i AU583 2S.

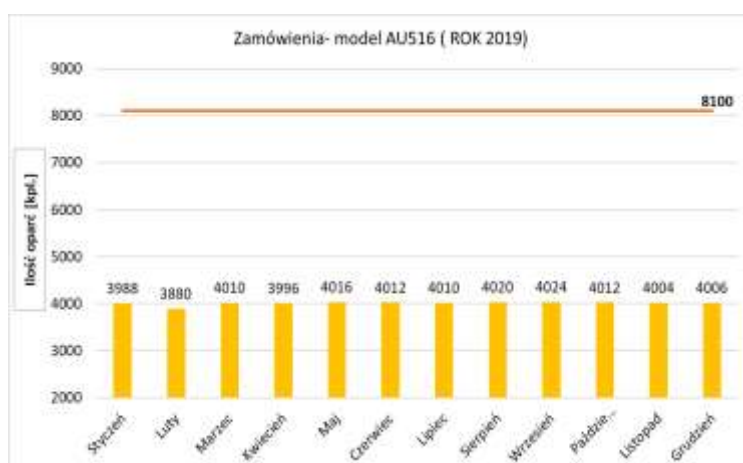


Rys. 11. Łączne zamówienia dla modeli AU516 CBEV oraz AU 583 2S w rozbięciu na tygodnie dla miesięcy marzec- kwiecień 2019 roku [opr. własne]

Z wykresu wnioskować można, że wprowadzenie zmiany technicznej spełniłoby założone kryterium i SITECH byłby w stanie wyprodukować zamówioną ilość stelaży oparów samochodowych. Jeden aspekt negatywny, który jest widoczny to brak zdolności produkcyjnej w KW15: 1234 kpl. AU516 + 310 kpl. AU 583 2S = 1544 kpl., to o 194 kpl. więcej niż maksymalna zdolność tygodniowa kabiny. Jednak nie przekreśla on wybrania tego rozwiązania ponieważ ten jednorazowy wyjątek można pokonać wykonując np. dodatkowe zmiany weekendowe lub części te wykonać z wyprzedzeniem na magazyn. Podsumowując wprowadzenie zmian technicznych w jednym szablonie spawalniczym pozwoli sprostać wymaganiom klienta, koszty wdrożenia tego rozwiązania szacunkowo nie powinny być duże, a czas w jakim możliwe byłoby wprowadzenie zmiany też jest względnie niewielki. Dane te zebrane zostały w tabeli 2. W porównaniu do wcześniejszej propozycji, czyli wprowadzenia zmian organizacyjnych w przedsiębiorstwie (wykonywanie produkcji na zmianach weekendowych) to rozwiązanie jest droższe, ale jego skuteczność jest 100% i daje możliwość produkcji założonych ilości.

Ostatnim rozwiązaniem proponowanym było rozwiązanie na ogół bardzo proste, ale kosztowne - zakup nowego urządzenia spawalniczego dedykowanego dla modelu AU516 CBEV. Zakup nowego urządzenia spawalniczego w tym wypadku jest kilkadziesiąt razy droższy niż wprowadzenie zmian w szablonie spawalniczym. Dodatkowo czas produkcji kabiny spawalniczej to minimum 30 tygodni. Jeżeli to rozwiązanie zostałoby wybrane, pomimo znacznych kosztów oraz czasu oczekiwania, to warto zauważyć, że zdolność produkcyjna byłaby o 100% większa niż aktualne zamówienia, rys. 12, tym

samym urządzenie to w bardzo małym stopniu byłoby wykorzystywane – wskaźnik OEE³, czyli wskaźnik całkowitej efektywności maszyny byłby maksymalnie na poziomie 60% - pokazuje to, że w prawie połowie czasu maszyna byłaby nieużywana – ekonomicznie nie jest uzasadniony zakup dodatkowej kabiny spawalniczej. Wskaźnik OEE określany jest jako stosunek ilości wyprodukowanych elementów (uwzględniając tylko części spełniające wymagania) do wydajności technologicznej maszyny/urządzenia czyli do ilości części jakie maszyna jest w stanie wyprodukować w danym czasie. Wskaźnik OEE jest podstawowym wskaźnikiem produkcji, za pomocą którego możliwa jest analiza przestołów maszyn oraz zdolności jakościowej tej maszyny.



Rys. 12. Zamówienia na rok 2019 dla modelu AU516 CBEV - dodatkowe urządzenie [opr. własne]

W tabeli 2. przedstawione zostało porównanie trzech propozycji rozwiązania problemu z brakiem zdolności produkcyjnych.

Zmiany techniczne, które należy wykonać aby możliwa była produkcja modelu AU516 CBEV na przyrządzie spawalniczym przystosowanym do wariantu AU583 2S wynikają z różnic konstrukcyjnych pomiędzy tymi modelami. Jedną z najbardziej znaczących różnic to zgodnie z tabelą 2. część o nazwie Feder Pakiet, która spawana jest w modelu AU516. Dodatkowo modele te różni obecność Top Tether'a – lecz proces spawania tej części wchodzi w skład procesu spawania laserowego, a kabina wykorzystująca tę technologię jest przystosowana do produkcji wszystkich modeli, dlatego też zmiany w tym urządzeniu nie są konieczne. Rozpatrując konieczność wprowadzenia zmian technicznych na matrycy niezbędne jest poznanie różnic pomiędzy częściami wykorzystywanymi w obydwóch wariantach. Mimo, że funkcja części jest identyczna to ze względu na kolejne etapy procesu produkcyjnego i różnice w komponentach składowych

³ OEE skrót od Overall Equipment Effectiveness – z ang. całkowita efektywność maszyn

między oparciami regulowanymi automatycznie i ręcznie konieczne jest zastosowanie dwóch odmiennych detali.

Tabela 20. Porównanie proponowanych rozwiązań [opr. własne]

KRYTERIUM	ZMIANA ORGANIZACYJNA - DODATKOWE ZMIANY WEEKENDOWE	ZMIANA TECHNICZNA - MODERNIZACJA MATRYCY KABINY SPAWALNICZEJ	ZAKUP DODATKOWEJ KABINY SPAWALNICZEJ
SPEŁNIENIE WYMAGAŃ KLIENTA - PRODUKCJA	Spełnienie wymagań w pewnym zakresie. Brak możliwości wykonania 100% ilości zamówień klienta.	Spełnienie wymagań w 100%	Spełnienie wymagań w 100%
CZAS WDROŻENIA	Wdrożenie możliwe natychmiastowe	Wdrożenie możliwe w ciągu kilku dni	Czas oczekiwania na nowe urządzenie to minimum 30 tygodni
KOSZT WDROŻENIA	Brak kosztów	10 000 - 20 000 PLN	ok. 400 000 €
PODEJŚCIE EKONOMICZNE	Konieczność ponoszenia kosztów personalnych związanych z dłuższym generowaniem nadgodzin przez pracowników	Pa poniesieniu kosztów wdrożenia rozwiązanie to jest bezkosztowe	NIEUZASADNIONE

