

fot. IMBiGS



**ZESPÓŁ REDAKCYJNY:**

**Redaktor Naczelny** – prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski  
**Z-ca Redaktora Naczelnego** – dr inż. Martyna Jachimowicz  
tel. 663 311 966

**Sekretarz Redakcji** – mgr Izabella Gosiewska  
tel. 663 311 933

**Redaktorzy tematyczni:**

Dr inż. Rafał Kluz (technologia, automatyzacja)  
Dr inż. Katarzyna Antosz (niezawodność, eksploatacja)  
Dr inż. Mirosław Chłosta (inżynieria, produkcja)  
Dr inż. Andrzej Kubit (struktury i systemy montażu)

**RADA PROGRAMOWO-NAUKOWA:**

Prof. Dario Antonelli (Politecnico di Torino, Włochy), prof. Bronius Baksys (Kaunas University of Technology, Litwa), prof. Marek Balaziński (Ecole Polytechnique Montreal, Kanada), prof. Adam BARYLSKI (Politechnika Gdańska), mgr inż. Magdalena Borek-Daruk (SIGMA-NOT), prof. Józef Gawlik (Politechnika Krakowska) – z-ca przewodniczącego, prof. Jan Godzimirski (WAT), prof. Stefan Góralczyk (IMBiGS), prof. Mikulas Hajduk (Technická Univerzita v Kosciciach, Słowacja), prof. Michael Kheifetz (Połocki Gosudarstwiennyj Uniwersytet, Białoruś), doc. dr inż. Radek Knoflicek (FME Brno, Czechy), prof. Mark Kristal (Volgograd State Technical University, Rosja), prof. Józef Kuczmaszewski (Politechnika Lubelska), prof. Piotr Łebkowski (AGH), prof. Antonio Maffei (KTH Royal Institute of Technology, Szwecja), prof. Ignace Martens (Katholieke Universiteit Leuven, Belgia), prof. Jacek Mucha (Politechnika Rzeszowska), prof. Vitaly Pasichnyk (Nacjonalnyj Techniczeskij Uniwersitet Ukrainy „Kijewskij Politechniczeskij Instytut”, Ukraina), prof. R. M. Chandima Ratnayake (University of Stavanger, Norwegia), prof. Emil Spisak (Technika Univerzita v Kosciciach, Słowacja), dr inż. Dorota Stadnicka (Politechnika Rzeszowska), prof. Jerzy Stamirowski (Politechnika Świętokrzyska), prof. Michail W. Wartanow (Moskowskij Gosudarstwiennyj Maszynostroitelnyj Uniwersytet, Rosja), prof. Władimir P. Woronienko (Moskowskij Gosudarstwiennyj Technologiczeskij Uniwersytet, Rosja), prof. Jan Żurek (Politechnika Poznańska) – przewodniczący

**ADRES REDAKCJI:**

Kwartalnik „Technologia i Automatykacja Montażu”  
ul. Ratuszowa 11, pok. 740  
00-950 Warszawa, skr. poczt. 1004  
Tel. 22 853 81 13  
e-mail: tiam@sigma-not.pl  
www.tiam.pl

**PRENUMERATA:**

Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o.  
ul. Ku Wiśle 7  
tel. 22 840 30 86  
tel./fax: 22 827 43 65, 619 22 41 w. 215  
e-mail: prenumerata@sigma-not.pl  
portal: www.sigma-not.pl

**REKLAMA:**

Redakcja: tel. 22 853 81 13  
e-mail: tiam@sigma-not.pl  
Dział Reklamy i Marketingu  
tel./fax: 22 827 43 65  
e-mail: reklama@sigma-not.pl

**SKŁAD I ŁAMANIE:**

Drukarnia Wydawnictwa SIGMA-NOT  
ul. Ks. Jerzego Popiełuszki 19/21, 01-590 Warszawa  
e-mail: drukarnia@drukarnia.sigma-not.pl

**WYDAWCA:**

 **IMBiGS**  
Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego  
ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa

 **SIGMA-NOT**  
www.sigma-not.pl

Wydawnictwo SIGMA-NOT  
ul. Ratuszowa 11 skr. poczt. 1004, 00-950 Warszawa

**PATRONAT:**

Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników i Techników Polskich

Za treść ogłoszeń i artykułów promocyjnych redakcja nie odpowiada

Cena prenumeraty rocznej 80 zł  
Wersja pierwotna: elektroniczna

## W numerze

Stamirowski J.: Standard STEP w procesach integracji i rozwoju komputerowych systemów inżynierskich. Cz. II Wybrane zastosowania inżynierskie standardu STEP .....	7
Wiśniewska M., Matuszewski M.: Walidacja technologii spawania rurociągu w aspekcie jakości złączy montażowych .....	13
Chłosta M., Kobiątka J.: Stanowiska szkoleniowe jako element współczesnego przygotowania kwalifikowanego personelu automatyków linii montażowych .....	17
Kozioł S., Samborski T., Zbrowski A.: Racjonalizacja konstrukcji i technologii wytwarzania przenośnika taśmowego .....	24
Kowalski T., Walkiewicz L.: Urządzenia wymiany i mocowania narzędzi w centrum frezarskim BĄK .....	29
Łunarski J.: Zarządzanie aktywami organizacji według norm ISO serii 55000 .....	33
Pasiecznik W.A., Stepanienko S.A.: Zapewnienie jakości wiercenia otworów w kompozytach węglowych z wykorzystaniem składanego wiertła .....	38
Grochalski K., Peta K., Wiśniewski M.: Diagnostyczne metody detekcji wad w połączeniach klejowych materiałów kompozytowych .....	42
Kuczmaszewski J., Anasiewicz K.: Wpływ grubości warstwy kleju na sztywność spoiny w połączeniu doczołowym metal-metal .....	46
Rośkiewicz M., Tkaczuk S., Leszczyński P.: Badania klejów wykorzystywanych w próbach stoiskowych konstrukcji lotniczych .....	49
Rudawska A., Oleszek N.: Wybrane aspekty wytrzymałości połączeń klejowych blachy stalowej kwasoodpornej 1.4310 .....	53
Przyczyny wypadków związanych z konserwacją dźwigów w latach 2010–2016 (UDA) .....	57
Z prasy zagranicznej .....	58

Stamirowski J.: Standard STEP process integration and development of computer systems engineering. Part II. Selected applications engineering standard STEP .....	7	Стамировски Е.: Стандарт STEP в процессах развития и интегрирования компьютерных инженерских систем. Ч. 2. Избранные инженерские применения стандарда STEP	7
Wiśniewska M., Matuszewski M.: Validation of pipeline welding technology in the aspect of quality assembly connections .....	13	Висьневска М., Матушевски М.: Обеспечене качества технологии сварки трубопровода через качество сборочных соединений .....	13
Chłosta M., Kobiałka J.: Training stands as the elements of the production lines automatic staff contemporary vocational process .....	17	Хлоста М., Кобялка Я.: Обучающее стенды как элемент современной подготовки квалификации персонала автоматических сборочных линий .....	17
Kozioł S., Samborski T., Zbrowski A.: An improvement of the design and production technology of a belt conveyor .....	24	Козел С., Самборски Т., Збровски А.: Улучшение конструкции и технологии изготовления ленточного транспортера .....	24
Kowalski T., Walkiewicz L.: Equipment for the replacement and fixing of tools in the milling center БАК .....	29	Ковальски Т., Валькевич Л.: Прибор замены и крепления инструментов во фрезерном центре БАК .....	29
Łunarski J.: Management of organizational assets by standard ISO 55000 .....	33	Лунарски Е.: Управление активами в организациях согласно стандартам ИСО 55000 ..	33
Pasiecznik W.A., Stepanienko S.A.: Quality assurance of drilling in CFRP by combined drills	38	Пасечник В.А., Степаненко С.А.: Обеспечение качества сверления отверстий в углепластике с использованием комбинированного сверла .....	38
Grochalski K., Peta K., Wiśniewski M.: Diagnostic methods defects detection in joints bonded composite materials .....	42	Грохальски К., Пета К., Висьневски М.: Диагностические методы определения дефектов в клеевых соединениях композитных материалов .....	42
Kuczmaszewski J., Anasiewicz K.: Influence of adhesive layer thickness on joint rigidity in metal-metal butt joint .....	46	Кучмашевски Ю., Анаевич К.: Влияние толщины клеевого слоя на жесткость соединения в сопряжении металл – металл .....	46
Rośkowicz M., Tkaczuk S., Leszczyński P.: Research of adhesives used in the stand tests of aircraft structures .....	49	Роськович М., Ткачук С., Лещыньски П.: Исследования клеев использованных в стендовых испытаниях авиационных конструкции .....	49
Rudawska A., Oleszek N.: Selected aspects of bonded joint strength of 1.4310 acid resistant steel sheet .....	53	Рудауска А., Олещук Н.: Избранные вопросы прочности клеевых соединений стальной, кислотостойкой жести 1.4310 .....	53

## Wskazówki dotyczące przygotowania artykułów

- Artykuły przeznaczone do opublikowania w kwartalniku „Technologia i Automatykacja Montażu” powinny mieć oryginalny i naukowo-techniczny charakter i być zgodne z problematyką czasopisma. Redakcja przyjmuje artykuły w jęz. polskim, jęz. angielskim i jęz. rosyjskim.
- Artykuł o maksymalnej objętości 5 stron A4 wraz z ilustracjami powinien być napisany czcionką Times Roman lub Arial 12 pkt, z interlinią 12 pkt. Formatowany tekst nie powinien mieć podziału na kolumny.
- Tytuł artykułu należy podać w jęz. polskim i jęz. angielskim. Tytuł nieprzekraczający 10 słów powinien odzwierciedlać istotne elementy treści artykułu.
- Struktura artykułów naukowo-technicznych prezentujących prace autora(ów) powinna być następująca: wstęp (wprowadzenie); metodyka (badań, analiz, pracy z podaniem ewentualnie materiałów, założeń itp.); wyniki (badań, analiz); omówienie wyników; wnioski; spis literatury.
- Podpisy pod ilustracjami oraz tytuły tablic należy podać w jęz. artykułu i jęz. angielskim.
- Ilustracje należy dołączyć również jako osobne pliki w formacie: .jpg, .tiff, z rozdzielczością co najmniej 300 dpi. Wszystkie zamieszczane ilustracje powinny być własnością autora(ów) lub należy podać źródło pochodzenia rysunków.
- Wzory matematyczne pisane w edytorze równań Microsoft Equation i powinny być oznaczane kolejnym numerem w nawiasie okrągłym. Wszystkie symbole powinny być objaśnione. Należy stosować jednostki układu SI.
- Spis literatury należy podać w kolejności cytowania w tekście, a odnośniki w tekście powinny być ponumerowane cyframi arabskimi i umieszczone w nawiasach kwadratowych. W przypadku korzystania z Internetu należy podać adres strony i datę odczytu. Liczbę autocytowań należy ograniczyć do niezbędnych.
- Do artykułu należy dołączyć streszczenie w jęz. artykułu i jęz. angielskim, zawierające minimum 200–250 słów.
- Pod streszczeniem należy podać 3–6 słów kluczowych w jęz. artykułu i jęz. angielskim, zwracając uwagę, by nie były one powtórzeniem tytułu pracy.
- Po spisie literatury zaleca się podanie źródła finansowania pracy.
- Na końcu artykułu należy podać: imiona i nazwiska autorów, tytuły naukowe lub zawodowe, telefon, faks, e-mail, miejsce zatrudnienia wraz z adresem do korespondencji.

## Procedura recenzowania

Procedura recenzowania artykułów w czasopiśmie jest zgodna z zaleceniami Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zawartymi w opracowaniu „Dobre praktyki w procedurach recenzyjnych w nauce”, Warszawa 2011.

Wszystkie artykuły naukowo-techniczne publikowane w kwartalniku „Technologia i Automatykacja Montażu” są recenzowane.

Nadesłane artykuły są poddawane redakcyjnej ocenie formalnej i otrzymują numer redakcyjny, identyfikujący je na dalszych etapach procesu wydawniczego, a redakcja wysyła do autorów informację o przyjęciu artykułu i wysłaniu go do recenzentów. Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów. Redakcja dobiera recenzentów rzetelnych i kompetentnych w danej dziedzinie. Nadesłane artykuły nie są nigdy wysyłane do recenzentów z tej samej placówki, z której pochodzi autor. Prace recenzentów są poufne i anonimowe. Recenzja musi mieć formę pisemną i kończyć się jednoznacznym wnioskiem o dopuszczeniu artykułu do publikacji w czasopiśmie lub jego odrzuceniu. W przypadku pracy w języku obcym, co najmniej jeden z recenzentów jest afiliowany w instytucji zagranicznej innej niż narodowość autora pracy. Autorzy są informowani o wynikach recenzji oraz otrzymują je do wglądu. W sytuacjach spornych redakcja powołuje dodatkowych recenzentów.

Lista recenzentów publikowana jest w ostatnim zeszycie każdego rocznika.

## Warunki prenumeraty kwartalnika „Technologia i Automatykacja Montażu” w 2017 r.

Kwartalnik „Technologia i Automatykacja Montażu” ukazuje się formie elektronicznej i jest dostępny on-line na Portalu Informacji Technicznej Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o. ([www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)).

**Cena prenumeraty rocznej wynosi:** 80 zł (w tym 23% VAT).

### Rabaty:

50% – dla członków stowarzyszeń naukowo-technicznych NOT, nauczycieli, studentów i uczniów,

10% – dla prenumeratorów podpisujących z Wydawnictwem umowę prenumeraty ciągłej (odnawialnej automatycznie).

### Prenumeratę można zamówić:

• **telefonicznie:** 22 840 30 86, 22 840 35 89

• **faksem:** 22 891 13 74

• **e-mailem:** [prenumerata@sigma-not.pl](mailto:prenumerata@sigma-not.pl)

• **on-line:** [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl)

• **listownie:**

Zakład Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT ul. Ku Wiśle 7, 00-707 Warszawa

• **dokonując wpłaty na konto:**

Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o., ul. Ratuszowa 11, 00-950 Warszawa PKO BP 24 1020 1026 0000 1002 0250 0577 (w tytule przelewu należy podać nazwę czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy i okres prenumeraty).

## DOSKONALENIE PROCESÓW PROJEKTOWANIA DZIAŁANAMI INNOWACYJNYMI W ZAUTOMATYZOWANEJ PRODUKCJI MONTAŻOWEJ

Jerzy ŁUNARSKI

We współczesnym świecie o narastającej złożoności różnych systemów (technicznych, organizacyjnych, społecznych) procesy projektowania stają się kluczowymi dla zapewnienia sukcesu podejmowanych przedsięwzięć i poszczególnych działań. Mają one za zadanie zapewnienie optymalności projektowanych „wyrobów”, którymi mogą być m.in.: obiekty, procesy, struktury, systemy, plany, sytuacje, wynalazki i inne.

Pojęcie optymalności jest uzależnione od stanu otoczenia i sytuacji podmiotu dla którego projektowany jest „wyrób”. Może ono dotyczyć: funkcjonalności, produktywności, bezpieczeństwa, ekonomiczności, wykonalności lub innych specyficznych aspektów, przejawiających się w działaniach produkcyjnych, społecznych i innych. Postacie projektów są bardzo zróżnicowane, mogą to być projekty obiektów, procesów, struktur, plany postępowania, specyfikacje, zakresy obowiązków, strategie postępowania, doskonalenia dotychczasowych praktyk, polepszenia konkurencyjności i inne.

Ze względu na znaczenie jakościowego projektowania następuje specjalizacja jednostek projektujących określonego typu „wroby”. Organizacje takie dążą do pozyskiwania kompetentnych projektantów, organizują bazę badawczo-doświadczalną i prowadzą konieczne badania, analizują i gromadzą dane i wiedzę, wynikającą z wcześniej opracowanych projektów, prowadzą rozpoznanie osiągnięć w swojej specjalizacji i starają się pozyskiwać potrzebnych pracowników, licencje potrzebnych rozwiązań, utrzymywać współpracę z osobami lub jednostkami mającymi poszukiwaną wiedzę i rozwiązania oraz stosować metody, które wykazały swoją użyteczność w procesach doskonalenia opracowań projektowych (systemy informatyczne, SI, LE, TQM, HM i inne).

Produkcja montażowa, a zwłaszcza jej zautomatyzowana odmiana, stanowi finalny etap wytwarzania wielu różnorodnych wyrobów, w trakcie którego konstytuowana jest większość jego cech użytkowych, ekonomicznych i jakościowych, które decydują o jego konkurencyjności. Do specyficznych cech takiej produkcji można zaliczyć m.in. następujące:

a) Pracochłonność prac montażowych w ogólnej pracochłonności wytwarzania stanowi od 20% (produkcja wielkoseryjna i masowa) do 50–60% (produkcja jednostkowa, specjalna tp.). Zautomatyzowanie produkcji montażowej sprzyja redukcji łącznych kosztów

wytwarzania, stanowiąc istotną rezerwę polepszenia konkurencyjności.

- b) W zautomatyzowanym systemie montażowym wyeliminowane są subiektywne oddziaływania poszczególnych operatorów na sposoby realizacji konkretnych zadań, co zapewnia stabilność uzyskiwanego poziomu jakości.
- c) Zautomatyzowane systemy montażowe charakteryzują się dużym stopniem specjalizacji, koniecznej do spełnienia szeregu specyficznych wymagań, co wiąże się z koniecznością indywidualizacji ich projektowania i wytwarzania.
- d) Optymalizacja i ekonomizacja wytwarzania takich systemów wymaga starannego wyboru i zespolenia działań o charakterze zautomatyzowanym, zmechanizowanym lub ręcznym przez operatorów, co jest uzależnione od posiadanych zasobów, warunków użytkowania, skali produkcji i koniecznej elastyczności systemu.

Do zasadniczych projektów opracowywanych w trakcie podejmowania i uruchamiania produkcji wyrobów w zakresie ich procesów montażowych należą m.in. następujące:

- 1. Projekt badań potrzeb rynkowych i oczekiwań klientów względem planowanego do uruchomienia wyrobu, celem ustalenia wielkości popytu, planowanej skali produkcji i jej czasookresu oraz ceny akceptowalnej przez docelowych klientów (ma to wpływ na planowane koszty produkcji).
- 2. Projekt założeń planowanego wyrobu, uwzględniający wyniki wcześniejszych badań i analiz rynkowych, możliwości technologicznych i finansowych wytwórcy wraz z biznesplanem uwzględniającym konieczny stopień zautomatyzowania produkcji, w tym produkcji montażowej.
- 3. Projekt wyrobu spełniający opracowane założenia oraz zapewniający jego technologiczność produkcyjną w planowanym systemie wytwórczym (istniejącym lub nowo opracowywanym) oraz technologiczność eksploatacyjną u przewidywanych użytkowników.
- 4. Projekt rekonstrukcji istniejącego systemu produkcyjnego celem przystosowania go do potrzeb wytwórczych zaprojektowanego wyrobu lub projektowanie zupełnie nowego systemu wytwórczego dla tego wyrobu.

5. Projektowanie procesów technologicznych wytwarzania, w tym projektowania procesów montażu wraz z takimi procesami jak: kontrola, mycie, kompletowanie, transportowanie, podawanie, ustalanie, zliczanie, pakowanie i dystrybucja.
6. Projektowanie systemu obsługi sprzedażnej i posprzedażnej przez organizację napraw gwarancyjnych i pogwarancyjnych, dostawy części zamiennych, wskazanie zaleceń remontowych oraz organizację prac związanych z utylizacją i recyklingiem swoich wyrobów po zakończeniu eksploatacji.

Każdy z powyższych projektów składa się z szeregu powiązanych z nim podprojektów, takich jak: planowanie zaopatrywania i realizacji, organizacja kontroli jakości, harmonogramowanie działań, projektowanie i wytwarzanie potrzebnego oprzyrządowania, korygowanie planów i harmonogramów, wynikających ze zmian w systemie produkcyjnym (nowe zlecenia, awarie, wąskie gardła i in.), szkolenie personelu, rozbudowa mocy produkcyjnych.

Poszczególne opracowywane projekty podstawowe i podporządkowane, aby sprostać potrzebom konkurencyjności, powinny spełniać określone wymagania z jednoczesnym wprowadzaniem w nich elementów innowacyjności. Można tu wskazać następujące zalecenia:

- a) Każdy kolejno opracowywany projekt powinien być lepszy od analogicznych wcześniej opracowanych przez uwzględnienie nabytych doświadczeń i wiedzy, dzięki zastosowaniu nowszych materiałów lub ulepszonych zespołów handlowych, przez wykorzystanie doświadczeń innych podobnych organizacji, przez zakupy użytecznych licencji i patentów, kreatywną analizę wcześniejszych sytuacji awaryjnych, reklamacyjnych lub nieoczekiwanych sukcesów i inne.
- b) Zapewnienie właściwych, a jeśli to możliwe lepszych warunków projektowania i stałe ich doskonalenie przez: szkolenia i podwyższanie kwalifikacji projektantów, zapewnienie drożnych kanałów komunikacyjnych wewnątrz zespołu projektantów, zaopatrywanie ich w potrzebne informacje, zapewnienie ergonomicznych warunków projektantom, eksperymentalne badanie problemów trudnych do teoretycznego wyjaśnienia, zapewnienie koniecznych do projektowania zasobów finansowych, czasowych lub innych.
- c) Zastosowanie znanych sposobów nadzorowania procesów projektowania przez: dokonywanie okresowych przeglądów i weryfikacji postępu prac projektowych i wnoszenie uzasadnionych poprawek i uzupełnień, systematyczne monitorowanie postępu prac projektowych i ich zgodności z harmonogramem oraz wprowadzaniem koniecznych działań korygujących, przeprowadzanie ocen końcowych opracowanych projektów i wskazywanie konieczności uzupełnień, zapewnienie kompletności opracowań projektowych (analizy, obliczenia, rysunki, modele, plany, wyniki ocen itp.).
- d) Wspomaganie zespołów projektowych odpowiednimi systemami informacyjnymi i informatycznymi,

umożliwiającymi automatyzowanie analiz teoretycznych, obliczeń, konstruowania, porównawczych ocen ekonomicznych, wyboru rozwiązań technologicznych, wykonywania kalkulacji finansowych i czasowych, ułatwiających wybory rozwiązań znormalizowanych, automatycznego generowania dokumentacji projektowej i inne.

- e) Utworzenie w organizacji systemu wspomagającego doskonalenie realizowanych obiektów, procesów, organizacji, rozpoznawania potrzeb otoczenia itp. z pomocą których będą kreowane działania innowacyjne. Można tu wskazać następujące odmiany możliwych działań innowacyjnych:

- Drobne zmiany, znane w innych organizacjach i adoptowane do własnych potrzeb, jeśli mogą one przynieść określone korzyści w postaci redukcji kosztów, polepszenia funkcjonalności, wzrostu prestiżu i inne.
- Zmiany specyficzne dla prowadzonej działalności gospodarczej, których celem jest polepszenie konkurencyjności. Wymaga to zidentyfikowania słabych miejsc procesów w swojej działalności i uruchomienie działań, zmierzających do znalezienia zadowalającego rozwiązania (sformułowanie zadania, uruchomienie motywacji, wydzielenie zasobów, analiza zgłaszanych wariantów rozwiązań itp.).
- Zorganizowanie systemu pozyskiwania kreatywnych pomysłów dotyczących własnych wyrobów, znajdujących się w eksploatacji tzn. uwagi klientów, sygnały od sprzedawców oraz od serwisantów, informacje o problemach utylizacji, możliwości zwiększenia recyklingu, analizy wyrobów konkurencji i inne.
- Podejmowanie wysiłków nad opracowaniem przełomowych innowacji, które wymagają znacznych nakładów, lecz umożliwiają znaczącą poprawę konkurencyjności. Wymaga to dostępu do systemów badawczo-rozwojowych, umiejętnego wykorzystywania metod zarządzania twórczego, szkolenia i motywowania personelu, uzasadnione zakupy licencji i praw patentowych itp.
- Podobne efekty można uzyskać w sposób bardziej ekonomiczny, uruchamiając ukierunkowane działania zgodnie z wytycznymi teorii TRIZ (teoria rozwiązywania innowacyjnych zadań) i posługując się wieloma standardami stanowiącymi elementy składowe tej metody. Wymaga to jednak wcześniejszego przygotowania personelu celem umiejętnego posługiwania się algorytmami rozwiązywania problemów i stosowanymi w nich metodami (np. analiza wepolowa, prawa rozwoju systemów, zasady rozwiązywania sprzeczności technicznych i fizycznych, analiza przyczynowo-skutkowa, modelowanie, wizualizacja, metoda paradoksów i in.)

Dla zapewnienia jakości końcowych opracowań projektowych znaczący wpływ ma również system

zarządzania organizacją i projektami oraz struktura i systemy organizacji projektującej, które powinny spełniać m.in. następujące wymagania (na podstawie ISO 21500):

1. Mieć dobrze rozwinięte kontakty zewnętrzne celem możliwości pozyskiwania potrzebnych informacji, wiedzy, zasobów, dostaw, podwykonawstwa itp.
2. Poszczególne projekty powinny być traktowane jako przedsięwzięcia projektowe, składające się z fazy: inicjowania, projektowania, praktycznej realizacji i zakończenia wraz z formułowaniem wymagań i wytycznych biznesowych.
3. W ramach realizowanego przedsięwzięcia projektowego należy zorganizować realizację projektu planując procesy jego zarządzania, procesy podstawowe i pomocnicze wraz z ocenami końcowymi.

4. Starannie obserwować i analizować procesy wdrażania i stosowania rezultatów projektowania dla wyjawienia mankamentów oraz zalet opracowania (i procesów projektowania) celem wykorzystania tej wiedzy w kolejnych opracowywanych projektach.

Praktyczna realizacja powyższych wytycznych wymaga znaczących nakładów pracy na poznanie istoty problemu, opracowanie koncepcji jego rozwiązania i opracowanie wszelkich projektów, planów i harmonogramów, wdrożenia tych rozwiązań, kontroli i nadzorowania tych działań, wiedzy praktycznej i teoretycznej, umożliwiającej właściwe postępowania oraz umiejętności prac zespołowych wraz z odpowiednim systemem zarządzania. Kompleksowe spełnienie tych warunków umożliwia uzyskanie pożądaných wyników projektowania, stwarzających szansę na znaczącą poprawę konkurencyjności organizacji.



# STANDARD STEP W PROCESACH INTEGRACJI I ROZWOJU KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW INŻYNIERSKICH CZ. II. WYBRANE ZASTOSOWANIA INŻYNIERSKIE STANDARDU STEP

## *Standard STEP process integration and development of computer systems engineering Part II. Selected applications engineering standard STEP*

Jerzy STAMIROWSKI

---

**Streszczenie:** Integracja informacyjna jest istotnym elementem automatyzacji procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji. Prowadzone w ISO prace doprowadziły do opracowania standardu ISO 10303 STEP, ujednolicającego model informacyjny wyrobu i tworzącego warunki do informacyjnej integracji procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji. W artykule przedstawiono wybrane zastosowania inżynierskie standardu STEP w obszarze technicznego przygotowania produkcji i wytwarzania.

**Słowa kluczowe:** integracja, cykl życia wyrobu, automatyzacja, standard STEP, zastosowanie

**Abstract:** The integration of information is an essential element of the process automation of design and engineering. Conducted in ISO work led to the development of ISO 10303 STEP harmonizing the information model of the product and creating conditions for the integration of information processes designed and technical preparation of production. The article presents the selected application engineering STEP standard in the field of technical preparation of production and manufacturing.

**Keywords:** integration, product life cycle, automation, standard STEP application

---

### **Wprowadzenie**

Standard STEP w pierwszej kolejności kojarzony jest z usprawnieniem wymiany informacji przez wprowadzenie jednolitej struktury danych, opisującej własności i strukturę wyrobu. Osią opisu są generowane przez większość systemów CAD pliki z danymi w języku EXPRESS [7], [11]. Strukturę tę można traktować również jako strukturę niezależną i samodzielną, stanowiącą dane wejściowe, przetwarzane zgodnie z potrzebami użytkownika przez różne procedury cyklu życia wyrobu. Mogą to być procedury: systemów automatyzacji projektowania generacyjnych procesów technologicznych obróbki, procesów technologicznych montażu, projektowania elastycznych systemów wytwarzania, projektowania systemów montażu, programowaniu obróbki na obrabiarki CNC i gospodarki narzędziowej. Wykorzystanie standardu STEP w komputerowych systemach inżynierskich jest coraz większe i z pewnością korzystnie wpływa na czas uruchomienia produkcji i jakość produkowanych wyrobów. Przedstawione niżej syntetycznie, wybrane przypadki zastosowań, wskazują jedynie możliwości standardu STEP.

### **STEP w procesach wymiany danych**

Za podstawową zaletę standardu STEP w procesach wymiany danych uważane jest ograniczenie liczby post i preprocesorów, konwertujących formaty plików

wyjściowych i wejściowych, współpracujących systemów cyklu życia wyrobu (rys. 1). Tak zorganizowana wymiana jest przejrzysta, mniej zawodna i bardziej efektywna.

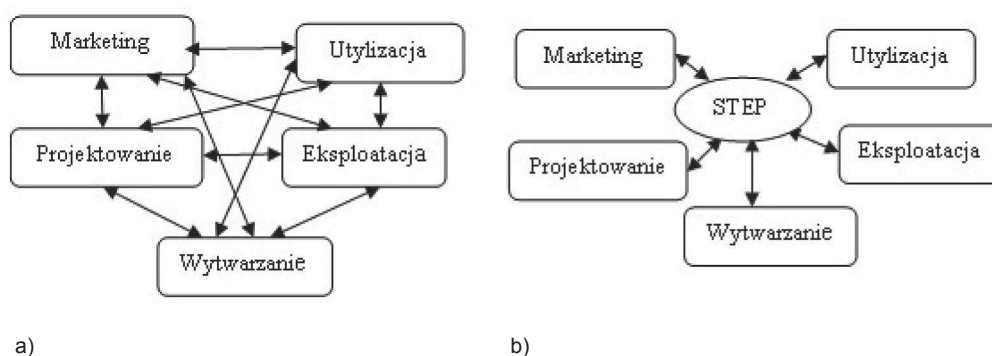
Aktualne systemy PDM (Product Data Management), organizujące wymianę danych pomiędzy systemami inżynierskimi zapewniają zaawansowane zarządzanie konfiguracją, strukturą produktu i tworzeniem wersji. Oferują zaawansowane prezentowanie modeli i danych inżynierskich, grupują pliki i dokumenty związane z konkretną wersją produktu, umożliwiają przeglądanie i raportowanie.

Systemy PDM wytwarzane są przez wyspecjalizowane firmy np. Windchill i coraz częściej przez firmy wytwarzające systemy CAD, które poszerzają możliwości swoich systemów o funkcję PDM np. SOLIDWORKS PDM [5].

Duża część systemów PDM nie jest jednak w stanie wygenerować reprezentacji wymaganej dla modelu danych innej dyscypliny, ponieważ system PDM często nie rozumie wewnętrznej semantyki modeli. Wyjątkiem są bardziej zaawansowane systemy PDM, mające zdolność wydobywania informacji z plików STEP. Dla umożliwienia interdyscyplinarnej współpracy systemów w procesie integracji, zaawansowani użytkownicy stosują w procesach wymiany danych protokoły standardu STEP.

System wymiany integruje heterogeniczne modele dyscyplin przez zdefiniowany na stałe model podstawowy, który zapewnia algorytmiczny wgląd w modele

### Cykl życia wyrobu



Rys. 1. Wymiana informacji: a) bez używania standardowych plików wymiany b) z użyciem standardowych plików wymiany STEP. Opracowanie własne na podstawie [9]  
 Fig. 1. Exchange of information in an information: a) without using a standard file exchange b) using standard STEP exchange file. Own study based on [9]

dyscyplin i świadczy usługi interdyscyplinarne. Odzworowanie reprezentacji modelu podstawowego w dyscypliny realizowane jest z użyciem języka EXPRESS. Narzędzia dyscyplin muszą mieć jednak możliwość importu i eksportu plików STEP. Taki model wymiany nazywany „Inteligentnym systemem PDM” [20] przedstawiono na rys. 2.

Gromadzenie i przetwarzanie dużej liczby danych związanych z pracami konstrukcyjnymi i uruchomieniem produkcji wymaga stosowania w poważnych przedsiębiorstwach dużych systemów informatycznych intensywnie wymieniających dane. Przykładem może być koncern Boeing, który musi mieć bazy danych z opisem detali ich modyfikacjami i węzłami do których należą, dla każdego wyprodukowanego samolotu. Przy takiej produkcji do bazy dodawanych jest rocznie ok. 1,5 mld detali. Systemy scentralizowane nie radzą sobie z takimi obciążeniami, dlatego też przedsiębiorstwa muszą stosować dobrze zintegrowane systemy rozproszone o większej wydajności. Najczęściej integracja realizowana jest przez zastosowanie technologii obiektów rozproszonych. Podstawowe z nich to: CORBA (OMG), COM (Microsoft)

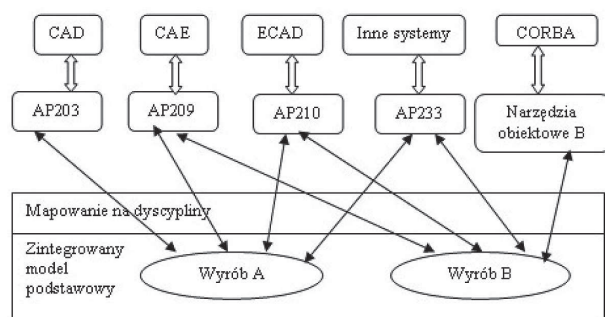
i RMI (Sun). Jednym z problemów przetwarzania danych w środowisku rozproszonym jest rozwiązanie problemu niejednorodności danych i ich struktur. Problem ten rozwiązywany jest różnymi sposobami. W sytuacjach specyficznych, np. przy przesyłaniu danych konstrukcyjnych, programiści mogą mieć powody do nie odkrywania struktur danych przy przesyłaniu ich pomiędzy bazami danych i serwerami w sieciowej warstwie aplikacji. Dane takie nie powinny być znane warstwie średniej (middleware), która nie powinna ich przetwarzać. Nazywają się one danymi nieinterpretowanymi.