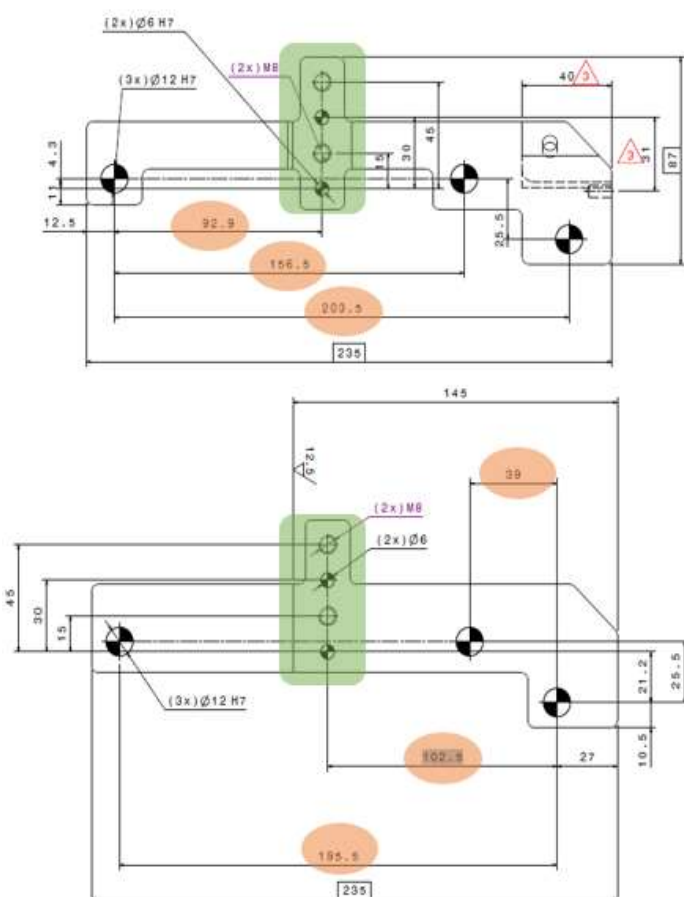
Na rysunku 13. przedstawiono zwymiarowane elementy, które należy wymienić w celu modernizacji matrycy. Oznaczone na zielono zostały punkty montażowe do siłownika, odległość tych punktów od elementów dociskających dla obydwu wariantów jest różna (pomarańczowe pole) – potwierdza to brak możliwości używania jednego elementu do pozycjonowania dwóch części.

Kolejnym elementem jaki należało dodać w przypadku spawania modelu AU516 był montaż dodatkowego siłownika, którego zadaniem będzie docisk elementu Feder Pakiet do matrycy spawalniczej. Wykorzystanie siłownika nie jest konieczne w modelu AU581 ze względu na mniejszą powierzchnię części Aussenlager.

Oprócz modyfikacji technicznych w matrycy należy uwzględnić modernizację aktualnie istniejących programów na sterowniku PLC oraz zmianę trajektorii ruchów robota, czyli zmianę dojazdu palnika spawalniczego oraz zmianę pozycji spawania spoin. Ostatnim krokiem do prawidłowego wdrożenia i bezproblemowego funkcjonowania implementacji jest aktualizacja parametrów spawania zgodnie z dokumentacją oraz potwierdzenie odpowiedniej jakości spoin za pomocą wykonania makro zglądów.

3.1. Koszty wdrożenia wybranego rozwiązania

W tabeli 3. przedstawione zostały koszty modernizacji szablonu spawalniczego. Koszty zostały podzielone na dwie grupy, jedna związana bezpośrednio z wprowadzoną zmianą techniczną w urządzeniu, natomiast druga to koszty związane z pracami przy wprowadzeniu nowego rozwiązania.



Rys. 013. Wymiary elementów pozycjonujących [opr. własne]

Tabela 03. Koszty wdrożenia zmian technicznych [opr. własne]

ZASOBY	OPIS	KOSZT
Elementy mechaniczne	Zakupów nowych pinów pozycjonujących	3 256,00 zł
	Modernizacja elementów chwytaka części	1 799,00 zł

ZASOBY	OPIS	KOSZT
	Zakup siłownika pneumatycznego DESTACO	2 488,00 zł
Specjalista/wiedza fachowa	Usługa projektowania nowego rozwiązania (firma zew.)	2 459,00 zł
	Programowanie sterownika PLC (4h pracy automatyka)	800,00 zł
	Programowanie ruchów robota (8h pracy programisty robotów)	200,00 zł
	<i>Suma</i>	12 002,00 zł

Satysfakcja klienta to klucz do sukcesu i cel dla wielu przedsiębiorstw. Dla SITECH zadowolenie klienta z współpracy oraz z jakości kupowanych komponentów to podstawowe założenie wpisujące się w strategię firmy. Aby zapewnić jak najwyższą satysfakcję klientów, należy zwracać uwagę nie tylko na pracę działów okołoprodukcyjnych odpowiedzialnych za bezpośredni kontakt z klientem, ale w głównej mierze produkcji. Klient przywiązuje bardzo dużą uwagę do tego w jaki sposób realizowane są jego zamówienia, czy nie ma opóźnień i braków, oraz jak firma reaguje na nieoczekiwane zmiany zamówień – zarówno wzrostów jak i spadków ilościowych.

Szybka i stosunkowo tania modernizacja kabiny spawalniczej powinna być odebrana przez klienta jako pozytywna i nie powinna budzić żadnych zastrzeżeń ze względu na zachowanie identycznej jakości produktów.

Oszczędności, które są skutkiem przeprowadzenia modernizacji można podzielić na oszczędności związane z technicznym wyposażeniem produkcji oraz organizacyjno-personalne. Jeżeli mowa o tych pierwszych to nie ma konieczności wykonywania skomplikowanych obliczeń aby zobrazować o ile droższym rozwiązaniem byłby zakup nowej kabiny przy założeniu, że obydwa rozwiązania spełniają wymagania klienta, czyli zapewniają oczekiwaną zdolność produkcyjną.

Oszczędności organizacyjno-personalne, które można udokumentować to brak konieczności wykonywania zmian weekendowych. Są to oszczędności, które w łatwy sposób można obliczyć i udokumentować.

PODSUMOWANIE

Celem pracy był projekt modernizacji kabiny spawalniczej uwzględniający najbardziej korzystne dla przedsiębiorstwa rozwiązanie dotyczące nagłego wzrostu zamówień klienta na komponenty przy braku zdolności produkcji wymaganej ilości, korzystając z posiadanego parku maszynowego lub w ostateczności jego powiększeniem. W pierwszej kolejności zapoznano się z aktualnym procesem produkcyjnym i możliwościami produkcji poszczególnych wariantów na dedykowanych do tego urządzeniach. Następnie wykonano analizę planów produkcyjnych oraz zamówień klienta na wszystkie modele stelaży oparc w rozbiciu na lata, miesiące a nawet tygodnie. Po wykonaniu analiz i zapoznaniu się z procesem produkcyjnym konieczne było przedstawienie możliwości rozwiązania problemu. Przedstawione zostały trzy możliwe rozwiązania, każde o innym charakterze i o zróżnicowanych kosztach. Jako najbardziej optymalne rozwiązanie wybrano zmianę w oprzyrządowaniu matrycy spawalniczej i zwiększenie potencjału produkcyjnego dla modelu AU516 przy wykorzystaniu matrycy dla modelu AU583 2S. Proponując to rozwiązanie należało wziąć pod uwagę sumę zamówień na dwa warianty - zostało to wykonane i stwierdzono możliwość produkcji dwóch wariantów przy wykorzystaniu jednego urządzenia. Z wyników zamieszczonych badań wynika, iż wprowadzenie do procesu produkcji zaproponowanego rozwiązania zmian technicznych w oprzyrządowaniu spawalniczym umożliwiło w wystarczającym stopniu realizację zamówionych ilości stelaży przez klienta, przez co automatycznie polepszyło wyniki przedsiębiorstwa.

LITERATURA

1. **Rachwał A., Wolniak R.:** *Niezgodności spawalnicze i technika ich wykrywania.* Wyd. Politechniki Śląskiej, 2018.
2. **Czuchryj J., Sikora S. :** *Niezgodności spawalnicze w złączach spawanych z metali i termoplastycznych tworzyw sztucznych.* Wyd. Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2016
3. **Czuchryj J., Sikora S. :** *Badania wizualne złączy spawanych.* Wyd. Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2016
4. **Czuchryj J., Kurpisz B. :** *Badanie złączy spawanych. Przegląd metod.* Wyd. Wydawnictwo i Handel Książkami KaBe s.c, Krosno, 2009
5. **Restecka M., Wolniak R.:** *It Systems in Aid od Welding Processes Quality Management in the Automotive Industry.* 2016
6. **Restecka M., Wolniak R.:** *The use of welding robots.* 2017
7. **Almannai B., Greenough R., Kay J.:** *A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies.* 2008
8. **Karaszewski R.:** *Zarządzanie jakością. Koncepcje, metody i narzędzia stosowane przez liderów światowego biznesu.* Wyd. Wydawnictwo Dom Organizatora, Toruń, 2005
9. **Hamrol A.:** *Zarządzanie i inżynieria jakości.* Wyd. PWN, Warszawa, 2017

10. **Hamrol A.:** *Zarządzanie jakością z przykładami*. Wyd. PWN, Warszawa, 2007
11. **Obora H.:** *Przegląd wybranych zastosowań i kierunków rozwoju metody QFD*. Zeszyty naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie nr 736, 2007
12. **Toruński J.:** *Metoda QFD w procesie zarządzania jakością w przedsiębiorstwie*. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo- Humanistycznego w Siedlcach nr 96, 2013
13. **Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.:** *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem*. Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013
14. **Tasak E.:** *Metalurgia spawania*. Wyd. JAK Andrzej Choczewski, Kraków, 2008
15. **Mazur M.:** *Podstawy Spawalnictwa*. Wyd. Wydawnictwo politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993
16. PN-EN ISO 9000, *System zarządzania jakością. Podstawy i terminologia*.
17. PN-EN ISO 6520-1, *Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1: Spawanie*.
18. PN-EN ISO 4063:2011, *Spawanie i procesy pokrewne - Nazwy i numery procesów*
19. IATF 16949:2016
20. *Broszura informacyjna o grupie SITECH*. Materiały wewnętrzne przedsiębiorstwa.
21. *Procedura PR.11.24 „Proces badania złącz metodą makrografii”*. Materiały wewnętrzne SITECH Sp. Z o.o..

OCENA EFEKTYWNOŚCI WDROŻENIA SYSTEMU KLASY ERP NA PRZYKŁADZIE MODUŁU LOGISTYKA

1. WSTĘP

Efektywność pozwala określić relację pomiędzy osiągniętymi wynikami a wykorzystanymi zasobami. Można wyróżnić efektywność ekonomiczną, która wyraża stosunek pomiędzy poniesionymi nakładami pieniężnymi a osiągniętymi wynikami, oraz efektywność operacyjną, która wyraża zmniejszenie zużycia środków produkcji na jednostkę produktu [1]. Zarządy przedsiębiorstw oczekują obecnie oceny wdrożonego systemu informatycznego klasy ERP, gdyż realizacja takiego projektu zawsze wiąże się z poniesieniem nakładów finansowych i zaangażowaniem pracowników. Systemy informatyczne klasy ERP są dedykowane indywidualnie dla każdego przedsiębiorstwa. Firma wdrażająca system, sama decyduje z których modułów chce korzystać. Wdrożenie oprogramowania klasy ERP wiąże się z koniecznością zaprojektowania lub dopasowania rozwiązania do obecnych potrzeb przedsiębiorstwa.

Jednym z narzędzi, które mogą pozwolić na dokonanie oceny, czy wdrożony system klasy ERP jest efektywny, mogą być wskaźniki oceny efektywności. Jest to podejście do pomiaru efektywności, które można zastosować dzięki danym pozyskanych z systemu ERP. Wdrożone moduły systemów klasy ERP w dziale logistyka umożliwiają planowanie produkcji, kontrolowanie i koordynowanie procesów logistycznych czy zapewnienie obiecanych terminów dostaw. Podstawowe funkcje systemów obejmują m.in. zaopatrzenie, dział zakupów, planowanie produkcji, sprzedaż i dystrybucję. Bardziej zaawansowane mogą zawierać moduły odpowiedzialne za planowanie zapasów, harmonogramowanie operacji związanych z obróbką części czy również planowanie popytu na najbliższe miesiące, analizując ostatnie wyniki sprzedaży. W momencie, gdy ilość stosowanych modułów wzrasta warto zacząć prowadzić kontrolę nad prowadzonymi działaniami.

W artykule przedstawiono metody i techniki pomiaru efektywności wdrożonych systemów informatycznych klasy ERP. Następnie pokazano na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego model oceny efektywności wdrożenia systemu ERP w dziale logistyka.

2. EFEKTYWNOŚĆ WDROŻENIA SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH KLASY ERP

Efektywność może być rozpatrywana w zależności od potrzeb i specyfiki działania danego przedsiębiorstwa. Obecnie przyjmowane jest, iż pomiar efektywności powinien odbywać wykorzystując zarówno wskaźniki finansowe, jak i niefinansowe oraz ilościowe i jakościowe. Jednak ze względu zróżnicowanie problematyczne przedsiębiorstwa, każda jednostka organizacyjna powinna indywidualnie dobrać kryteria pomiaru efektywności, jak i również narzędzia i mierniki, którymi ten pomiar będzie przeprowadzany.

W pomiarach stopnia efektywności istotną rolę odgrywają kluczowe wskaźniki efektywności (ang. KPI – key performance indicators). KPI to narzędzie, które daje możliwość do wychwytywania obszarów nieefektywności i śledzenia zmian w czasie. Wykorzystywanie kluczowych wskaźników w firmie powoduje również wzrost kultury organizacyjnej, która panuje w przedsiębiorstwie. Pracownicy wiedzą co jest najistotniejsze dla zakładu oraz znają zasady oceny ich pracy. Od prawidłowego stopnia wdrożenia, analizy i wnioskowania wskaźników KPI zależy powodzenie wdrożonych usprawnień.

Do najważniejszych celów wdrożenia wskaźników należy:

- pomiar aktualnego statusu,
- porównywanie wewnętrznego i zewnętrznego benchmarkingu,
- ocena efektywności,
- analiza słabych i mocnych stron przedsiębiorstwa,
- planowanie usprawnień,
- monitorowanie następujących zmian i postępu wdrożenia systemów informatycznych,
- motywowanie personelu [2].

KPI skierowane mogą być do wszystkich przedsiębiorstw produkcyjnych. Stosowanie wskaźników daje możliwość stałego monitorowania efektywności procesów oraz określania obszarów koniecznych do usprawnień. Dodatkowo w ostatnich latach istnieje możliwość porównania wartości wskaźników z pozostałymi przedsiębiorstwami [3].

Podstawą do opracowania odpowiednich wskaźników efektywności systemów logistycznych, stanowi koncepcja wykonana przez H. Pfohla. Koncepcja ta przyjmuje założenie iż najważniejsze w kształtowaniu efektywności logistyki są koszty logistyki i obsługa dostaw [2].

Inna koncepcja opracowana przez J.Coyle, E. Bardi i C. Langley, uznaje czas, niezawodność i komunikację za podstawę do określenia efektywności logistyki. Mierniki ustalone są z punktu widzenia dostawcy:

- szybkość oraz terminowość dostaw,
- szybkość reagowania na specjalne wymagania klientów,
- ilość produktów dostępnych w wybranych jednostkach,

- dokładność informacji,
- szybkość reagowania na reklamacje oraz czas trwania ich usuwania [3].