W takich sytuacjach do usuwania niejednorodności używane są w warstwie aplikacji metody i języki problemowo zależne (domain specific). Istnieje wiele przykładów takiego podejścia. Standardowym mechanizmem spełniającym taką rolę przy wymianie danych konstrukcyjnych w zastosowaniach przemysłowych jest standard STEP (ISO 10303) [4]. Jest to kolejna zaleta standardu STEP.

Standard STEP wykorzystywany jest do wymiany danych w produktach firmy Dassault Systems. System SOLIDWORKS importuje i eksportuje pliki STEP (\*.step) jako: dokumenty części lub złożenia, geometrię obiektów – powierzchnie, krzywe, kolory oraz informacje o topologii z plików AP214 STEP, geometrię krawędziową (szkieletową) z plików STEP AP203 i AP214 oraz dane konfiguracyjne STEP.

Możliwy jest wybór eksportu indywidualnych części lub podzespołów z drzewa złożenia. Jeżeli wybierzemy podzespół, automatycznie wybrane zostaną wszystkie jego komponenty. Jeżeli wybierzemy komponent, jego przodkowie zostaną częściowo wybrani, zachowując strukturę złożenia [5].

CATIA V6R2013x w Dassault Systems uzyskała możliwość importu i eksportu standardu STEP AP242 [5], [8], [21]. Model danych standardu 3D rozszerzony o ISO 10303-242 z PMI (Product Manufacturing Information), wprowadził do modelu dane jakościowe tj. tolerancja, błędy kształtu. Dzięki większej liczbie przekazywanych danych wzrosło integrujące znaczenie modelu w procesach



Rys. 2. IPDM – Inteligentny PDM integrujący dyscypliny i udostępniający interfejsy obiektowe PDM. Opracowanie własne według [20]  
 Fig. 2. IPDM – Intelligent PDM integrates discipline and providing interfaces PDM object. Own study based on [20]

wymiany danych i powiększyły się możliwości zastosowań [21]. Model zapewnia długoterminową archiwizację i wprowadził do produkcji elementy inteligencji. Używany jest w wielu firmach lotniczych i samochodowych, gdzie wyróżnia się dobrą wydajnością i niezawodnością.

### STEP w programowaniu obróbki na obrabiarkach CNC

Zastosowanie standardu STEP do programowania obróbki na obrabiarkach CNC zmniejsza objętości programów, poprawia komunikację pomiędzy systemami CAD/CAM i sterownikami CNC, a także pozwala kontrolować i korygować w czasie rzeczywistym jakość obrabianych detali.

Używany od blisko 50 lat do programowania obrabiarek CNC język G-kodów jest od lat krytykowany [15]. Programy obróbki używane w przemyśle lotniczym i samochodowym mają dużą objętość, a wymiana danych zapisanych w kodzie G jest czasochłonna i nieefektywna. Prace nad opracowaniem nowego standardu programowania podjęła grupa robocza ds. wytwarzania narzędzi i maszyn organizacji OMAC (Organization for Machine Automation and Control) [19]. Nowy standard ISO

10303-238, STEP-NC AP238 (Standard modelu wymiany danych dla obrabiarek CNC) jest wynikiem ok. piętnastoletniej międzynarodowej współpracy, której celem było zastąpienie kodu G nowoczesnym językiem, łączącym dane projektowe CAD/CAM ze sterownikami CNC. Standard stał się również podstawą rozwoju następnej generacji układów sterowania CNC.

Opracowano zorientowany obiektowo nowy interfejs STEP-NC dla wymiany informacji pomiędzy systemami CAD/CAM i CNC, który wykorzystuje szeroko rozpowszechnione obiekty elementarne STEP [15]. Programowanie CNC opiera się na wymianie i przetwarzaniu zestawu możliwych do obróbki na konkretnej maszynie takich obiektów jak: kieszenie, otwory, profile, frezowane powierzchnie płaskie itp., wraz z niezbędnymi funkcjami pomocniczymi [15], [19], [14]. Programy obróbki elementarnych obiektów pobierane są z bazy danych. Możliwe są dwie metody definiowania danych STEP-NC. Dane mogą mieć najbardziej popularny format zgodny z normą ISO10303-21 lub coraz częściej stosowany format XML według ISO 10303-28. Niżej przedstawiono fragmenty programów w formatach: a) według ISO10303-21 i b) według ISO 10303-28 [14], [13].

```
a)
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ISO 14649-11 EXAMPLE 1',
'SIMPLE PROGRAM WITH A PLANAR_FACE, A POCKET, AND A ROUND_HOLE'),
'1');
FILE_NAME('EXAMPLE1.STP',
'2002-02-02',
('YONG TAK HYUN','JOCHEN WOLF'),
('WZL, RWTH-AACHEN'),
'$',
'ISO 14649',
'$');
FILE_SCHEMA(('MACHINING_SCHEMA','MILLING_SCHEMA'));
ENDSEC;
DATA;
#1= PROJECT('EXECUTE EXAMPLE1',#2,(#4),$$,$$);
#2= WORKPLAN('MAIN WORKPLAN',(#10,#11,#12,#13,#14),$,#8,$$);
#4= WORKPIECE('SIMPLE WORKPIECE',#6,0.010,$$,$$,(#66,#67,#68,#69));
#6= MATERIAL('ST-50','STEEL',(#7));
#7= DESCRIPTIVE_PARAMETER('E=200000N/M2','mild');
#8= SETUP('SETUP1',#71,#62,(#9));
#9= WORKPIECE_SETUP(#4,#74,$$,());
#10= MACHINING_WORKINGSTEP('WS FINISH PLANAR FACE1',#62,#16,#19,$$);
#11= MACHINING_WORKINGSTEP('WS DRILL HOLE1',#62,#17,#20,$$);
...
#125= CUTTING_COMPONENT(80.000,$$,$$,$$);
/* #125= CUTTING_COMPONENT(80.000,$$,$$,$$); ORIGINAL BAD */
#126= CUTTING_COMPONENT(90.000,$$,$$,$$);
/* #126= CUTTING_COMPONENT(90.000,$$,$$,$$); ORIGINAL BAD */
#127= CUTTING_COMPONENT(100.000,$$,$$,$$);
/* #127= CUTTING_COMPONENT(100.000,$$,$$,$$); ORIGINAL BAD */
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```

b)