Wskaźniki wykorzystywane w logistyce produkcji mogą być zarówno ilościowe jak i wartościowe. Wskaźniki ilościowe mogą dotyczyć liczby magazynów, liczby zapasów, ilości pracowników. Obliczone wartości mogą być raportowane w wartościach bezwzględnych, jak np. koszty amortyzacji [4].

Zyski, jakie można uzyskać przy inwestycjach informatycznych to najczęściej efekty, które można wyrazić wartościowo, czyli w jednostkach pieniężnych. Jest to efektywność ekonomiczna. Do najczęściej stosowanych metod rachunku ekonomicznego, można zaliczyć:

- okres zwrotu kapitału (ang. payback period) – pozwala oszacować w jakim tempie można uzyskać zwrot włożonego kapitału w nakłady inwestycyjne,
- stopa zwrotu z inwestycji ROI (ang. return of investment) – określa relację występującą między korzyściami z eksploatacji systemu, do kosztów wytworzenia,
- zaktualizowana wartość netto NPV (ang. net present value) – jest to wskaźnik, którego wartość opiera się na aktualnej wartości pieniądza i ostatniej stopie dyskontowej. Jest ona wyliczana jako różnica pomiędzy nakładami i korzyściami wynikającymi z wdrożenia systemu informatycznego, czyli jako zdyskontowana wartość netto serii przepływów gotówkowych,
- wewnętrzna stopa zwrotu IRR (ang. Internal rate of return) – czyli stopa dyskontowana, jaką trzeba stosować, aby wyrównać koszty inwestycji i późniejsze korzyści [5].

Alternatywnym sposobem oceny inwestycji informatycznych jest proponowana przez Parkera, określana jako „ekonomia informacji”. Metoda ta polega na połączeniu korzyści finansowych oraz innych trudno mierzalnych.

Wówczas proces oceniania przedsięwzięcia składa się z dwóch podstawowych etapów. Pierwszy z nich polega na budowaniu rozszerzonego wskaźnika ROI powiększonego o cztery dodatkowe czynniki takie jak:

- wartość łączenia (value linking) – wartość powstaje dzięki udoskonalonej realizacji funkcji automatycznego przetwarzania danych a efekty wdrożonych inwestycji oddziałują na inne działy firmy,
- wartość intensyfikacji (value acceleration) – polega na znacznym zredukowaniu czasu wykonywania poszczególnych czynności,
- wartość restrukturyzacji (value restructuring) – jest efektem wzrostu produktywności, która jest efektem zmian struktury organizacyjnej,
- ocena innowacji (innovation valuation) – dzięki zastosowaniu innowacyjnych systemów, przedsiębiorstwo jest w stanie wygenerować większe dochody oraz uzyskać pozycję lidera na rynku [6].

W kolejnym etapie wielkość rozszerzonego wskaźnika ROI ulega kolejnym zmianom, uzupełniając go o elementy z dziedziny biznesu oraz dziedziny technologii. Pod wpływem tych czynników, wartość wskaźnika może wzrastać bądź maleć.

Kolejną metodą pozwalającą na ocenę efektywności systemów informatycznych jest „zrównoważona karta wyników” (ang. Balanced Scorecard – BSC). Pozwala ona na ocenę przedsiębiorstwa w czterech podstawowych obszarach:

- klienta – należy skoncentrować się na zaspokajaniu potrzeb klienta
- procesów wewnętrznych – dotyczą wydajności wewnętrznych procedur i procesów,
- finansów – monitorowane są takie wskaźniki jak: zyskowność, wzrost dochodów, wzrost wartości firmy,

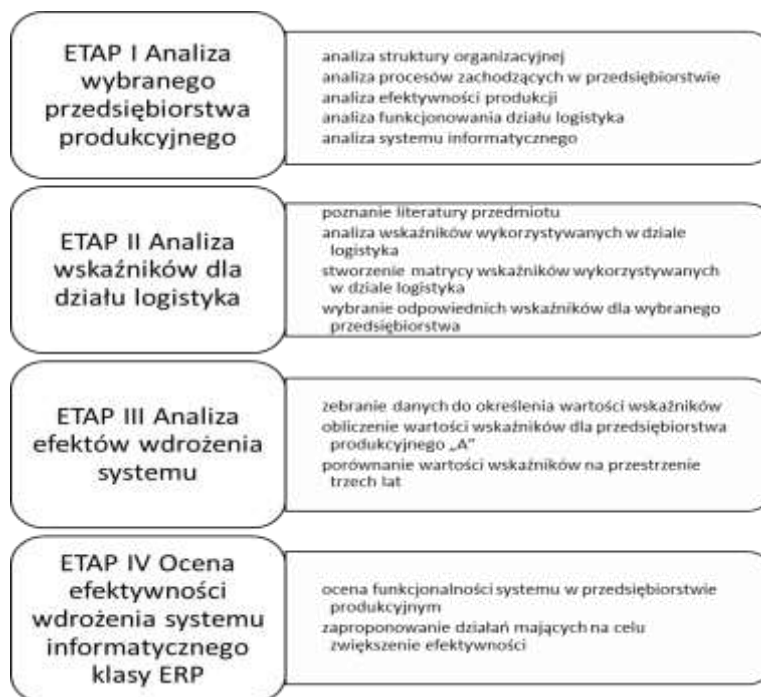
innowacji, uczenia się i wzrostu [6].

Dzięki tej metodzie przedsiębiorstwo jest w stanie określić działania na rzecz poprawy pozycji na rynku oraz rozwinąć funkcjonowanie systemów informatycznych. Strategiczna Karta Wyników obejmuje swoim zakresem zarówno cele krótko i długookresowe, mierniki finansowe i niefinansowe oraz efektywność przedsiębiorstwa wewnętrzną i zewnętrzną.

Stosując systemy informatyczne należy posługiwać się narzędziami, które dadzą możliwość przedsiębiorstwu podnoszenia swoich kwalifikacji. Aby jednak móc dokonać pozytywnych zmian w firmie, należy odpowiednio interpretować uzyskane wyniki oraz odpowiednio mierzyć ich efektywność. Jedną z metod jest stosowanie kluczowych wskaźników efektywności (KPI). Inne metody pozwalają na ocenę efektywności inwestycji w systemy informatyczne. Aby móc dokonać oceny efektywności wdrożonych systemów informatycznych najlepiej jest stosować wiele metod jednocześnie [5].

3. MODEL OCENY EFEKTYWNOŚCI WDROŻENIA

Ocenę efektywności wdrożenia systemu klasy ERP należy rozpatrywać w ściśle określonym czasie. Największe korzyści z wykorzystania systemu uzyskuje się w okresie dwóch lub trzech lat od wdrożenia. Na rysunku 1 przedstawiony został model oceny efektywności wdrożenia systemu klasy ERP działu logistyka.



Rys. 1. Model oceny efektywności wdrożenia. Źródło: opracowanie własne

4. STUDIUM PRZYPADKU

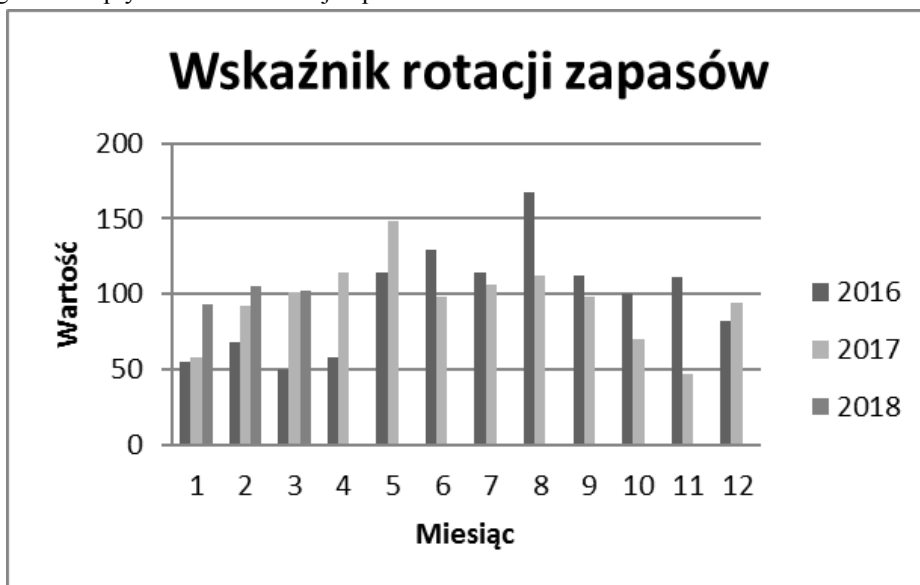
Na podstawie wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego, na podstawie danych z lat 2016-2018 dokonano weryfikacji efektywności wdrożonego systemu informatycznego klasy ERP (SAP) za pomocą wybranych wskaźników na przykładzie modułu logistyka. Istotne jest, że w przedsiębiorstwie dział logistyki współpracuje z pozostałymi działami dzięki sprawnemu przepływowi informacji, który zapewnia wdrożony system informatyczny klasy ERP (SAP) od 2014 roku. Poniżej przedstawiono narzędzia pozwalające raportować zapasy tzw. „martwe”, rotację zapasów, średni poziom zapasu na poszczególnych materiałach, procentową terminowość dostaw, terminowość dostaw od dostawców oraz sprzedaż.

Jednym ze wskaźników do oceny efektywności jest wskaźnik rotacji zapasów, obliczony w przypadku opisywanej firmy produkcyjnej, jako stosunek wartości zapasów do sprzedaży, pomnożony przez 30 dni [7], na podstawie danych z systemu ERP.

Prawidłowo obliczony wskaźnik rotacji pozwala na dokonanie analizy, czy poziom zapasów jest zbyt wysoki lub zbyt niski. Jeżeli poziom wskaźnika jest wysoki, to znaczy że obrót zapasami jest zbyt wolny i zapasy zalegają w magazynie. Niski poziom wskaź-

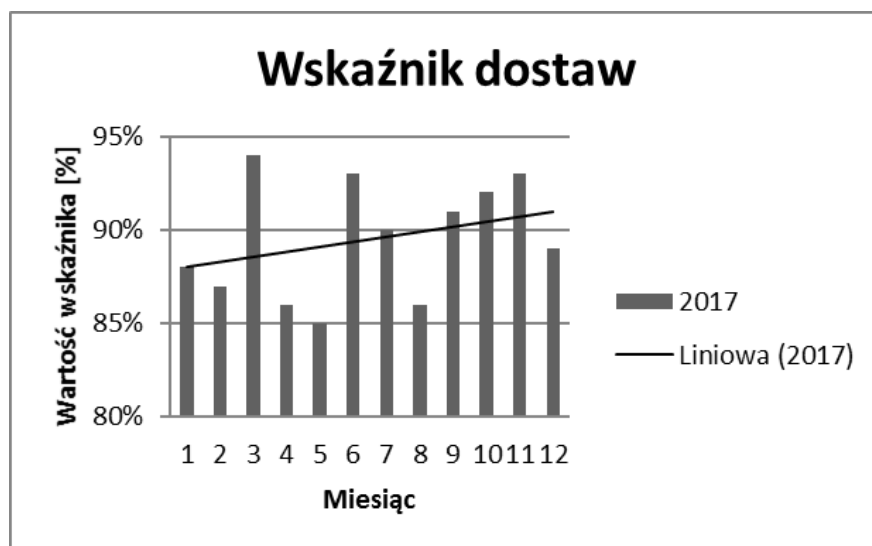
nika oznacza, że jest szybki obrót zapasami. Jest to korzystna sytuacja dla przedsiębiorstwa, jeżeli nie jest ona spowodowana brakiem towarów [8].

Dokładna obserwacja wskaźnika pozwala na ocenę efektywności w zarządzaniu zapasami przedsiębiorstwa. Spadek wskaźnika rotacji w dniach można oceniać pozytywnie, ponieważ oznacza to znaczną poprawę płynności finansowej, zmniejszenie kosztów finansowych oraz znaczną poprawę rentowności. Wzrost wartości wskaźnika oznacza pogorszenie płynności finansowej i spadek rentowności działania.



Rys. 4.1. Wartość wskaźnika rotacji zapasów od 2016 roku do końca I kwartału 2018 roku Źródło: dane przedsiębiorstwa

Kolejnym wskaźnikiem wspomagającym procesy logistyczne oraz pozwalającym na sprawne funkcjonowanie łańcucha dostaw jest wskaźnik OTD (ang. on - time - delivery) czyli procent terminowych dostaw do klienta. Dostawa na czas to jeden z podstawowych mierników wydajności procesu i łańcucha dostaw, która określa dokładną ilość gotowych wyrobów i usług, dostarczanych do klientów w odpowiednim czasie i pełnym zakresie. Wskaźnik ten pozwala ustalić, czy terminy naszych klientów są skutecznie realizowane. Jeżeli wartość wskaźnika OTD jest zbyt niska lub znacznie niższa od wartości odniesienia, można to przyjąć za sygnał, iż gdzieś w łańcuchu dostaw pojawiają się wąskie gardła oraz nieefektywne lub czasochłonne procesy [9].

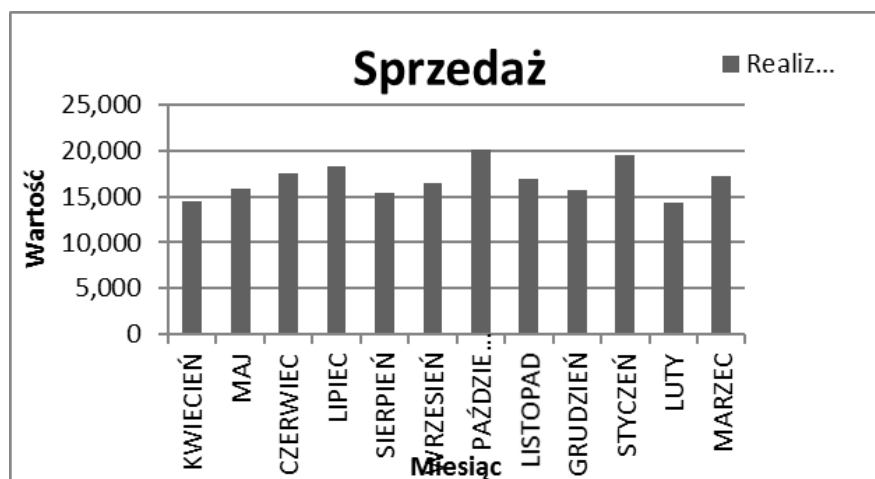


Rys. 4.2. Wartość wskaźnika OTD w przedsiębiorstwie w 2017 roku. Źródło: dane przedsiębiorstwa

Celem przedsiębiorstwa była wartość wskaźnika na poziomie 98%. Przez cały rok rozliczeniowy 2017 nie udało się utrzymać poziomu dostaw na czas na poziomie 98%. Największą wartość wskaźnika uzyskano w czwartym kwartale. Średnia wartość wskaźnika wówczas utrzymywała się na poziomie 98%.