```
<?xml version="1.0" ?>
<iso_10303_28_terse xmlns="urn:oid:1.0.10303.238.1.0.1"
xmlns:exp="urn:oid:1.0.10303.28.2.1.1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchemainstance" schema="integrated_cnc_schema">
<exp:header>
<exp:name>7 inch mm CDS</exp:name>
<exp:time_stamp>2006-10-24T08:17:10-04:00</exp:time_stamp>
<exp:author>STEP-NC Maker 3.0</exp:author>
<exp:preprocessor_version>ST-DEVELOPER v11</exp:preprocessor_version>
<exp:originating_system>Various</exp:originating_system>
</exp:header>
<!-- *****
* Application object: PROJECT (id10)
* ITS_WORKPIECES [*]: id10, id11, id2284
* ITS_ID: id10, id12, id13, ['New Project']
* MAIN_WORKPLAN: id10, id14, id15, id11187
...
<Machining_process_sequence_relationship id="id11223" Name="" Description=""
Relating_method="id11187" Related_method="id10950" Sequence_position="36"/>
<Machining_process_sequence_relationship id="id11224" Name="" Description=""
Relating_method="id11187" Related_method="id10956" Sequence_position="37"/>
...
<!-- *****
* END OF APPLICATION OBJECT DESCRIPTIONS
-->
<Application_protocol_definition id="id11226" Status="international standard"
Application_interpreted_model_schema_name="integrated_cnc_schema"
Application_protocol_year="2006" Application="id17"/>
</iso_10303_28_terse>
```

Opracowany standard STEP-NC z wykorzystaniem protokołu AP-238 kieruje strumień danych od oprogramowania CAM do oprogramowania sterownika CNC, jednocześnie chroniąc i upraszczając informacje. Jak sugeruje m.in. firma Boeing lepszym rozwiązaniem jest system, w którym zamiast danych o ruchach osi, przesyłane są informacje o ruchach narzędzia. Wyrafinowane systemy CNC mogą przeliczać dane o ruchu narzędzia na dane o ruchu osi. Poza tym powstaje możliwość przesyłania do CNC informacji wysokiego poziomu o właściwościach wytwarzanych wyrobów, materiałach, narzędziach oraz danych technologicznych. W sytuacji gdy używa się standardów takich jak AP-238, dane o ruchach narzędzi stają się „niezależne od maszyny” [6].

Użycie standardów STEP AP 238 (usługa obróbkowa) i AP 242 (usługa pomiarowa), pozwoliło w czasie rzeczywistym przeprowadzić obróbkę aktualizującą obrabianego detalu na podstawie wygenerowanego z użyciem protokołów STEP modelu cyfrowego „bliźniaka”. Z modelem łączono się również przy pomocy smartfonu. Próbę przeprowadzono w październiku 2016 r. w obecności przedstawicieli zespołów ISO TC 184/SC4, OMAC i firmy Boeing [6]. Poruszone zagadnienia są jedynie wskazaniem do nowego podejścia do programowania obróbki na obrabiarki CNC.

## STEP w automatyzacji projektowania procesów technologicznych

Zastosowanie standardu STEP stwarza możliwości nowego podejścia do automatyzacji projektowania procesów technologicznych. Danymi wejściowymi do procedur projektowania procesów technologicznych mogą być wygenerowane przez systemy CAD pliki w języku EXPRESS. Zautomatyzowane elastyczne systemy produkcyjne (ZESP) projektowane są z myślą o obróbce w systemach rodzin detali. Procesy technologiczne dla rodzin detali, projektowane są metodą wariantową lub generacyjną. Idea generacyjnego projektowania procesów technologicznych oparta jest na pojęciu elementarnego obiektu konstrukcyjnego i elementarnego obiektu technologicznego. Rozpoznawanie i wyodrębnianie przez odpowiednie programy elementarnych obiektów konstrukcyjnych z danych zapisanych w plikach STEP w języku EXPRESS, tworzy możliwości znacznego postępu w automatyzacji generacyjnego projektowania procesów technologicznych. STEP dobrze reprezentuje wyroby przez ich dane geometryczne, topologię i wymagania obróbki, a pliki wymiany danych w języku EXPRESS generowane są przez większość systemów CAD.

Problemem rozpoznawania elementarnych obiektów i ich cech zajmuje się obecnie wielu naukowców. Pliki

w języku EXPRESS są plikami tekstowymi. Przetworzenie tych plików przez programy napisane według odpowiedniego algorytmu pozwala generować elementarne obiekty konstrukcyjne dla detali pryzmatycznych [17], [2], [10], [1], detali osiowosymetrycznych i otworów [16], [3]. Do rozpoznawania elementarnych obiektów konstrukcyjnych mogą być użyte różne języki programowania np. Java [10]. Należy zaznaczyć, że istnieje możliwość konwersji plików w języku EXPRESS na języki: XML, C++ i Java. Elementarne obiekty konstrukcyjne (płaszczyzna, kieszeń, itp.) i technologiczne mogą być przechowywane w bazie danych, a następnie przetwarzane i używane, w jeden sposób przez systemy projektowania procesów technologicznych i w drugi sposób do budowy programów obróbki na obrabiarkach CNC zgodnie z AP238. Metody projektowania procesów technologicznych w oparciu o rozpoznane w plikach STEP elementarne obiekty to ważne ogniwo integracji etapów projektowania, technicznego przygotowania produkcji i wytwarzania. Do roli elementu integrującego pretenduje model danych STEP.

Istnieją również propozycje szczegółowe, wykorzystania modelu danych narzędziowych standardu STEP do budowy systemu CAM, opartego na standardzie STEP-NC [12].

#### **STEP w automatyzacji projektowania zautomatyzowanych elastycznych systemów wytwarzania (ZESW)**

Podstawą projektowania ZESW są realizowane w systemie procesy technologiczne. W zintegrowanym środowisku, procedury projektowania ZESW powinny korzystać z procesów technologicznych, zaprojektowanych w oparciu o elementarne obiekty rozpoznane w plikach EXPRESS. Operacje i zabiegi procesów technologicznych powinny być przechowywane w bazie danych. Użycie w procedurach wyboru obrabiarek i struktury ZESW technologii wygenerowanych przez przetworzenie danych z pliku EXPRESS automatyzuje i integruje obszary projektowania wyrobu, technicznego przygotowania produkcji i projektowania ZESW [18].

Elementem integrującym procedury automatyzacji kolejnych etapów cyklu życia wyrobu od projektowania przez techniczne przygotowanie produkcji, aż do zaprojektowania ZESW w którym zaprojektowany wyrób byłby wykonany, są pliki wyjściowe z systemów CAD w języku EXPRESS.

W związku z metodą projektowania ZESW, opartą na technologii, której podstawą są wygenerowane z plików STEP obiekty elementarne, jednym z kryteriów wyboru obrabiarek powinno być kryterium pokazujące zdolność obrabiarki do obróbki elementarnych obiektów tj. kieszeń, profil itp., zgodnie z AP238. Identyczne kryterium powinno obowiązywać przy wyborze systemów programowania i sterowania obrabiarek wchodzących w zestaw ZESP. Należy uwzględnić nowe metody programowania i sterowania, wynikające ze stosowania zaleceń protokołu AP238 standardu STEP.

#### **Podsumowanie**

W artykule przedstawiono w zarysie wybrane przypadki stosowania STEP w praktyce inżynierskiej. Duża objętość norm STEP, utrudniony dostęp oraz konieczność zapoznania się z szeregiem nowych koncepcji, utrudniają upowszechnianie standardu. W artykule przedstawiono syntetyczne spojrzenie na możliwości zastosowania standardu STEP. Rozszerzoną wiedzę o standardzie i jego zastosowaniu można uzyskać z obszernej literatury. Mimo wszystkich trudności, związanych ze stosowaniem standardu, duże przedsiębiorstwa produkujące wyroby o najwyższym poziomie technicznym, dostrzegają przewagę dobrych stron standardu STEP i rozwijają jego stosowanie. Standard STEP nie jest standardem martwym. ISO kontynuuje proces jego rozwoju np. AP242, a przedsiębiorstwa rozszerzają jego stosowanie.

#### **LITERATURA**

- [1] Ashok G., S.S. Hebbal, R. Scachhidanad. 2016. "Development of algorithm to recognize through slot feature from STEP AP224 neutral file". *International Journal of Research in Engineering and Technology* Volume: 05 Issue: 08.
- [2] Ashok G., S.S. Hebbal, R. Scachhidanad. 2015. "Recognition of Hole Feature and Stock Details of a Prismatic Part from Its STEP AP224 Neutral File". *International Journal on Emerging Technologies* 6 (1): 118–124.
- [3] Deb S., J.R. Parra-Castillo, K. Ghosh. 2011. "An Integrated and Intelligent Computer-Aided Process Planning Methodology for Machined Rotationally Symmetrical Parts". *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 13, Issue 1.
- [4] Emmerich W. 2000. "Engineering Distributed Objects". Wydawnictwo John Wiley & Sons Ltd.
- [5] <https://www.3ds.com> – Dassault Systems, dostęp 02.2017.
- [6] <https://www.steptools.com/stds/stepnc>, dostęp 02.2017.
- [7] ISO 10303-11:2004 Subscribe to updates Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 11: Description methods: The Express language reference manual.
- [8] ISO 10303-242:2014. Industrial automation systems and integration -- Product data representation and exchange -- Part 242: Application protocol: Managed model-based 3D engineering, [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm%3Fcsnumber%3D57620](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm%3Fcsnumber%3D57620).
- [9] Kołczin A.F., W.M.Owsjannikow, A.F. Sstrjelkow. 2002. „Zarządzanie cyklem życia produkcji”. M: Ancharsis.
- [10] Malleswaria V.N., P.M. Valib, M.M.M. Sarcac. 2013. "Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files". *International Journal of Engineering Research & Technology*, Vol. 2, Issue 3.
- [11] PN-ISO 10303-11. Systemy integracji i automatyzacji przemysłowej. Reprezentacja i wymiana danych o produktach. Metody opisu. Język EXPRESS.
- [12] Pobożniak J. 2015. „Reprezentacja danych o narzędziach obróbkowych w standardzie STEP-NC. Tool data representation in STEP-NC standard”. *Mechanik* (2).

- [13] Recommended Practices for STEP AP242 Business Object Model XML Product & Assembly Structure. Release 1.1 May 20, 2016.
- [14] Saša T. Živanović, G. V. Vasilić. 2017. "A New CNC Programming Method Using STEP-NC Protocol". *FME Transactions* Vol. 45, No 1: 149–159.
- [15] Sosonkin W.Ł., F.M. Martinow. 2005. „Systemy sterowania numerycznego”. Moskwa: Wydawnictwo Logos.
- [16] Sreeramulud, C.S.P. Rao. 2011. "A new methodology for recognizing features in rotational parts using STEP data exchange standard". *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3, No 6.
- [17] Sreeramulud, C.S.P. Rao. 2008. "A New Methodology for Recognition of Milling Features from STEP File". *The International Journal of Applied Management and Technology*, Vol 6, No 3:172–190.
- [18] Stamirowski J. 2016. „Koncepcja technologicznego wyboru urządzeń dla elastycznych systemów produkcyjnych z wykorzystaniem standardu ISO 10303 STEP”. *Technologia i Automatyka Montażu* (3): 20–24.
- [19] Step-NC Enhances Value in Part Manufacturing. Organization for Machine Automation and Control (OMAC) OMAC Manufacturing Work Group (OMW) August 2012.
- [20] Waterbury S.C. 1999. "STEP for Multi-Disciplinary Model Management: "Intelligent PDM". NASA/Goddard Space Flight Center. July 16.
- [21] [www.ap242.org/geometry-assembly-pmi-interopability](http://www.ap242.org/geometry-assembly-pmi-interopability).

---

dr hab. inż. Jerzy Stamirowski prof. Politechniki Świętokrzyskiej – Katedra Automatyki i Robotyki Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: [j.stamirowski@tu.kielce.pl](mailto:j.stamirowski@tu.kielce.pl)

# WALIDACJA TECHNOLOGII SPAWANIA RUROCIĄGU W ASPEKCIE JAKOŚCI ZŁĄCZY MONTAŻOWYCH

## *Validation of pipeline welding technology in the aspect of quality assembly connections*

Mirosława WIŚNIEWSKA, Maciej MATUSZEWSKI

**Streszczenie:** W pracy przeanalizowano możliwości zastosowania różnych technologii spawania doczołowych złączy rur w aspekcie uzyskanej jakości połączeń. Wykonano złącza próbne i dokonano szeregu badań nieniszczących i niszczących. Na podstawie tych badań stwierdzono, że każda z analizowanych technologii spawania została zakwalifikowana jako dająca pożądaną jakość złącza doczołowego montowanych rur w aspekcie poziomu jakości B wg PN-EN ISO 5817.

**Słowa kluczowe:** montaż rurociągu, walidacja, badania nieniszczące, badania niszczące

**Abstract:** The study investigated the possibility of using the butt welding technology of pipe joints in terms of the obtained quality of connections. Trial couplings were made and a number of non destructive and destructive tests were performed. Based on these studies it was found that each of the analyzed welding technologies was qualified as providing the desired quality of the butt joint of the assembled pipes in terms of the quality level B according to PN-EN ISO 5817.

**Key words:** assembly of pipeline, validation, non-destructive testing, destructive testing

### Wprowadzenie

Spawanie według norm z serii ISO 9000, jako proces wytwórczy, jest zakwalifikowane do tzw. procesów specjalnych. Poprawności wykonanych złączy nie można ocenić wyłącznie po badaniach końcowych. W celu zapewnienia wymaganej jakości złączy spawanych, ich powtarzalności, a więc ograniczenia ilości poprawek, należy prowadzić walidację oraz monitorowanie stosowanej technologii. Zasadniczą częścią tego postępowania jest sprawdzenie technologii spawania w drodze kwalifikacji, w której należy stosować udokumentowane procedury, potwierdzone zazwyczaj przez niezależną jednostkę. Proces kwalifikowania technologii spawania opisuje szereg norm. Podstawą do wykonania spawania w warunkach produkcyjnych jest instrukcja technologiczna spawania (Welding Procedure Specification – WPS), która powinna określać wszystkie parametry charakteryzujące proces spawania. Na podstawie przeprowadzanej walidacji może być ona modyfikowana i poprawiana w zakresie podanych w niej istotnych zmiennych wielkości, które determinują jakość uzyskanego połączenia spawanego [1-5].