Liniowa linia trendu wskazuje iż w 2017 roku wartość wskaźnika dostaw na czas wzrastała.

Kolejna transakcja w systemie SAP pozwala raportować sprzedaż. Wskaźnik ten daje możliwość efektywnego zarządzania wynikami działu sprzedaży. Raporty pozwalają na dowolne analizowanie danych, zarówno w postaci tabel jak i wykresów graficznych. Prowadzenie raportów w systemie znacznie usprawnia prace całego, działu co między innymi przyczynia się do poprawienia wyników sprzedaży.



Rys. 4.3. Wartość sprzedaży w przedsiębiorstwie w 2017 roku. Źródło: dane przedsiębiorstwa

Częściej firma nie osiągała zamierzonego celu sprzedaży. Warto więc zastanowić się, czy może nie zmniejszyć celu sprzedaży lub podjąć zadania, które w znacznym stopniu przyczynią się do zwiększenia ilości sprzedawanych sztuk detali.

Kolejny wskaźnik pozwala sprawdzić czy poziom zapasów martwych, utrzymywany jest na odpowiednim poziomie. Zapewnienie poziomu zapasów jest bardzo ważnym elementem funkcjonowania każdego przedsiębiorstwa. Ponieważ pozwala zapewnić maksymalny poziom obsługi klienta przy jednoczesnej minimalizacji kosztów [10]. Zapasy są czynnikiem które mają swoje dobre i złe strony. Pozytywnym aspektem utrzymywania zapasów jest zapewnienie ciągłości produkcji lub sprzedaży, natomiast negatywnym aspektem jest narażenie przedsiębiorstwa na powstanie kosztów. W przeciągu roku wartość zapasu martwego nie uległa zmianie. Od 2014 roku wartość zapasu martwego wzrosła o 108%. Jest to bardzo duży wzrost i jest to niekorzystna sytuacja dla przedsiębiorstwa. Należy pamiętać o tym, iż zapas martwy nie przynosi dla firmy żadnej wartości dodanej a wręcz przeciwnie - wiąże się z wysokimi kosztami.

Każde przedsiębiorstwo dobiera indywidualnie wskaźniki, z których chce korzystać w zależności od celów, które chce osiągnąć. Poważną wadą korzystania ze wskaźników jest konieczność zaangażowania dużej ilości pracowników. Ponadto zauważono, że brak danych przed wdrożeniem systemu SAP, powodują, iż obecne analizy nie są kompletne.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Efektywność systemu informatycznego można oceniać jako skuteczność jego działania, czyli stopnia realizacji celów oraz jako zdolność wykorzystywania posiadanych zasobów przedsiębiorstwa do realizacji celów. Dobierając wskaźniki służące do dokonania oceny efektywności wdrożenia systemu informatycznego klasy ERP w dziale logistyka, konieczne jest wskazanie uwarunkowań techniczno – organizacyjnych oraz zasobów z tym związanych.

Efektywność wdrożenia systemu klasy ERP oznacza przede wszystkim ocenę jego funkcjonowania. Jednocześnie jest miarą skuteczności określonego działania. Zastosowanie różnorodnych wskaźników miało na celu wykazanie, iż można odnieść się do różnych obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa. A wybór odpowiednich wskaźników zależy od potrzeb przedsiębiorstwa i od rodzaju prowadzonej analizy.

LITERATURA

- [1] www.bibliotekacyfrowa.wsb.wroclaw.pl:8080/Content/88/ZN_32_Gebczynska.pdf
- [2] www.kierunekwodkan.pl/Resources/art/2649/bmp_4bb46db8517dc.pdf
- [3] **Blaik P.:** *Efektywność logistyki; Aspekt systemowy i Zarządczy*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2015.
- [4] **Nita B.:** *Rachunkowość zarządcza w działalności przedsiębiorstwa i instytucji*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2012.
- [5] **Janusz K. Grabara, Jerzy S. Nowak:** *Efektywność zastosowań systemów informatycznych Tom I*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa – Szczyrk 2001.
- [6] **Włodarczak Z.:** Ocena efektywności wdrożeń systemów informatycznych. Zeszyty Naukowe – Politechnika Poznańska Organizacja i Zarządzanie. 0239-9415. Nr 41 (2005), s.133-140.
- [7] www.e-promag.pl/wskaznik-rotacji-zapasow.435.html
- [8] www.finance.egospodarka.pl/10439.Rotacja-zapasow-w-dniach-days-of-coverage-inventory,1.57.1.html
- [9] www.leanmanufacture.net/kpi/ontimedelivery.aspx
- [10] www.docsity.com/pl/b6dad961d66f7a8846b46183b1a387b4/281333/

BIBLIOGRAFIA

- [1] **Almannai B., Greenough R., Kay J.:** A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies. 2008
- [2] **Asri R.I.M., Harun W.S.W., Samykano M., Lah N.A.C., Ghani S.A.C., Tarlochan F., Raza M.R.:** *Corrosion and surface modification on biocompatible metals: A review.* Materials Science and Engineering: C, Vol. 77, 2017, pp. 1261–1274.
- [3] **Bakonyi J.,** *Kształtowanie kultury bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie, jako element zarządzania firmą w ocenie studentów.* Bezpieczeństwo. Teoria i Praktyka nr 4/2018
- [4] **Baszkiewicz J., Kamiński M.:** *Korozja materiałów.* Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006
- [5] **Bertolini R., Bruschi S., Ghiotti A.:** *Enhancement of corrosion resistance to sterilization stages of a biomedical grade AISI 316L stainless steel by means of low-temperature machining.* Materials Today: Proceedings, Vol. 7(1), 2019, pp. 552–559.
- [6] **Blaik P.:** *Efektywność logistyki; Aspekt systemowy i Zarządczy.* Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2015.
- [7] **Boczkowska K.,** Wybrane aspekty kultury bezpieczeństwa na uczelni technicznej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* nr 422/2016. <https://doi.org/10.15611/pn.2016.422.03>.
- [8] **Bohdal Ł.,** *Analiza wpływu luzu między narzędziami tnącymi na strukturę geometryczną powierzchni przecięcia wyrobów kształtowanych na nożycach krążkowych.* PAK vol. 59, nr 7/2013, pp.159-163
- [9] **Bohdal Ł., Kukielka L.,** *Modelowanie i analiza numeryczna procesu cięcia blach nożami krążkowymi z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej i fizycznej.* Mechanik nr 8-9/2011r. s. 712-716.
- [10] **Bohdal Ł.,** *Finite element simulation of 3D sheet metal guillotining using elastic/visco-plastic damage model.* Steel Research International. Special Edition: 14th International Conference on Metal Forming 2012, pp. 1419-1422.
- [11] **Bruschi S., Pezzato L., Ghiotti A., Dabala M., Bertolini R.:** *Effectiveness of using low-temperature coolants in machining to enhance durability of AISI 316L stainless steel for reusable biomedical devices.* Journal of Manufacturing Processes, Vol. 39, 2019, pp. 295–304.
- [12] **Cierniak-Emerych A.,** *Kształtowanie bezpieczeństwa i higieny pracy w przedsiębiorstwie a cechy kultury organizacyjnej.* Edukacja Ekonomistów i Menedżerów : problemy, innowacje, projekty nr 4 (26)/2012. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0009.6286>.
- [13] **Czarnowska E., Wierchoń T., Maranda-Niedbala A., Karczmarewicz E.:** *Improvement of titanium alloy for biomedical applications by nitriding and car-*

- bonitriding processes under glow discharge conditions*. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, Vol. 11, 2000, pp. 73–81.
- [14] **Czuchry J., Sikora S.** : Niezgodności spawalnicze w złączach spawanych z metali i termoplastycznych tworzyw sztucznych. Wyd. Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2016
- [15] **Czuchry J., Sikora S.** : *Badania wizualne złączy spawanych*. Wyd. Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2016
- [16] **Czuchry J., Kurpisz B.** : *Badanie złączy spawanych. Przegląd metod*. Wyd. Wydawnictwo i Handel Książkami KaBe s.c, Krosno, 2009
- [17] **Erbel S., Kuczyński., Marciniak Z.**, Obróbka Plastyczna. PWN, Warszawa 1981
- [18]
- [19] **Faura F., Garcí'a A., Estrems M.**, *Finite element analysis of optimum clearance in the blanking process*. Journal of Materials Processing Technology 1998, Vol. 80-81., pp. 121-125.
- [20] **Fazel-Rezai R.**: Biomedical engineering – from theory to applications. In Tech, Rijeka, 2011.
- [21] **Feldshtein E., Leksycki K.**: *Vliánie protivozadirnoj prisadki k maslânomu tutmanu na šerohovatosť poverhnosti neržaveuscej stali 316L posle finišnoj obrabotki*. Priborostroenie - 2019: materiały 12-j meždunarodnoj naučno-tehničeskoj konferencii. Białoruś, Minsk: Belarusskij Nacional'nyj Techničeskij Universitet, 2019, pp. 243–243
- [22] **Ghorbani M., M. Mazaheri, A. Afshar**, Wear and friction characteristics of electrodeposited graphite–bronze composite coatings. Surf. Coat. Technol. 2005. Vol.190. p.32–38.
- [23] **Götz H.E., Müller M., Emmel A., Holzwarth U., Erben R.G. Stangl R.**: *Effect of surface finish on the osseointegration of laser-treated titanium alloy implants*. Biomaterials, Vol. 25(18), 2004, pp. 4057–4064.
- [24] **Grabara Janusz K., Jerzy S. Nowak**: *Efektywność zastosowań systemów informatycznych Tom I*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa – Szczyrk 2001.
- [25] **Hamrol A.**: *Zarządzanie i inżynieria jakości*. Wyd. PWN, Warszawa, 2017
- [26] **Hamrol A.**: *Zarządzanie jakością z przykładami*. Wyd. PWN, Warszawa, 2007
- [27] **Huang S., He C., Zhao Y.** *Microstructure-based rve approach for stretch-bending of dual-phase steels*. J. Mater. Eng. Perform., 25 (3), 2016, pp. 966-976
- [28] **Ilyushchenko A.F., AV. Leshok, O.A. Shapovalova**, Investigation of the tribotechnical properties of the friction material MK-5 operated in BelAZ. Friction and Wear, September-October 2013, Volume 33, No. 5. p.500-507.
- [29] **Ilyushchenko A.F., A.V. Leshok, L.N. Dyachkova, A.N. Rogovoy**, The influence of the type of graphite on the tribotechnical properties of a friction material based on copper, operating in conditions of boundary friction. Powder metallurgy. Interdepartmental collection of scientific papers. 2019.No. 42. p.65-69.

- [30] **Ilyushchenko A.F., A.V. Leshok, L.N. Dyachkova, N. A. Alekseenko**, Features of wear of a powder friction material based on copper under conditions of boundary friction. *Friction and Wear*, 2019 (40), No. 6, p.654-660.
- [31] **Iwko J., Iwko J.**, *Badanie poziomu kultury bezpieczeństwa w wybranym przedsiębiorstwie*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 131/2018. <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2018.131.12>.
- [32] **Kałasznikow A., Kłos S.**, *Badanie wpływu parametrów procesu cięcia plazmowego na jakość wyrobu*. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, 2018. red. Knosala R. . T. 1, Opole : Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją*, pp. 554-563
- [33] **Kato H., M. Takama, Y Iwai, K. Washida, Y Sasaki**, Wear and mechanical properties of sintered copper–tin composites containing graphite or molybdenum disulfide. *Wear*. 2003. Vol.255. p.573–578.
- [34] **Kestursatya M., J.K. Kim, P.K. Rohatgi**, Wear performance of copper–graphite composite and a leaded copper alloy. *Mater. Sci. Eng. A*. 2003. 339, p.150–158.
- [35] **Krasicka-Cydzik E.**: *Formowanie cienkich warstw anodowych na tytanie i jego implantowych stopach w środowisku kwasu fosforowego*. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2003
- [36] **Krupa P.**, *Przybliżenie czynnika ludzkiego w kształtowaniu bezpiecznego środowiska pracy w przedsiębiorstwach produkcyjnych*. Uniwersytet Zielonogórski 2018.
- [37] **Kwak T.S., Kim Y.J., Bae W.B.**, *Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine blanking*. *Journal of Materials Processing Technology* 2002, Vol. 130–131., pp. 462–468.
- [38] **Liu Y., Fan D., Bhat S., Srivastava A.** *Ductile fracture of dual-phase steel sheets under bending*. *International Journal of Plasticity*, Volume 125, February 2020, pp. 80-96, <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2019.08.019>
- [39] **Ma W.L., J.J. Lu**, Effect of sliding speed on surface modification and tribological behavior of copper–graphite composite. *Tribol. Lett.* 2011. Vol.41. p.363–370.
- [40] **Manam N.S., Harun W.S.W., Shri D.N.A., Ghani S.A.C., Kurniawan T., Ismail M.H., Ibrahim M.H.I.**: *Study of corrosion in biocompatible metals for implants: A review*. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 701, 2017, pp. 698–715.
- [41] **Marcinkowski J.S., Zemfler K.**, *Kultura bezpieczeństwa pracy w firmie w opinii studentów studiów niestacjonarnych*. *Problemy Profesjologii* nr 2/2008.
- [42] **Maruda R.**: *Chropowatość powierzchni stali austenitycznej 316L po toczeniu w warunkach chłodzenia metodą MQCL*. *Mechanik*, Vol. 8-9,2016, pp. 1058-1059.
- [43] **Mazur M.**: *Podstawy Spawalnictwa*. Wyd. Wydawnictwo politechniki Śląskiej, Gliwice, 1993
- [44] **Nita B.**: *Rachunkowość zarządcza w działalności przedsiębiorstwa i instytucji*. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, Wrocław 2012.
- [45] **Karaszewski R.**: *Zarządzanie jakością. Koncepcje, metody i narzędzia stosowane przez liderów światowego biznesu*. Wyd. Wydawnictwo Dom Organizatora, Toruń, 2005