W pracy została dokonana ocena (walidacja) trzech możliwych do zastosowania technologii spawania doczołowych złączy rur przewodowych instalacji skroplin turbozespołu upustowo-przeciwprężnego 13 UP55, w aspekcie uzyskanej jakości połączeń montażowych. Ocena wybranych własności mechanicznych, które determinują jakość złączy, została dokonana na podstawie przeprowadzonych badań nieniszczących i niszczących złączy próbnych.

### Obiekt i metodyka badań

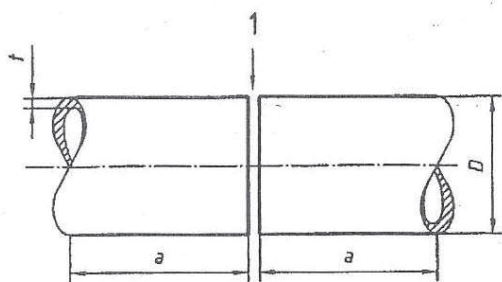
W celu wykonania montażu rurociągu technologicznego skroplin turbozespołu upustowo-przeciwprężnego 13 UP55, należało wykonać doczołowe złącza spawane. Turbozespół upustowo-przeciwprężny jest turbiną parową przeciwprężną, która poza rozprężaniem pary umożliwia również jej upusty technologiczne.

Wybór metody spawania dokonano na podstawie walidacji opracowanych technologii montażowych. Do kwalifikacji (analizy), przyjęto następujące technologie [6]:

- spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną (111), które jest jedną z szeroko stosowanych technologii w warunkach montażowych,
- spawanie półautomatyczne elektrodą topliwą w osłonie gazu aktywnego (135), które jest dość uniwersalną oraz wydajną metodą i coraz częściej wypiera spawanie elektrodami otulonymi,
- spawanie półautomatyczne elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego (141), które ogólnie charakteryzuje się bardzo dobrą jakością uzyskiwanych spoin.

Do kwalifikacji technologii spawania złączy doczołowych rur przewodowych instalacji skroplin wybrano metodę kwalifikacji przez badania technologii spawania według PN-EN ISO 15614-1 [7]. Metoda ta polega na kwalifikowaniu WPS na podstawie wykonania według niej znormalizowanego próbnego złącza spawanego (rys. 1) i zbadania go w zakresie zgodnym z normą.

Przygotowanie – dopasowanie i wykonanie złącza (1), należało wykonać zgodnie z opracowaną wstępną instrukcją technologiczną spawania (pWPS), uwzględniając

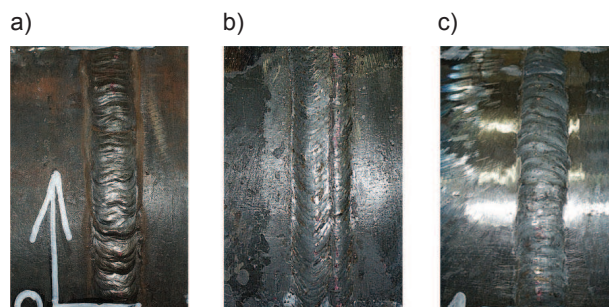


Rys. 1. Złącze próbne dla złącza doczołowego rury z pełnym przetopem (opis w tekście) [7]

Fig. 1. Test connector for butt plug full-pipe (description in the text) [7]

średnicę zewnętrzną rury ( $D = 193,7$  mm) oraz grubość łączonego materiału ( $t = 11$  mm). Minimalna długość rury użytej do wykonania złącza to 150 mm ( $a$ ).

Złącza próbne zostały wykonane na przykładzie złączy doczołowych montowanego rurociągu. Wykonane zostały ze stali węglowej S420 o granicy plastyczności  $Re = 420$  MPa (materiał rur). Materiał ten należy do grupy 1.3 według CR ISO 15608 [8] – są to drobnoziarniste stale normalizowane o  $ReH > 360$  N/mm<sup>2</sup>. Użyty materiał dodatkowy złącza próbnego był również z tej grupy



Rys. 2. Wygląd lica złącza próbnego: a) metoda 111, b) metoda 135, c) metoda 141

Fig. 2. Appearance of the test connector: a) method 111, b) method 135, c) method 141

materiałowej. Do wykonania złącza dla wszystkich badanych technologii przyjęto 5 ściegów, a łączone brzegi przygotowano z ukosowaniem symetrycznym na V. Poszczególne technologie montażowe wykonywano przy parametrach zestawionych w tab. 1-3.

Na rys. 2 przedstawiono wygląd lica złączy poszczególnych analizowanych metod.

Do badań złącza próbnego przyjęto zarówno badania nieniszczące (tzw. badania NDT) oraz niszczące. Zakres ten zależy m.in. od:

Tabela 1. Parametry spawania metodą 111  
Table 1. Parameters of welding method 111

Ścieg	Proces spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Rodzaj prądu Biegunowość
1	111	2,4	95 – 100	12,0 – 14,0	DC –
2	111	3,25	115 – 125	12,0 – 14,0	DC -
3	111	3,25	115 – 125	12,0 – 14,0	DC -
4	111	3,25	95 – 100	12,0 – 14,0	DC -
5	111	3,25	95 – 100	12,0 – 14,0	DC -

Tabela 2. Parametry spawania metodą 135  
Table 2. Parameters of welding method 135

Ścieg	Proces spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Rodzaj prądu Biegunowość
1	135	1,0	105 – 110	13,0 – 15,0	DC -
2	135	1,2	125 – 135	13,0 – 15,0	DC -
3	135	1,2	125 – 135	13,0 – 15,0	DC -
4	135	1,2	105 – 110	13,0 – 15,0	DC -
5	135	1,2	105 – 110	13,0 – 15,0	DC -

Tabela 3. Parametry spawania metodą 141  
Table 3. Parameters of welding method 141

Ścieg	Proces spawania	Wymiar spoiwa [mm]	Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]	Rodzaj prądu Biegunowość
1	141	2,4	85 – 90	12,0 ÷ 13,0	DC -
2	141	3,2	105 – 115	12,0 ÷ 13,0	DC -
3	141	3,2	105 – 115	12,0 ÷ 13,0	DC -
4	141	3,2	85 – 90	12,0 ÷ 13,0	DC -
5	141	3,2	85 – 90	12,0 ÷ 13,0	DC -



- kształtu złącza próbnego (złącze doczołowe blach, złącze doczołowe rur, złącze teowe, złącze odgałęzione),
- grubości i gatunku materiału.

Dla założonego do kwalifikacji technologii złącza próbnego (złącze doczołowe rur o grubości 11 mm z materiału w gatunku S420) w tab. 4 zestawiono typy i szczegółowe zakresy badań.

Tabela 4. Zakres badań złącza próbnego do kwalifikacji technologii spawania [7]

Table 4. Test specimen scope for qualification of welding technology [7]

	Typ badania	Zakres badania
Nieniszczące	Wizualne VT	100%
	Radiograficzne RT (lub ultradźwiękowe UT)	100%
	Penetracyjne PT (lub magnetyczno-proszkowe MT)	100%
Niszczące	Badanie na rozciąganie poprzeczne	2 próbki
	Badanie na zginanie poprzeczne	4 próbki (2 z rozciąganiem lica i 2 z rozciąganiem grani)
	Badanie udarności	2 zestawy (oś spoiny i linia wtopienia)
	Badanie twardości	2 linie (po 3 odciski w spoinie, obu strefach wpływu ciepła i obu materiałach podstawowych)
	Badanie makroskopowe	1 zgląd

Miejsce pobrania próbek do poszczególnych badań niszczących wskazane jest w normie [7] i publikacjach niezależnych jednostek kwalifikujących technologie [9]. Wymagane próbki powinny być pobrane po zakończeniu badań nieniszczących i spełnieniu ich kryteriów.

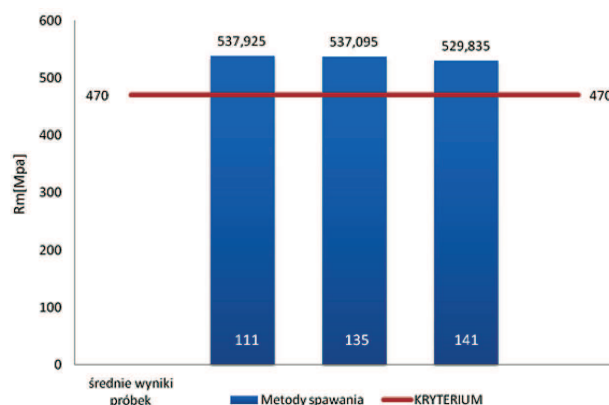
Z uwagi na warunki pracy rurociągu: wymagana szczelność, ciśnienie czynnika roboczego (pary świeżej) do 127,5 barów i temperatura do 535°C przyjęto, że spoiny powinny spełniać poziom jakości B wg PN-EN ISO 5817 [10].

#### Wyniki badań złączy próbnych i ich analiza

Wynikiem dla badań niszczących jest poziom jakości według normy PN-EN ISO 5817 [10]. Poziom jakości charakteryzuje jakość złącza spawanego w oparciu o rodzaj i wielkość niezgodności spawalniczych (skatalogowanych w normie PN-EN ISO 6520-1 [11]) i jest ustalany w oparciu o wymiar graniczny dla danej niezgodności.

Wyniki badań wizualnych, radiograficznych oraz penetracyjnych złączy dla wszystkich badanych technologii spełniały poziom jakości B wg EN ISO 5817 [10].

Badania na rozciąganie poprzeczne przeprowadzono zgodnie z PN-EN 895 [12] w temperaturze 20°C na urządzeniu ZD-40 o zakresie siły rozciągającej 8-400 kN i działce elementarnej 2,0 kN. Na podstawie próby rozciągania (siły zrywającej) wyznaczono wytrzymałość na rozciąganie i odniesiono do wymaganej minimalnej wytrzymałości zawartej w normie 470 MPa. Uzyskana wytrzymałość złącza każdej metody spawania jest przynajmniej o 12% wyższa od minimalnej wymaganej. Uzyskane wyniki odniesione do wymaganego minimalnego kryterium przedstawiono na rys. 3.



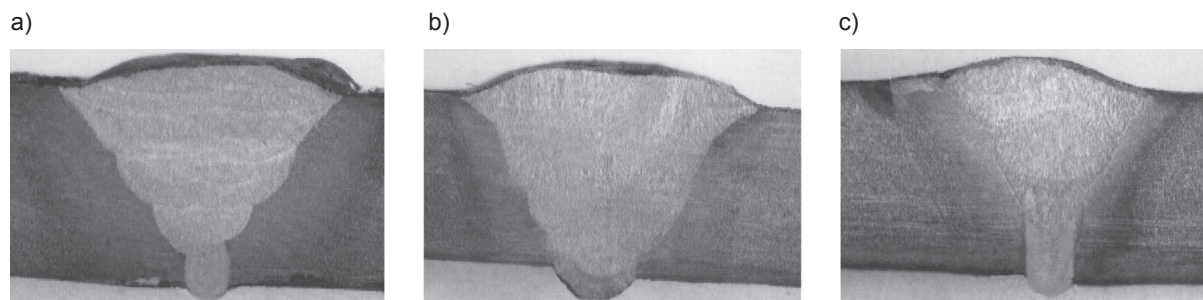
Rys. 3. Wyniki i kryterium badania na rozciąganie poprzeczne  
Fig. 3. Results and testing criteria for transverse tensile stress

Badania na zginanie poprzeczne przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 6892-1 [13] w temperaturze 20°C, podobnie jak badanie na rozciąganie na maszynie wytrzymałościowej ZD-40 o zakresie siły rozciągającej 8 kN-400 kN i działce elementarnej 2,0 kN. Zastosowano trzpień o średnicy czterech grubości blachy. Wszystkie badane złącza spełniały wymagane kryteria, tzn. kąt gięcia 180° oraz brak pęknięć i naderwań.

Badania udarności przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 9016 [14] w temperaturze -40°C na młocie Charpy'ego PSW-30 o zakresie energii 0-300 J i działce elementarnej 1,0 J. Uzyskana wytrzymałość złącza w aspekcie energii łamania każdej metody spawania była przynajmniej o 56% wyższa od minimalnej wymaganej przy wykonanym karbie V prostopadle do powierzchni złącza z osi spoiny oraz przynajmniej o 80% przy wykonanym karbie V prostopadle do powierzchni złącza z linii wtopienia.

Badania twardości przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 6507-1 [15] na urządzeniu HPO-250 z obciążeniem 98N, oznaczając twardość HV10. Dla wszystkich analizowanych technologii wyznaczano twardość: materiału rodzimego, strefy wpływu ciepła oraz spoiny, wszystkie wartości były zdecydowanie niższe od limitu wynoszącego dla zastosowanego materiału spawanego 380 HV10. Najwyższa zarejestrowana twardość (metoda 111, strefa wpływu ciepła) była o 41% mniejsza niż twardość dopuszczona w normie.

Badania makroskopowe wykonano na zglądach metalograficznych przekroju poprzecznego złączy. Po



Rys. 4. Wyniki badania makroskopowego: a) metoda 111, b) metoda 135, c) metoda 141  
 Fig. 4. Results of macroscopic examination: a) method 111, b) method 135, c) method 141

szlifowaniu zglądów, w celu ujawnienia niezgodności, struktury i budowy spoiny oraz wielkości strefy wpływu ciepła, zostały one wytrawione odczynnikiem Adlera. Wyniki badań makroskopowych (rys. 4) dla badanych metod spawania spełniały poziom jakości B wg EN ISO 5817 (brak pęknięć, przyklejeń i innych nieakceptowanych niezgodności spawalniczych) [10].

Z przedstawionych wyników badań wynika, że spełnione zostały wymagane kryteria wszystkich przeprowadzonych badań nieniszczących i niszczących złącza próbnego zawartych w normach. Każda z analizowanych technologii spawania została zakwalifikowana jako dająca pożądaną jakość złącza doczołowego montowanych rur w aspekcie poziomu jakości B wg PN-EN ISO 5817 [10].

#### Podsumowanie i wnioski

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań próbnych złączy doczołowych rur wykonanych analizowanymi technologiami stwierdzono, że każda z metod spawania zapewnia zadowalające wyniki w porównaniu do stawianych im kryteriów akceptacji. Wyniki badań nieniszczących dla wszystkich technologii potwierdziły pożądaną jakość złącza montażowego. Wyniki badań niszczących każdej z metod spełniały kryteria z pewną rezerwą, pozwalającą na pozytywną ocenę własności mechanicznych złączy.

Na tej podstawie można stwierdzić, że dla analizowanego przypadku doboru technologii spawania doczołowych złączy rur przewodowych instalacji skroplin turbozespołu upustowo-przeciwprężnego 13 UP55, mogą być stosowane wszystkie rozpatrywane technologie. W celu wyboru najkorzystniejszej metody spawania powinno się przyjąć nie tylko kryteria techniczne, ale również ekonomiczne. Określenie tych kryteriów pozwoliłoby przygotować montaż, który zapewniłby wymaganą jakość połączeń spawanych przy kryteriach ekonomicznych.

#### LITERATURA

- [1] Jędrusik A., Łunarski J. 2014. „Wybrane problemy wytrzymałości złączy spawanych laserowo ze stopu Inconel 718”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 52–55.
- [2] Kuzio T. 2007. „Kwalifikowanie technologii spawalniczych przez Instytut Spawalnictwa”. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* (2): 50–54.

- [3] Mizerski J. 2011. „Spawanie. Wiadomości podstawowe”. Warszawa: Wydawnictwo REA.
- [4] Norma PN-CR ISO 15608:2002. Spawanie – Wytyczne systemu podziału materiałów metalowych na grupy.
- [5] Norma PN-EN ISO 15614-1:2008. Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu.
- [5] Norma PN-EN ISO 5817:2009. Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [7] PN-EN 895:1997 Badania niszczące spawanych złączy metali – Próba rozciągania próbek poprzecznych.
- [8] PN-EN ISO 6507-1:2007. Metale – Pomiar twardości sposobem Vickersa – Część 1: Metoda badań.
- [9] PN-EN ISO 6520-1:2009. Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach – Część 1: Spawanie.
- [10] PN-EN ISO 6892-1:2010. Metale – Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- [11] PN-EN ISO 9016:2011. Badania niszczące złączy spawanych metali – Badanie udużności – Usytuowanie próbek, kierunek karbu i badanie.
- [12] Saperski M. 2010. „Procedura kwalifikowania technologii spawania konstrukcji offshore wg przepisów DNV”. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* (6): 57–62.
- [13] Słania J. 2011. „Istota planu spawania”. *Przegląd Spawalnictwa* (2): 3–9.
- [14] Tupaj S., J. Łunarski. 2015. „Aspekty jakościowe spawania obrotowych, cienkościennych korpusów”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (1):17–21.
- [15] Zasady kwalifikowania technologii spawania Wytyczne 74/P, PRS, 2007.

dr hab. inż., prof. nadzw. UTP Maciej Matuszewski – Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Technik Wytwarzania, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: matus@utp.edu.pl

mgr inż. Mirosława Wiśniewska, studentka studiów doktoranckich – Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, e-mail: wisniewska-mirosława@wp.pl

# STANOWISKA SZKOLENIOWE JAKO ELEMENT WSPÓŁCZESNEGO PRZYGOTOWANIA KWALIFIKOWANEGO PERSONELU AUTOMATYKÓW LINII MONTAŻOWYCH

## *Training stands as the elements of the production lines automatic staff contemporary vocational process*

Mirosław CHŁOSTA, Janusz KOBIAŁKA

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono opisy wybranych stanowisk szkoleniowych typu pulpitowego, przeznaczonych do wspomoczenia procesu kształcenia przyszłej kwalifikowanej kadry technicznej automatyków przemysłowych linii montażowych. Stanowiska te mogą zostać wykorzystane jako pomoce dydaktyczne w szkołach technicznych średniego szczebla i wyższych uczelniach.

**Słowa kluczowe:** stanowiska modułowe dydaktyczne, sterowniki PLC, panele operatorskie HMI, systemy sieciowe, zagadnienia sterowania procesami technologicznymi, automatyka przemysłowa

**Abstract:** IMBiGS made educational stands were described in the paper. Their elements and functionality were presented. This stands were dedicated to developing skillings of the technical personel. They can be used in the all levels schools.

**Key words:** educational stands, PLC controllers, HMI operator panels, network systems, manufacturing systems control, industrial automation

### Wstęp

Linia produkcyjna bez wykwalifikowanego, dobrze wyszkolonego personelu technicznego? W dzisiejszym zautomatyzowanym zakładzie montażowym to rzecz niemożliwa. Jednym z niezastąpionych elementów prawidłowo działającej i z jak najkrótszymi czasowo przestojami linii technologicznej montażowej są automatycy. To między innymi od ich umiejętności, doświadczenia i wiedzy zależy bezawaryjna produkcja.

Współczesny system edukacji i szkolenia pozwala nie tylko na zdobywanie teoretycznej wiedzy, ale i praktycznych umiejętności. Odbyna się to dzięki różnego rodzaju stanowiskom szkoleniowym w pracowniach

automatyki przemysłowej, w jakie wyposażone są techniczne szkoły zawodowe, średnie oraz uczelnie wyższe. Do tych właśnie placówek skierowana jest oferta pulpitowych stanowisk dydaktycznych do nauki.

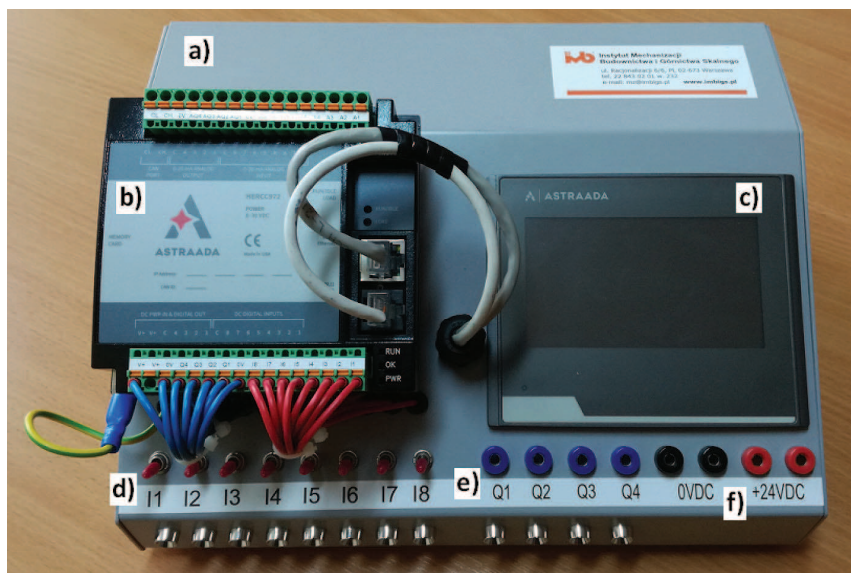
### Prezentacja wybranych stanowisk dydaktycznych

#### Części wchodzące w skład stanowiska pulpitowego, współpraca sterownika PLC z panelem operatorskim HMI

Stanowisko pulpitowe, współpraca sterownika PLC z panelem operatorskim (rys. 1), zasilane jest z sieci elektrycznej 1-fazowej 230VAC 50Hz i zostało wyposażone w następujące podzespoły:



Rys. 1. Wizualizacja stanowiska wyposażonego w sterownik PLC oraz panel operatorski HMI  
Fig.1. Visualization of the desktop with PLC controller and HMI operator's panel



Rys. 2. Stanowisko wyposażone w sterownik PLC oraz panel operatorski HMI po montażu: a) obudowa stanowiska, b) sterownik PLC typ RCC972, c) panel HMI typ AS43TFT0425, d) komplet przełączników z diodami LED od I1 do I18 podłączonymi do wejść sterownika PLC, e) komplet gniazd z diodami LED od Q1 do Q4 podłączonymi do wyjść sterownika PLC, f) komplet gniazd 0VDC i +24VDC podłączonych do wyjścia zasilacza =24VDC.

Fig. 2. Desktop with PLC controller and HMI operator's panel: a) desktop case, b) PLC controller, c) HMI panel, d) switches with LED, No I1 to I18, connected with PLC inputs, e) sockets with LEDs, marked as Q1 to Q4, connectet with PLC outputs, f) socket 0VDC and 24VDC connected with 24VDC power supply outputs

- sterownik PLC typ RCC972 i panel HMI typ AS43TFT0425,
- 8 kompletów przełączników z diodami LED podłączonymi do wejść w celu symulacji podawania sygnałów dyskretnych,
- 4 komplety gniazd z diodami LED podłączonymi do wyjść w celu wyprowadzenia sygnału dyskretnego na zewnątrz urządzenia,
- komplet gniazd oznaczonych jako 0VDC oraz +24VDC i podłączonych do wejścia zasilacza =24VDC.

#### **Wartość dydaktyczna i możliwości wykorzystania stanowiska pulpituowego współpraca sterownika PLC z panelem operatorskim HMI do celów dydaktycznych**

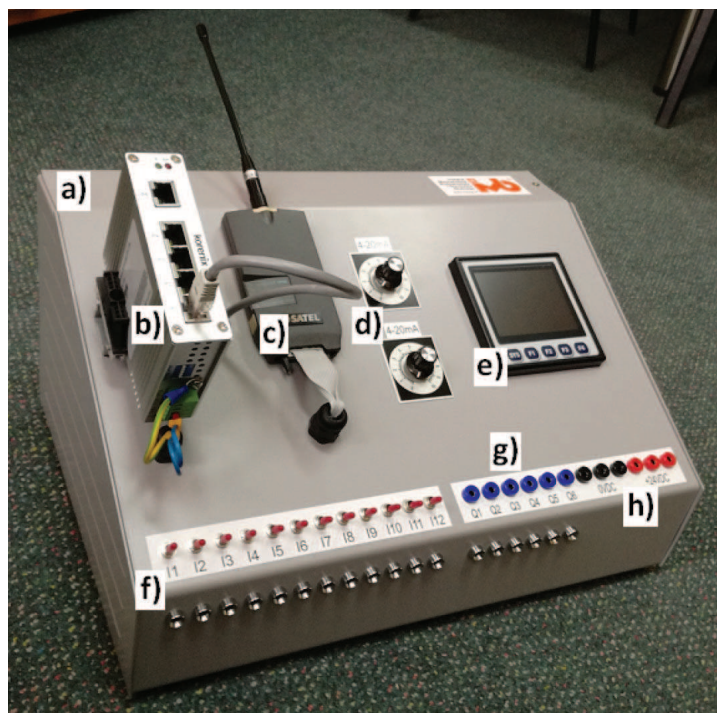
Na stanowisku (rys. 2) można zrealizować w ramach ćwiczeń następujące zagadnienia:

- poznanie języków programowania sterowników PLC i paneli HMI,
- możliwość zapoznania się z przemysłowymi protokołami komunikacyjnymi w sieci CAN,
- poznanie metod konfiguracji urządzeń działających w sieciach CAN i Ethernet,
- wykorzystanie sygnałów analogowych i dyskretnych w układach sterowania,
- wykorzystanie pracy sterownika z panelem operatorskim w sieci szeregowej RS232,
- stworzenie na panelu operatorskim wizualizację sterownika i panelu,
- stworzenie na powyższej wizualizacji odzwierciedlenia stanu położenia przełącznika załącz/wyłącz,

- stworzenie na powyższej wizualizacji odzwierciedlenia stanu wysterowania wyjść sterownika załączone/wyłączone,
- stworzenie aplikacji, w której lampki wyjść sterownika będą migać w następujący sposób: Q1 z częstotliwością 1Hz, Q2 z częstotliwością 2Hz, Q3 z częstotliwością 3Hz, Q4 z częstotliwością 4Hz,
- poznanie zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy układów automatyki,
- zapoznanie z algorytmami sterowania procesów wolno i szybkozmiennych.

Oprogramowywanie sterownika PLC może być realizowane w środowisku Cscape. Jest to środowisko narzędziowe dla sterowników PLC, zintegrowanych z panelem HMI oraz układów wejść-wyjść oddalonych Horner APG. Umożliwia konfigurację sprzętową systemu, budowanie złożonych algorytmów wg IEC61131 oraz tworzenie aplikacji ekranów operatorskich. Tworzenie programu sterującego może być realizowane w 5 różnych językach programowania:

- LD – graficzny: schematy drabinkowe, programy mające dużo analogii do schematów elektrycznych,
- FBD – graficzny: schematy blokowe, programy są tworzone w postaci bloków funkcyjnych, zadających zależność między wielkościami wejściami a wyjściami,
- IL – tekstowy: lista instrukcji, język niskiego poziomu zbliżony do assemblera,
- ST – tekstowy: tekst strukturalny, język wysokiego poziomu na bazie języka Pascal,



Rys. 3. Stanowisko – współpraca sterownika PLC z radiomodemem po montażu: a) obudowa stanowiska, b) switch Ethernetowy typ JET-NET-2005, c) radiomodem typ SATELLINE-1870E, d) dwa zadajniki potencjometryczne prądowe 4-20mA typ CP-02, e) sterownik PLC typ XL4e, f) komplet przełączników z diodami LED od I1 do I12 podłączonymi do wejść sterownika PLC, g) komplet gniazd z diodami LED od Q1 do Q6 podłączonymi do wyjść sterownika PLC, h) komplet gniazd 0VDC i +24VDC podłączonych do wyjścia zasilacza =24VDC

Fig. 3. Desktop with PLC and UHF modem: a) desktop case, b) Ethernet switch, c) UHF modem, d) two potentiometer referencing units, e) PLC unit, f) switches with LEDs, marked as I1 to I12, connected with PLC inputs, g) sockets with LEDs, marked as Q1 to Q6, connected with PLC outputs, h) sockets 0VDC and 24VDC, connected with 24VDC power supply

– SFC – grafów: graf funkcji sekwencyjnych SFC, graf przepływowy FC, program jest podobny do diagramów stanów, bazuje na sieci Petriego, opisuje sekwencje i równoległe algorytmy.

Stanowisko dodatkowo wymaga wyposażenia w kabel sieciowy Ethernet RJ45, kabel USB, przewody typu LGY 1mm<sup>2</sup> wyposażone z obu końców we wtyczki laboratoryjne jednobolcowe, tzw. bananowe, łącznik sieciowy Ethernet RJ45, tzw. beczkę, 8p8c, gniazdo-gniazdo. Tak skompletowane stanowisko może współpracować z komputerem klasy PC oraz innymi stanowiskami pulpituowymi.

#### Części wchodzące w skład stanowiska pulpituowego, współpraca sterownika PLC z radiomodemem

Stanowisko pulpituowe (rys. 3) zasilane jest z sieci elektrycznej 1-fazowej 230VAC 50Hz i składa się z:

- sterownika PLC typ XL4e,
- radiomodemu typ SATELLINE-1870E,
- switcha Ethernetowego typ JET-NET-2005
- dwóch zadajników potencjometrycznych prądowych 4–20mA typ CP-02,
- 12 kompletów przełączników z diodami LED podłączonymi do wejść w celu symulacji podawania sygnałów dyskretnych,

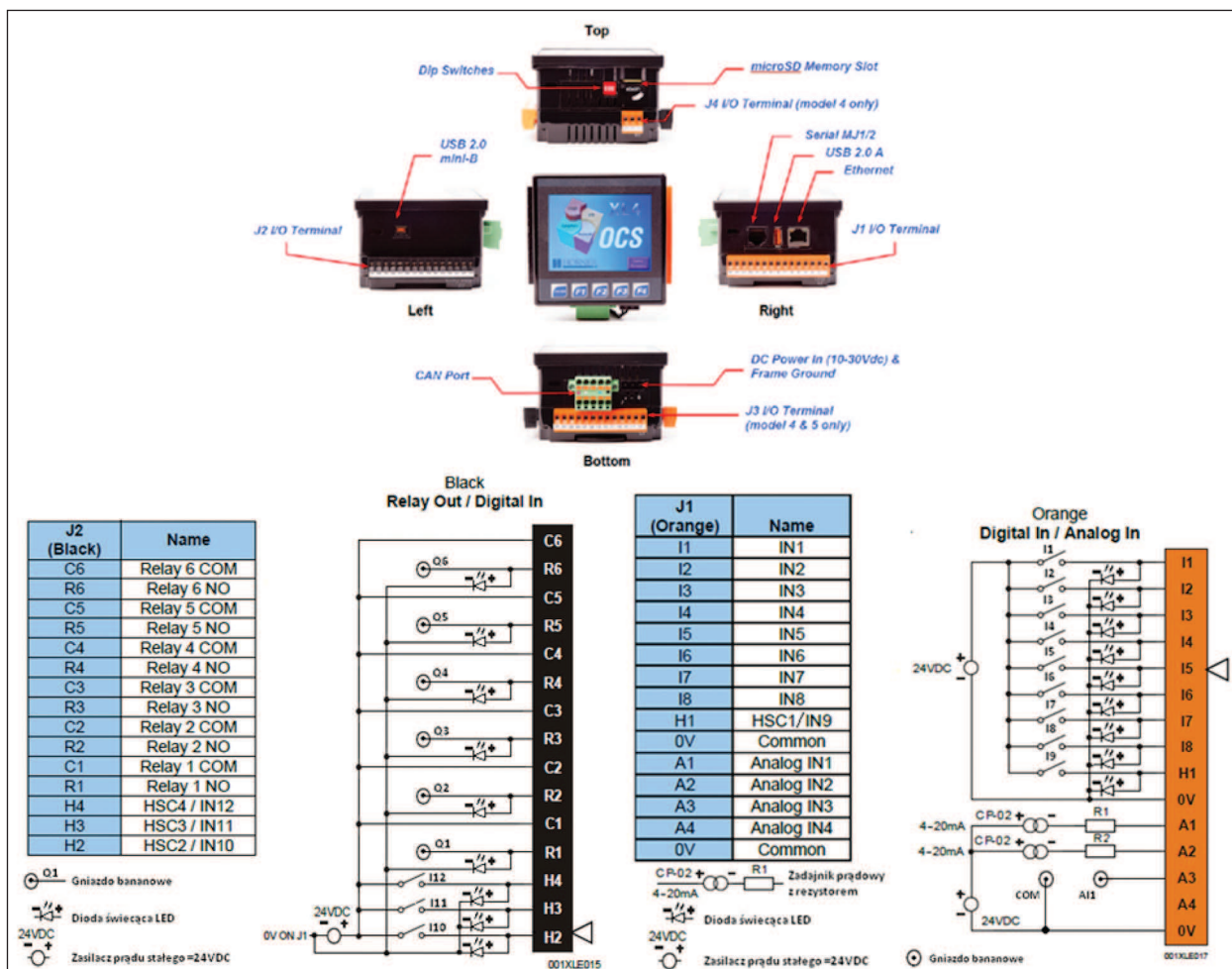
– 6 kompletów gniazd z diodami LED podłączonymi do wyjść w celu wyprowadzenia sygnału dyskretnego na zewnątrz,

– kompletu gniazd 0VDC i +24VDC podłączonych do wyjścia zasilacza =24VDC.

#### Wartość dydaktyczna i możliwości wykorzystania stanowiska pulpituowego – współpraca sterownika PLC z radiomodemem

Na powyższym stanowisku można zrealizować w ramach ćwiczeń następujące zagadnienia:

- poznanie języków programowania sterowników PLC wyposażonych w ciekłokrystaliczne ekrany,
- możliwość zapoznania się z przemysłowymi protokołami komunikacyjnymi sieciowej, w tym i bezprzewodowej,
- poznanie metod konfiguracji urządzeń działających w sieciach,
- wykorzystanie sygnałów analogowych i dyskretnych w układach sterowania,
- poznanie zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy układów automatyki,
- zapoznanie z algorytmami sterowania procesów wolno i szybkozmiennych, itp.
- możliwość zapoznania się z przemysłowymi protokołami komunikacyjnymi, służącymi do połączeń



Rys. 4. Schematy podłączenia elementów do sterownika PLC typ XL4e. (wg MAN0963-08EN specifications/Installations Horner)  
 Fig. 4. PLC connection diagram (ref. MAN0963-08EN specifications/Installations Horner)

rozproszonych modułów i urządzeń z wykorzystaniem bezprzewodowej akwizycji danych (w przypadku posiadania np. dwóch takich stanowisk),

- poznanie metod konfiguracji urządzeń działających w sieciach: Profibus DP, CAN, Profinet, DeviceNet, EGD, HART, itp.,
- możliwość zapoznania się ze standardem przesyłania danych z wykorzystaniem sieci szeregowych,
- zapoznanie się z konfiguracją urządzeń kontrolno-pomiarowych,
- identyfikacja obiektu regulacji,
- poznanie różnych rodzajów czujników wykorzystywanych w liniach technologicznych,
- zagadnienia kalibracji oraz programowania czujników,
- wdrożenie w tworzenie wizualizacji przedstawiającej dane procesowe zadanej linii technologicznej, itp.

Stanowisko, jak i poprzednie, wymaga wyposażenia dodatkowego. Oprogramowywanie sterownika PLC może być realizowane również w środowisku Cscape w jednym z wymienionych wcześniej języków programowania.

### Części wchodzące w skład stanowiska pulpituowego z komputerem przemysłowym

Stanowisko pulpituowe (rys. 5) zasilane jest z sieci elektrycznej 1-fazowej 230VAC 50Hz. Zostało wyposażone w komputer przemysłowy klasy PC, mający zamontowane na tylnej ścianie obudowy pulpituowej 2x2 gniazda USB, 2 gniazda sieciowe Ethernet oraz 1 port RS232.

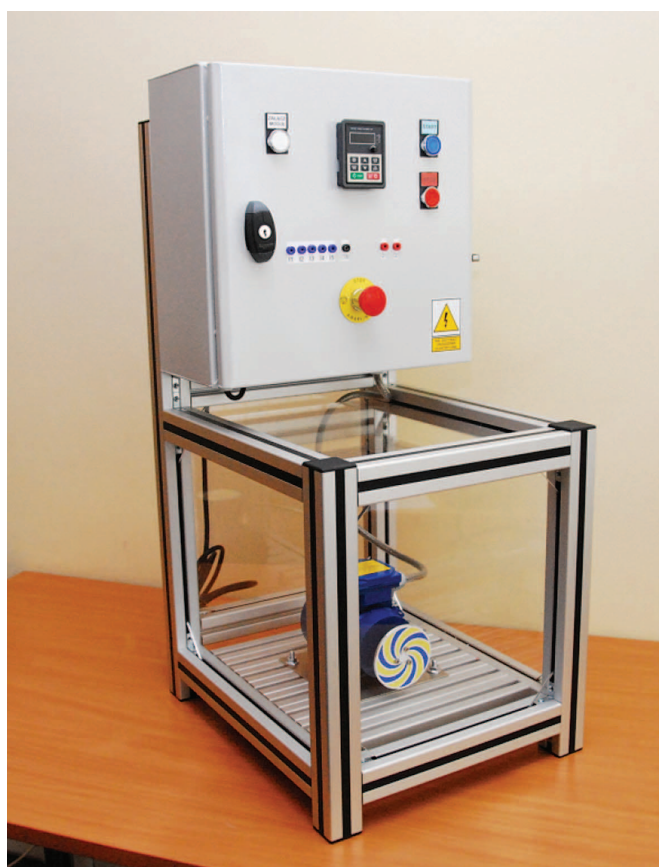
### Wartość dydaktyczna i możliwości wykorzystania stanowiska pulpituowego z komputerem przemysłowym

Stanowisko jest przeznaczone głównie do zainstalowania w jego komputerze oprogramowań środowiskowych do tworzenia aplikacji instalowanych w sterownikach PLC oraz panelach operatorskich. Współpracuje ono z innymi stanowiskami wykorzystywanymi w laboratorium automatyki. Łączy się z nimi z pomocą kabla sieci Ethernet lub kabla USB. Można na nim zainstalować platformę programową Escape oraz/lub Proficy Machine Edition. Służy także do ustawiania parametrów pracy innych urządzeń oraz elementów automatyki przemysłowej znajdujących się na wyposażeniu stanowisk szkoleniowych.