- [46] **Obora H.:** *Przegląd wybranych zastosowań i kierunków rozwoju metody QFD*. Zeszyty naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie nr 736, 2007
- [47] **Prasad B.K.,** *Sliding wear behaviour of bronzes under varying material composition, microstructure and test conditions*. Wear. 2004. Vol.257. p.110–123.
- [48] **Rajkumar K., S. Aravindan,** Tribological performance of microwave sintered copper–TiC–graphite hybrid composites. Tribol. Int. 2011. Vol. 44. p.347–358.
- [49] **Rachwał A., Wolniak R.:** *Niezgodności spawalnicze i technika ich wykrywania*. Wyd. Politechniki Śląskiej, 2018.
- [50] **Radovanovica M.,** *Multi-Objective Optimization of Abrasive Water Jet Cutting Using MOGA*. Procedia Manufacturing Volume 47, 2020, pp. 781-787 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.241>
- [51] **Restecka M., Wolniak R.:** It Systems in Aid od Welding Processes Quality Management in the Automotive Industry. 2016
- [52] **Restecka M., Wolniak R.:** *The use of welding robots*. 2017
- [53] **Roth C.C., Mohr D.** *Effect of strain rate on ductile fracture initiation in advanced high strength steel sheets: experiments and modeling*. Journal of Plasticity, 56, 2014, pp. 19-44, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijplas.2014.01.003>
- [54] **Sadykov F.A., N.P. Barykkin, I.R. Aslanyan,** *Wear of copper and its alloys with submicrocrystalline structure*. Wear. 1999. Vol.225–229. p. 649–655.
- [55] **Statnikov R.B., Statnikov A.R.:** *The Parameter Space Investigation Method Toolkit*. Artech House: Boston, MA, USA, 2011.
- [56] **Tarasik V. P., Yu. S. Romanovich, V. S. Savitsky,** Modeling of the heating process of multi-disk clutches of hydromechanical transmission, Vestn. Belarus.-Ros. un-that. - 2012. –№ 1 (34). - p. 107–117.
- [57] **Tarasik V. P.,** Mathematical modeling of technical systems: a textbook for high schools, Minsk, Design ABM, 2004. - 640 p.
- [58] **Tarasik V.P.,** A mathematical model of heat transfer in disk clutches of transmissions of mobile machines. Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2015. No 3 (48). p. 68-78.
- [59] **Tasak E.:** *Metalurgia spawania*. Wyd. JAK Andrzej Choczewski, Kraków, 2008
- [60] **Tekiner Z., Nalbant M., Hakan G.,** *An experimental study for the effect of different clearances on burr, smooth-sheared and blanking force on aluminium sheet metal*. Materials and Design 2006, Vol. 27., pp. 1134-1138.
- [61] **Toruński J.:** *Metoda QFD w procesie zarządzania jakością w przedsiębiorstwie*. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo- Humanistycznego w Siedlcach nr 96, 2013
- [62] **Uo M., Watari F., Yokoyama A., Matsuno H., Kawasaki T.:** *Visualization and detectability of elements rarely contained in soft tissue by X-ray Canning analitical microscopy and elektron-probe micro analysis*. Biomaterials, Vol. 22(13), 2001, pp. 1787–1794.
- [63] **Wegener K., Kuster F., Weikert S., Weiss L., Stirnimann J.:** *Success story cutting*. Procedia CIRP, Vol. 46, 2016, pp. 512–524.

- [64] **Wetzig A., Herwiga P., Hauptmann J., Baumann R., Rauscher P., Schlosser M., Leyensa Ch.** *Fast Laser Cutting of Thin Metal* Procedia Manufacturing Volume 29, 2019, pp. 369-374 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.150>
- [65] **Włodarczak Z.:** Ocena efektywności wdrożeń systemów informatycznych. Zeszyty Naukowe – Politechnika Poznańska Organizacja i Zarządzanie. 0239-9415. Nr 41 (2005), s.133-140.
- [66] **Wojtysiak O.,** *Kultura bezpieczeństwa organizacji na przykładzie szkoły wyższej.* Uniwersytet Zielonogórski 2020.
- [67] **Zymonik Z., Hamrol A., Grudowski P.:** *Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem.* Wyd. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013
- [68] PN-EN ISO 9000, System zarządzania jakością. Podstawy i terminologia.
- [69] PN-EN ISO 6520-1, Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1:Spawanie.
- [70] PN-EN ISO 4063:2011, Spawanie i procesy pokrewne - Nazwy i numery procesów
- [71] IATF 16949:2016
- [72] *Broszura informacyjna o grupie SITECH.* Materiały wewnętrzne przedsiębiorstwa.
- [73] Procedura PR.11.24 „Proces badania złączy metodą makrografii”. Materiały wewnętrzne SITECH Sp. Z o.o..
- [74] <http://www.matweb.com>
- [75] www.bibliotekacyfrowa.wsb.wroclaw.pl:8080/Content/88/ZN_32_Gebczynska.pdf
- [76] www.kierunekwodkan.pl/Resources/art/2649/bmp_4bb46db8517dc.pdf
- [77] www.e-promag.pl/wskaznik-rotacji-zapasow,435.html
- [78] www.finance.egospodarka.pl/10439,Rotacja-zapasow-w-dniach-days-of-coverage-inventory,1,57,1.html
- [79] www.leanmanufacture.net/kpi/ontimedelivery.aspx
- [80] www.docsiy.com/pl/b6dad961d66f7a8846b46183b1a387b4/281333/

AUTORZY

Dyachkova Larisa, Institute of Powder Metallurgy named after academician O.V. Romana, *Belarusian National Academy of Sciences, Ul. Platonova 41, Minsk, 220005 Belarus*, dyachkova@tut.by

Falkiewicz Patrycja– absolwentka studiów magisterskich kierunku „Zarządzanie i Inżynieria Produkcji”, Uniwersytet Zielonogórski

Feldshtein Eugene Faculty of Mechanical Engineering, University of Zielona Góra, Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra Poland

Jakubowski Julian, dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Filia Uniwersytetu Zielonogórskiego w Sulechowie, Katedra Energetyki, e-mail: j.jakubowski@wzs.uz.zgora.pl

Kaczmarek-Pawelska Agnieszka dr inż., Instytut Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

Krzykała Kamil absolwent studiów II stopnia, kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Wydział Mechaniczny

Leksycki Kamil, mgr inż. Instytut Inżynierii Mechanicznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

Liashok A., Institute of Powder Metallurgy named after academician O.V. Romana, *Belarusian National Academy of Sciences, Ul. Platonova 41, Minsk, 220005 Belarus*, sdilav@tut.by

Michalski Mariusz dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, m.michalski@iim.uz.zgora.pl

Patalas-Maliszewska Justyna, dr hab. inż. prof. UZ - pracownik badawczo-dydaktyczny w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Zielonogórskiego, ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, j.patalas-maliszewska@iim.uz.zgora.pl

Paszkwicz Maria Agnieszka, dr nauk ekonomicznych, pracownik Uniwersytetu Zielonogórskiego, członek Polskiego Towarzystwa Ekonomicznego w Zielonej Górze. ORCID: 0000-002-4421-5199

Romankiewicz Remigiusz dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, r.romankiewicz@iim.uz.zgora.pl

Schlafka Paweł dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Instytut Inżynierii Mechanicznej, ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, p.schlafka@iim.uz.zgora.pl

Wawrzyniak Czesław, DACH-METAL Producent Pokryć Dachowych, ul. Leszczyńska 45, 64-111 Lipno, c.wawrzyniak@dach-metal.com.pl

Wojtysiak Oliwia, mgr absolwentka Uniwersytetu Zielonogórskiego, ukończyła studia na kierunku „Bezpieczeństwo i higiena pracy”



UNIWERSYTET
ZIELONOGÓRSKI

IIM

Institut Inżynierii Mechanicznej

PROWADZIMY STUDIA
PIERWSZEGO I DRUGIEGO STOPNIA
NA KIERUNKACH:

Mechanika i budowa maszyn



Zarządzanie i inżynieria produkcji



Bezpieczeństwo i higiena pracy



Więcej informacji na www.iim.uz.zgora.pl