Rys. 5. Stanowisko pulpitowe z komputerem przemysłowym: a) obudowa stanowiska, b) komputer przemysłowy klasy PC typ AS47C15, c) dwa porty USB, d) dwa podwójne porty sieciowe Ethernet, e) jeden port RS232, f) gniazdo sieciowe 230VAC 50Hz z wyłącznikiem i bezpiecznikiem aparaturowym

Fig. 5. Desktop with industrial computer: a) desktop case, b) industrial PC, c) two USB ports, d) two double Ethernet ports, e) RS232 port, f) power supply socket, 230 VAC, 50HZ, with on/off switch and fuse case



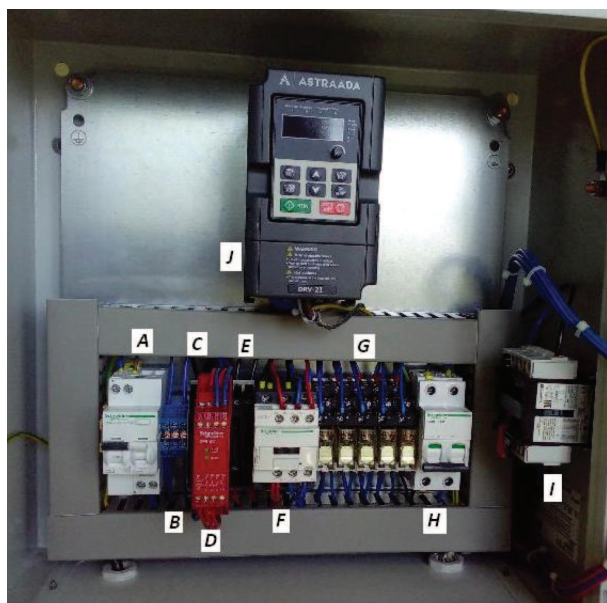
Rys. 6. Stanowisko z falownikiem  
Fig. 6. Stand with frequency converter

#### Części wchodzące w skład stanowiska z falownikiem

Stanowisko z falownikiem (rys. 6) zasilane jest z sieci elektrycznej 1-fazowej 230VAC 50 Hz. Jego konstrukcja została wykonana z profili aluminiowych, gdzie w górnej jej części zamocowano szafę sterującą.

Poniżej szafy, za osłonami z poliwęglanu, umieszczony został silnik z tarczką symulującą pracę piły tarczowej.

Rozmieszczenie podzespołów i elementów sterujących w szafie oraz schematy połączeń zostały przedstawione poniżej (rys. 7-9).

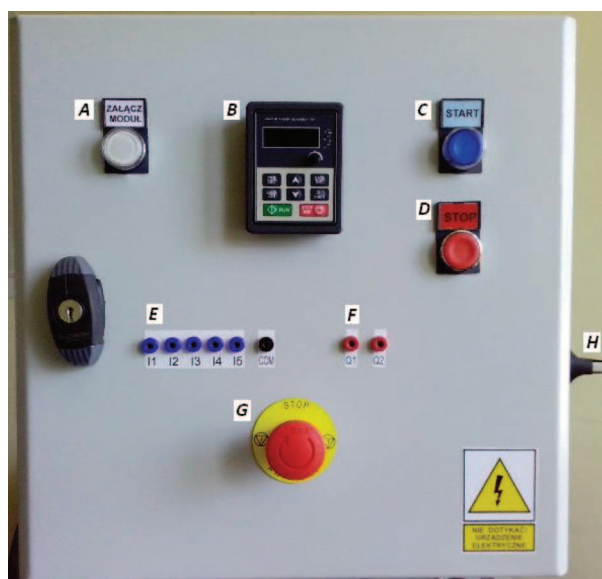


Rys. 7. Płyta montażowa szafy sterującej:

- A. Wyłączniki nadmiarowo-prądowe z członem różnicowoprądowym iDPN Vigi
- B. Złącze śrubowe przewodu neutralnego N
- C. Złącze śrubowe bezpiecznikowe z bezpiecznikiem rurkowym szklanym 63mA zabezpieczającym obwód zasilania modułu bezpieczeństwa Awaryjny Stop – 230VAC
- D. Moduł bezpieczeństwa Awaryjny Stop – 230VAC
- E. Złącza śrubowe bezpiecznikowe z bezpiecznikiem rurkowym szklanym 63 mA zabezpieczającym obwody: pierwszy – zasilania cewki stycznika oraz drugi – obwód lampki sygnalizacyjnej białej przycisku sygnalizacyjnego „ZAŁĄCZ MODUŁ”
- F. Stycznik mocy
- G. Przekaźnik 1-biegunowy (5 sztuk)
- H. Zabezpieczenie nadmiarowo-prądowe iC60N — wyłącznik nadprądowy
- I. Wyłącznik główny
- J. Przetwornik częstotliwości, wbudowany panel sterowania LED i port RS-485

Fig. 7. Controll unit mounting plate

- A. RCCB with iDPN Vigi element
- B. Neutral lead connector
- C. Fuse connector
- D. Safety elements with emergency stop
- E. Fuse connector
- F. Power contractor
- G. Unipolar switch
- H. Overcurrent protection iC60N type – overcurrent switch
- I. Main switch on/off
- J. Frequency converter, with LED panel and RS-485 port



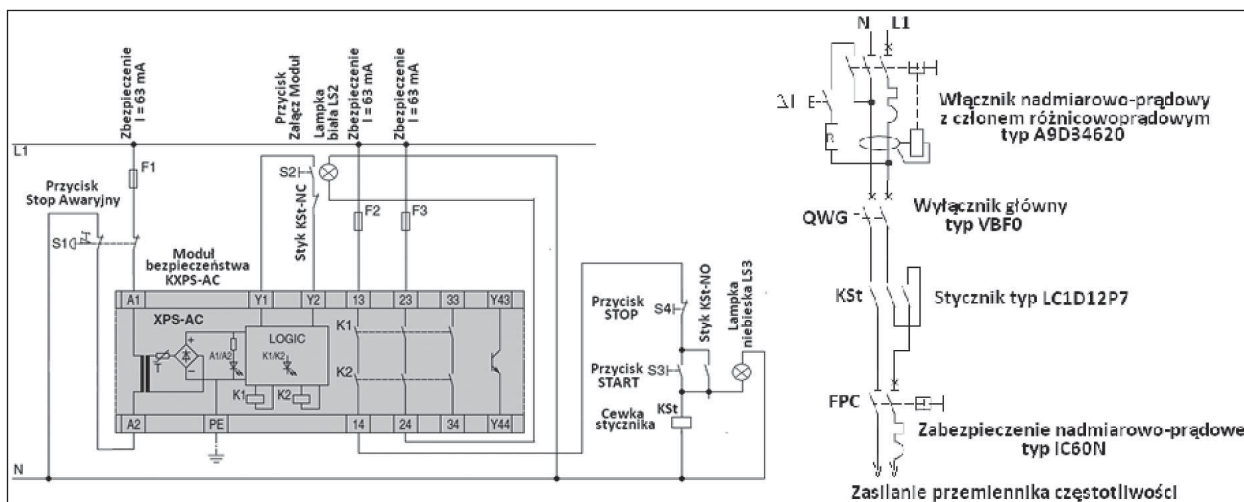
Rys. 8. Szafa zasilająca:

- A. Przycisk sygnalizacyjny „ZAŁĄCZ MODUŁ”
- B. Wbudowany panel sterowania LED z portem RS-485 przetwornika częstotliwości
- C. Przycisk sygnalizacyjny „START”,
- D. Przycisk sygnalizacyjny „STOP”,
- E. Gniazda bananowe niebieskie przeznaczone do zadawania sygnału sterowania przetwornikiem częstotliwości, sygnały oznaczone od I1 do I5 – +24VDC, gniazdo czarne oznaczone jako COM – sygnał 0VDC,
- F. Gniazda bananowe czerwone oznaczone jako Q1 i Q2 – wyjście z przetwornika częstotliwości, styk przekaźnika
- G. Przycisk sterujący „Stop Awaryjny”
- H. Pokrętło wyłącznika głównego

Fig. 8. Controll unit:

- A. On/off push button
- B. Frequency converter's LED control panel with RS 485 port
- C. START push button
- D. STOP push button
- E. blue sockets dedicated for frequency converter control – marked as I1 to I5, black socket marked as COM – for 0V DC signal
- F. Red sockets, marked as Q1 and Q2 – frequency converter output
- G. Emergency STOP push button
- H. Main on/off knob





Rys. 9. Schemat ideowy układu sterowania szafy sterującej stanowiska wyposażonego w silnik trójfazowy z falownikiem  
 Fig. 9. The stand's control system schematic diagram

### Wartość dydaktyczna i możliwości wykorzystania stanowiska z falownikiem

Dzięki stanowisku z falownikiem można np.:

- zapoznać się z tematyką związanych z bezpieczeństwem pracy układów automatyki wyposażonych w elementy wirujące,
- zdobyć wiedzę na temat metod projektowania stanowisk o podwyższonym poziomie bezpieczeństwa,
- uczyć się i opanować w praktyce sterowanie silnikiem elektrycznym za pomocą falownika (przemienika częstotliwości), jest tzw. sterowanie wektorowe oraz skalarnie U/f.

### Podsumowanie i wnioski

Wyżej zaprezentowane stanowiska szkoleniowe mogą i powinny być jednym z elementów współczesnego przygotowania kwalifikowanego personelu automatyków linii montażowych. Dają one szanse przyszłemu personelowi technicznemu na praktyczne zapoznanie się z zagadnieniami automatyki przemysłowej. Są zatem niezbędnym elementem współczesnego systemu dydaktyczno-szkoleniowego każdego przyszłego inżyniera czy technika. Przyszłość dydaktyki na

wyższych uczelniach i szkołach średnich technicznych to właśnie laboratoria automatyki, gdzie teoria łączy się z praktyką.

### LITERATURA

- [1] Czarnul J., J. Pienkowski. 2005. „Określanie właściwej strategii dla układów automatyki i sterowania”. *Utrzymanie Ruchu* (10).
- [2] Dokumentacja techniczno-ruchowa i serwisowa użytych do budowy stanowisk podzespołów oraz elementów.
- [3] Łunarski J. 2012. „Projektowanie procesów technicznych, produkcyjnych i gospodarczych”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [4] Łunarski J., W. Szabajkovicz. 1993. „Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn”. WNT.

dr inż. Mirosław Chłosta – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatykacji i Technologii Montażu, ul. Mrówcza 243, 04-697 Warszawa, e-mail: m.chlosta@imbigs.pl

mgr inż. Janusz Kobiałka – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: j.kobiałka@imbigs.pl

# RACJONALIZACJA KONSTRUKCJI I TECHNOLOGII WYTWARZANIA PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

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

Stanisław KOZIÓŁ, Tomasz SAMBORSKI, Andrzej ZBROWSKI

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

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

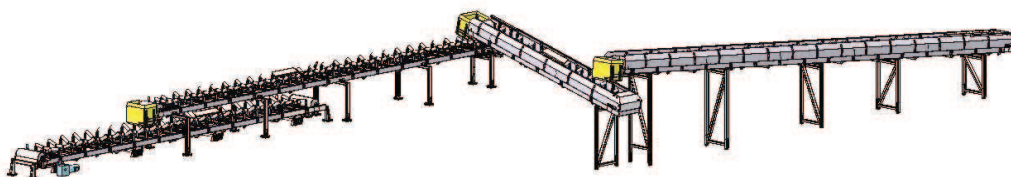
**Abstract:** In many factories, belt conveyors for the transport of bulk materials are an important component of the industrial logistics infrastructure. The structure of production systems often forces mutual spatial merging of transport, technological, and ancillary surface installations, which, in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

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

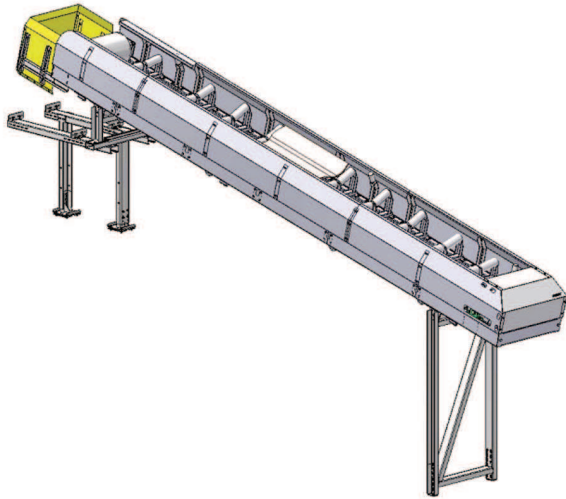
### Wprowadzenie

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

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



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

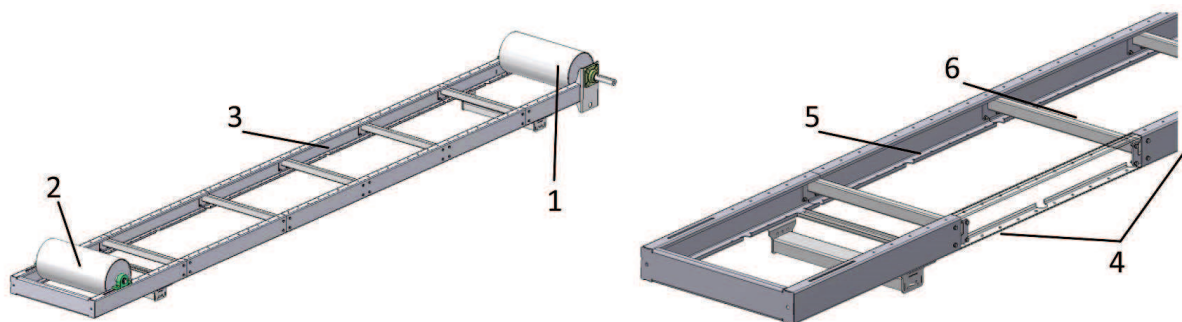


Rys. 2. Sposób podparcia przenośnika pozwalający na umieszczenie pod nim drogi transportowej lub innych urządzeń technologicznych  
Fig. 2. A conveyor support system for a transporting path or other technological devices

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

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

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



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

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

#### Założenia i metoda obliczeń wytrzymałościowych

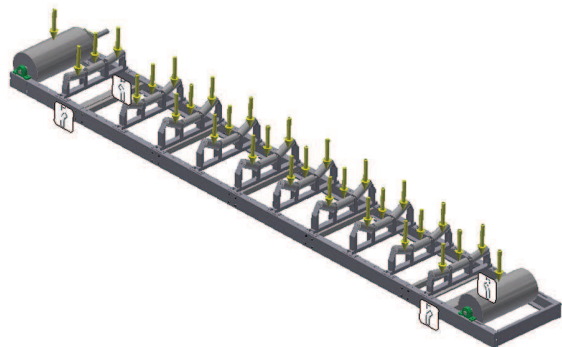
Przyjęto założenie, że wykorzystanie w konstrukcji nośnej przenośnika modułów o długości do 6 m, dwukrotnie większej od dotychczas stosowanej, poprawi jej sztywność i wytrzymałość oraz umożliwi rezygnację z części podpór w przypadkach, kiedy stanowią one przeszkodę w zagospodarowaniu przestrzeni, w której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

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

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

Po dokonaniu obliczenia, obciążenie liniowe przenośnika wynosi  $1650 \text{ N/m}$ .

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



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

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

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

Do obliczeń porównawczych przyjęto trzy następujące warianty modelu wirtualnego:

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

- **Kształtowe połączenie śrubowe** – segmenty ramy nośnej przenośnika połączone są ze sobą śrubami (rys. 3), które nie wywierają wystarczającego nacisku na łączone elementy, a moment zginający połączenie jest przenoszony kształtowo przez śruby znajdujące się w otworach profili nośnych i blach czołowych łącznika. W rzeczywistości taka sytuacja występuje w przenośniku, zmontowanym z zastosowaniem niewystarczającego momentu siły dokręcenia śrub łączących moduły lub w eksploatowanym przenośniku, w którym na skutek drgań lub korozji nastąpiło poluzowanie połączenia śrubowego [7].
- **Rama monolityczna** – konstrukcja nośna przenośnika składa się z ramy, w której wzdlużne profile wytrzymałościowe nie są łączone, ale wykonane z jednego wykoju z blachy. Sytuacja taka jest możliwa w przypadku zastosowania profili ceowych o zwiększonej długości, np. wytwarzanych z zastosowaniem zmodernizowanego parku maszynowego producenta.

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

#### Wyniki obliczeń wytrzymałościowych

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

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

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

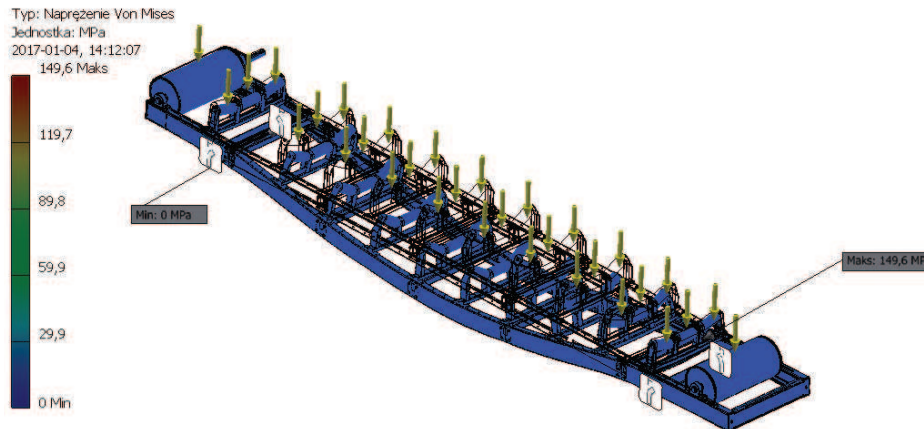
Materiał	Gęstość [kg/dm <sup>3</sup> ]	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Moduł Younga [GPa]	Wsp. Poissona	Moduł sprężystości [GPa]
Stal miękka (rama nośna)	7,85	207	345	220	0,275	86,27
Żeliwo sferoidalne (oprawy łożyskowe)	7,15	811	997	168	0,290	65,12
Stal nierdzewna (łączniki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

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

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

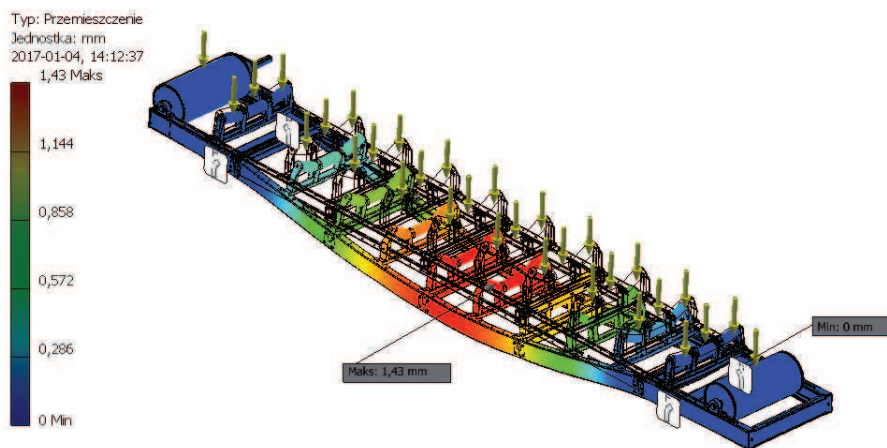
Na rys. 5–7 przedstawiono przykładowy model przenośnika z mapami rozkładu naprężeń, odkształceń

i wartości współczynnika bezpieczeństwa dla wersji z tarciovymi połączeniami śrubowymi.



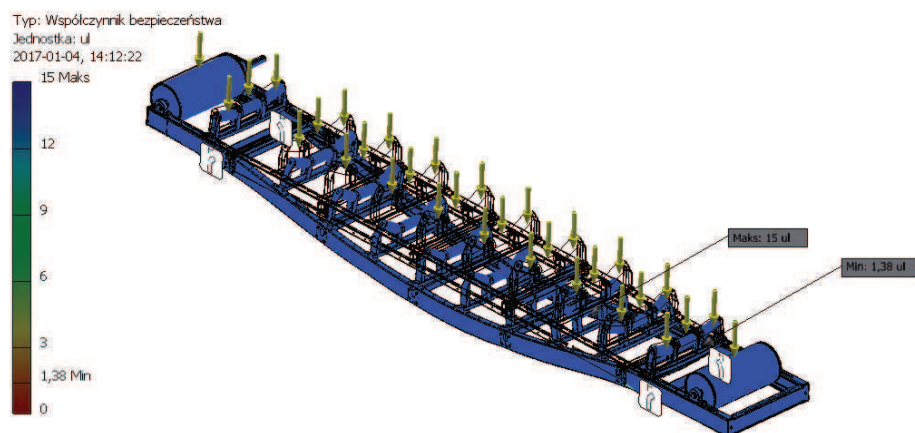
Rys. 5. Model wirtualny konstrukcji nośnej przenośnika w wersji z tarciovymi połączeniami śrubowymi z mapą naprężeń zredukowanych wg hipotezy Misesa

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



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

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



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

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

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

## Podsumowanie i wnioski

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

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

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

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

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

## LITERATURA

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

*Praca naukowa sfinansowana w ramach umowy z firmą Dalmet*

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

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

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

# URZĄDZENIA WYMIANY I MOCOWANIA NARZĘDZI W CENTRUM FREZARSKIM BAK

## Equipment for the replacement and fixing of tools in the milling center BAK

Tadeusz KOWALSKI, Leszek WALKIEWICZ

**Streszczenie:** W zmodyfikowanym centrum frezarskim BAK zaproponowano automatyczną wymianę narzędzi. W celu zapewnienia stabilności pracy magazynu narzędzi dokonano zmian konstrukcyjnych mechanizmu wymiany narzędzi oraz sposobu ich mocowania. Przedstawiono rysunki rozwiązań konstrukcyjnych. W dalszej części przedstawiono zagadnienia badania dokładności obrabiarek CNC.

**Słowa kluczowe:** automatyzacja, magazyn narzędzi, błędy obrabiarek

**Abstract:** In the modified milling center BAK proposed automatic tool change. In order to ensure the stability of the work of the tool store, structural modifications of the tool exchange mechanism and the method of fixing them were made. Drawings of structural solutions are presented. The issues of precision testing of CNC machine tools are presented below.

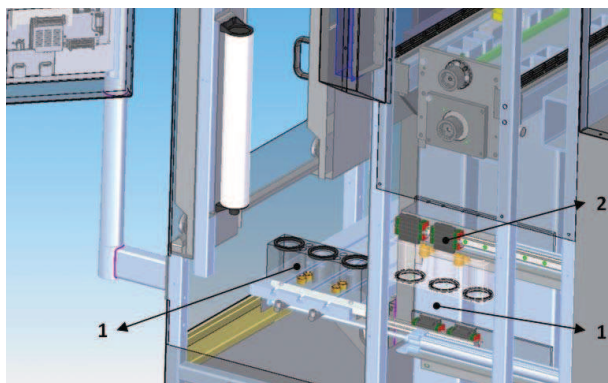
**Key words:** automation, tool changer, machine tools error

### Modyfikacja centrum frezarskiego BAK

Uwzględniając potrzeby rynku krajowego w zakresie małych frezarek o przesuwach roboczych w osiach X i Y ok. 250 mm jako bazę konstrukcyjną przyjęto centrum frezarskie BAK [2] i zaproponowano modyfikację polegającą na wprowadzeniu automatycznej wymiany narzędzi. Wynikła zatem konieczność przekonstruowania modułu wymiany narzędzia wraz ze sposobem mocowania narzędzi. Było to spowodowane niestabilnością dotychczasowej konstrukcji magazynu narzędzi, szczególnie podczas wymiany narzędzi. Istniało zagrożenie poważnego uszkodzenia mechanizmu wymiany.

### Opis urządzeń mocowania i wymiany narzędzi

Umieszczenie narzędzi w magazynie odbywa się na bazie elementów standardowych, ogólnodostępnych



Rys. 1. Widok mocowania wraz z osłonami: 1 – magazyn narzędzi, 2 – wózek (na prowadnicy)

Fig. 1. View of clamping with the machine guard: 1 – tool changer, 2 – block (on the crossrail)

typu wózek oraz szyna prowadząca wraz z zaprojektowanymi elementami mocowania. Typowe położenia magazynu narzędzi wraz z odpowiadającym temu położeniem stołu oraz wózków przedstawiono na rys. 1 i 2.

We wrzecionie obrabiarki BAK zastosowano stożki niezakleszczające się z uwzględnieniem stożka Morse'a. Nominalną średnicę stożka wyznaczono z wzoru [4]:

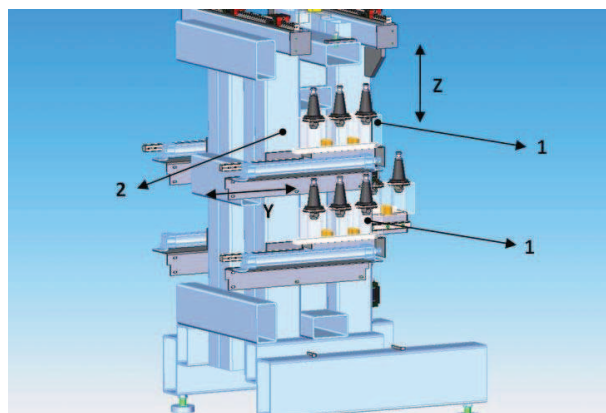
$$d \geq \frac{2 \cdot M_{s \max} \cdot \sin \alpha}{\mu_o \cdot P_{x \min}}$$

gdzie:

$M_{s \max}$  – moment skręcający,

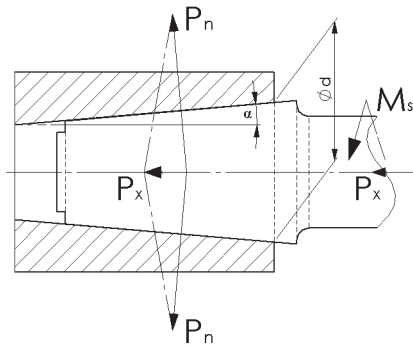
$P_x$  – siła poosiowa,

$\alpha$  – półkął stożka.



Rys. 2. Widok stojaka (bez osłon) z system mocowania i wymiany narzędzi: 1 – magazyn narzędzi, 2 – stojak spawany

Fig. 2. View only column (without the machine guard) with the system of clamping and changing of tools: 1 – tool changer, 2 – welded column



Rys. 3. Gniazdo stożkowe  
Fig. 3. Coned seat

Dzięki temu rozwiązaniu otrzymano połączenie o następujących cechach:

- znacząca sztywność statyczna i dynamiczna,
- dokładne pozycjonowanie promieniowe,
- powtarzalność pozycjonowania i odpowiednia dokładność,
- krótki czas wymiany narzędzia,
- duża niezawodność.

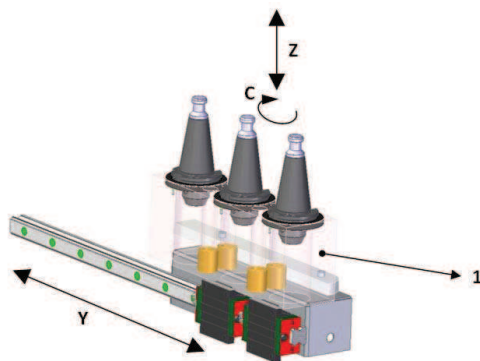
#### Sposoby konfiguracji urządzenia magazynującego narzędzia z jednostką podstawową i warunki współpracy

Połączenie magazynu narzędzi wraz z odpowiadającym temu położeniem stołu oraz wózków przedstawiono na rys. 4-6 [4].

Oprócz spełnienia warunków funkcjonalnych – czyli uzyskaniażądanego ruchu, przydatność elementów do wypełnienia wyznaczonych im zadań – powinny być spełnione następujące warunki:

- wytrzymałość na działanie obciążeń statycznych i dynamicznych (sił i momentów),
- odporność na zużycie,
- sztywność,
- odporność na drgania,
- zabezpieczenie przed nadmiernym wzrostem temperatury na skutek rozgrzewania.

Doświadczenie pokazuje, że podział obciążeń na statyczne i dynamiczne jest umowny i ma na celu podkreślenie



Rys. 4. Widok zamocowania magazynu: 1 – magazyn narzędzi  
Fig. 4. View of fastening tool changer: 1 – tool changer

zachowania się obciążeń w czasie oraz skutków ich działania. Do obciążeń statycznych zaliczamy siły i momenty niezmiennie lub prawie niezmiennie w czasie tj. siły skrawania przy obróbce warstwy o niezmiennej grubości, ciężary elementów i obrabianych części itp. Szczególnie istotne w opisywanym przykładzie obciążenia dynamiczne występują przy wszelkich zmianach prędkości, a ściślej zmianach pędu, czyli popędzie. Ze względu na bardzo dynamiczne zmiany położenia zespołów w omawianej konstrukcji, wymagane było przeprowadzenie odpowiednich obliczeń wytrzymałościowych [4]. Zaliczamy do nich:

- Równania równowagi – podstawa do obliczenia obciążeń elementów konstrukcyjnych, zawsze poprzedzone analizą stanu równowagi rozpatrywanego elementu poddanego działaniu sił czynnych (statycznych i dynamicznych) oraz reakcji więzów (sił biernych). Siły i momenty wywołane przyspieszeniami wyznaczono wg wzorów:

$$\text{– dla ruchu postępowego: } P_b = -m_z \cdot a = -m_z \cdot \frac{d^2 s}{dt^2}$$

$$\text{– dla ruchu obrotowego: } M_b = -\Theta_z \cdot \varepsilon = -\Theta_z \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$$

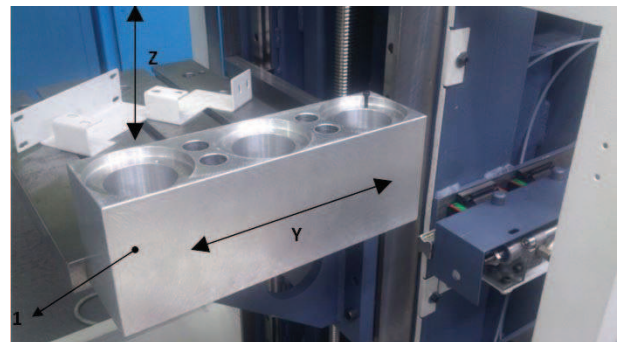
gdzie:  $m_z$  – masa zredukowanego układu napędzanego,  $\Theta_z$  – zredukowany moment bezwładności układu napędzanego,  $a$  – przyspieszenie liniowe,  $\varepsilon$  – przyspieszenie kątowe,  $s$  – droga liniowa,  $\varphi$  – droga kątowa,

- Warunki wytrzymałościowe.

W analizowanym przypadku siły bezwładności nie były pomijalnie małe w porównaniu z pozostałymi siłami.

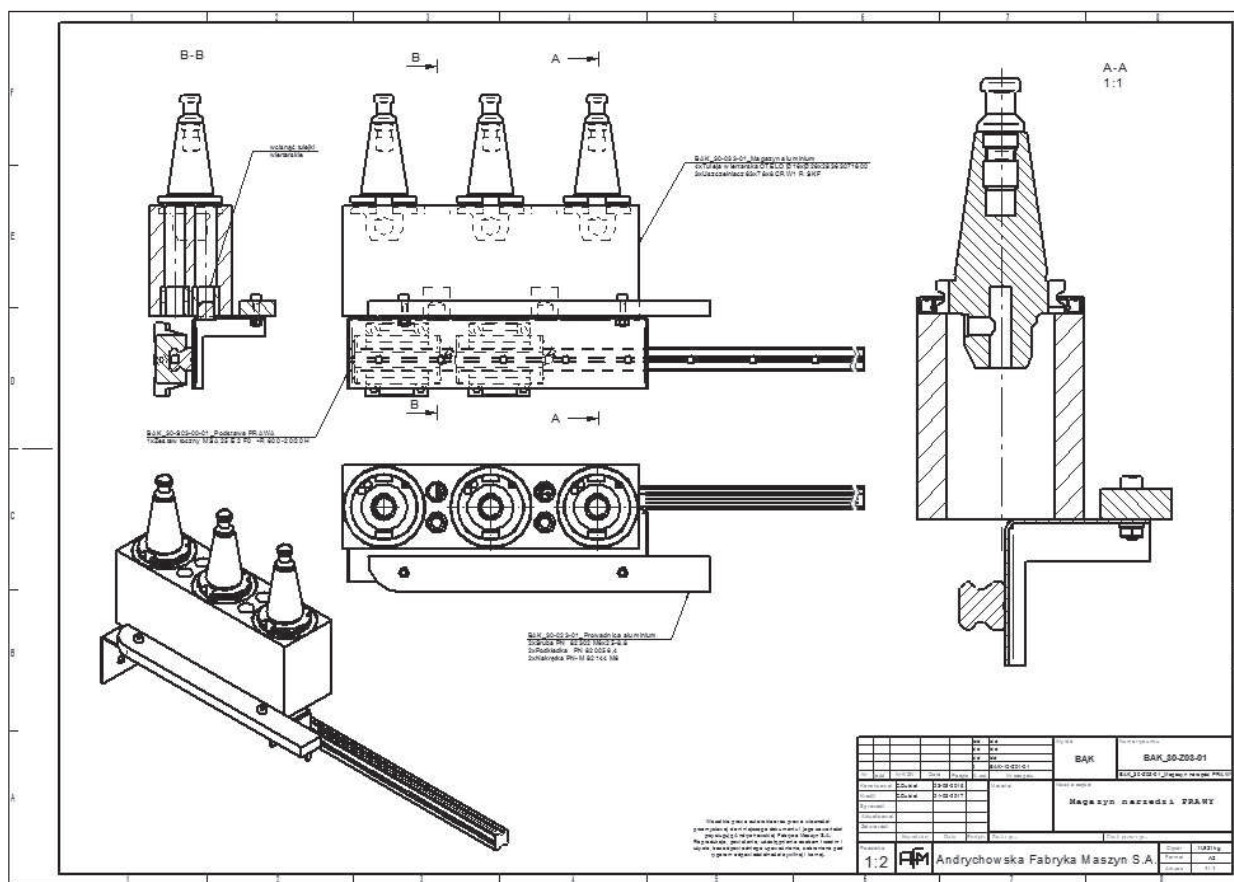
Po wyznaczeniu sił i momentów niezbędnych dla obliczeń wytrzymałościowych wyznaczono naprężenia w najbardziej narażonych przekrojach, a następnie sformułowano warunki wytrzymałościowe. Warunki wytrzymałościowe stanowią podstawę do określenia wartości dopuszczalnych obciążeń względnie interesujących wymiarów elementów, tj. obliczenia wstępne, bądź do porównania obliczonych naprężeń z naprężeniami dopuszczalnymi tj. obliczenia sprawdzające.

Duże znaczenie miała również wytrzymałość zmęczeniowa, gdyż występujące obciążenia miały charakter



Rys. 5. Widok zamocowania magazynu: 1 – magazyn narzędzi  
Fig. 5. View of fastening tool changer: 1 – tool changer





Rys. 6. Rysunek montażowy magazynu  
Fig. 6. Assembly drawing

cykliczny, zmienny co do wartości. Analizę trwałości zmęczeniowej dokonano doświadczalnie. Zauważone zostały charakterystyczne przełomy zmęczeniowe w przekrojach części, których wytrzymałość zmęczeniowa była zbyt mała. Chodzi tu o części mocowania magazynu, obciążone siłą ścinającą i narażone na naciski powierzchniowe.

Równie ważnym zagadnieniem są zachodzące procesy zużywania elementów np. przez tarczenie, jako mechaniczny proces zużycia wywołany działaniem na powierzchnię okresowo zmiennych miejscowych naprężeń ściskających. Po pewnym czasie, jak pokazały próby, w takich warunkach obciążenia uwidaczniają się na współpracujących powierzchniach mikroskopijne pęknięcia, rysy i wgłębienia, uniemożliwiające prawidłowe współdziałanie elementów. Typowymi częściami, w których występuje tarczenie, są łożyska toczne na powierzchniach bieżni, rolki czy prowadnice ze współpracującymi wózkami. Takie zużycie nastąpiło podczas ruchu magazynu w osi Y. Obliczanie na zużycie polega na wyznaczeniu obciążeń dopuszczalnych dla założonego czasu pracy, przy użyciu doraźnej wytrzymałości i innych współczynników zależnych m.in. od zmienności obciążenia, chropowatości powierzchni, wielkości przekroju itp. W tym przypadku wyznaczono trwałość dla przyjętych obciążeń wg wzoru:

$$T = \frac{W_o}{60 \cdot n_o \cdot K_z^q} \cdot \left( \frac{k_o}{\sigma_o} \right)^q$$

gdzie:  $T$  – trwałość [godz],  $W_o$  – wzorcowa liczba cykli naprężeń,  $n_o$  – prędkość obrotowa bazowa,  $K_z$  – współczynnik obciążenia równoważnego,  $k_o$  – wartość dopuszczalna przy obliczaniu na wytrzymałość zmęczeniową,  $\sigma_o$  – naprężenia równoważne,  $q$  – wykładnik zależny od materiału i sposobu obciążenia [4].

#### Problemy dokładności i sposobu mocowania oraz montażu narzędzi

Badania dokładności obrabiarek CNC wykonuje się w celu kontroli stanu technicznego obrabiarki. Ten stan wpływa na dokładność wymiarowo-kształtową przedmiotów obrabianych. Badania te przeprowadza się już w trakcie montażu obrabiarki, instalowania obrabiarki u klienta oraz w podczas eksploatacji. Badania dokładności obrabiarek są opisane w normie ISO 230 „Acceptance code for machine tools”. Przedmiotem normy są wymagania i wytyczne dotyczące sprawdzania dokładności geometrycznej obrabiarki oraz wymagania i wytyczne dotyczące sposobów badań i środków mierniczych. Polskie normy określają zarówno ogólne przepisy badania obrabiarek,

jak i szczególne metody wyznaczania poszczególnych odchyłek oraz tolerancje ograniczające ich dopuszczalne wartości. Norma składa się z:

- PN-ISO 230-1:1998 – Przepisy badania obrabiarek. Dokładność geometryczna obrabiarek pracujących bez obciążenia lub w warunkach obróbki wykończeniowej,
- PN-ISO 230-2:1999 – Przepisy badania obrabiarek. Wyznaczanie dokładności i powtarzalności pozycjonowania osi sterowanych numerycznie,
- PN-ISO 230-3 – Wyznaczanie efektów cieplnych,
- PN-ISO 230-5:2002 – Przepisy badania obrabiarek. Wyznaczanie emisji hałasu.

Wszystkie wymienione normy z serii PN-ISO 230 omawiają operacje wstępne, mówiące w jakich warunkach należy wykonywać badania, program badań, czyli jakie badania należy wykonać i jakie parametry z danego badania powinniśmy otrzymać.

Normy te obejmują przede wszystkim badania odbiorcze, które przeprowadzone podczas eksploatacji obrabiarki mogą być pomocne do oceny jej stanu technicznego.

Pod pojęciem dokładność obrabiarki należy rozumieć dokładność położenia w ustalonej lub zadanej pozycji określonych punktów charakterystycznych, w zakresie możliwych ruchów. Dokładność tak rozumiana wpływa na błędy obróbki wykonywanych przedmiotów. W istocie pojęcie to sprowadza się do błędu (nie dokładności) wzajemnego położenia określonych punktów charakterystycznych w przestrzeni roboczej, powstającego pod wpływem różnych oddziaływań (sił, przemieszczeń, warunków otoczenia itp.). Pojęcie to obejmuje także chwilowe błędy (nie dokładności) wzajemnego położenia punktów charakterystycznych od ustalonej lub zadanej pozycji, występujące podczas realizacji ruchów obrabiarki (typowe chwilowe błędy wzajemnego położenia punktów charakterystycznych występują przy realizacji ruchów interpolowanych lub drganiach). Pod pojęciem „punkty charakterystyczne obrabiarki” należy rozumieć punkty ustalające wzajemne możliwe położenia narzędzia i przedmiotu obrabianego. Najczęściej według tych punktów określa się usytuowanie przestrzeni roboczej i współrzędne osi sterowanych numerycznie.

Właściwości obrabiarki obejmują zagadnienia geometryczne, kinematyczne i konstrukcyjne, z których wynikają wartości przemieszczeń określonych punktów odniesienia od ustalonej pozycji. Przemieszczenia te powstają w wyniku różnych oddziaływań na tę obrabiarkę. Pojęcie właściwości geometryczne utożsamiane jest z wymiarami geometrycznymi i wzajemnym usytuowaniem elementów obrabiarki, wynikającymi z wykonania i montażu. Wpływają one na wzajemne położenie punktów charakterystycznych. Pojęcie właściwości kinematycznych obejmuje przekazywanie ruchu, mające wpływ na pozycjonowanie osi oraz błędy ruchów interpolowanych. Pojęcie właściwości konstrukcyjne obejmuje zagadnienia statyczne (sztywność), dynamiczne (drgania własne, wymuszone) i cieplne (odkształcenia konstrukcji od zmian temperatur).

W wyniku przeprowadzonych prób pojawiły się następujące problemy:

- brak stabilności magazynu narzędzi po przejeździe na pozycję mocowania na stole podczas wymiany narzędzia, przy podjeździe wrzeciennika,
- wymagana dokładność pozycjonowania osi narzędzia względem osi wrzeciona.

Pierwsze zagadnienie rozwiązano przez przekonstruowanie zamocowania magazynu w taki sposób, iż współrzędna środka ciężkości przesunęła się względem punktu zamocowania, co dało znaczący moment stabilizujący magazyn.

Drugi problem pokazał, że na błędy pozycjonowania, a więc grupę błędów powodujących niedokładność pozycjonowania elementów ruchomych obrabiarki wzdłuż lub wokół wybranej osi (pozycjonowanie osi obrotowych), znacząco wpływają: błędy układu pomiarowego, układu kinematycznego przekazywania ruchu, luzy i błędy geometryczne – wskaźniki definiujące odchyłki pozycjonowania ujęte są w normie PN-ISO-230-2.

Problem wiązał się z poprawą dokładności wykonania i korektami układu sterowania [1].

## Podsumowanie

1. Konstrukcja modułu magazynu narzędzi powinna w znacznym stopniu być rozpatrywana ze względu na dynamikę pracy.
2. Odpowiedni dobór warunków geometrycznych elementów wymiany narzędzi minimalizuje błędy pozycjonowania magazynu.
3. Warunek wytrzymałości zmęczeniowej determinuje konstrukcję magazynu narzędzi.
4. Powtarzalność uzyskiwanych wymiarów i ich dokładność jest głównym parametrem oceny maszyny.

## LITERATURA

- [1] Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Pruszków, Badanie dokładności obrabiarek sterowanych numerycznie, NH/B-02-2006.
- [2] Kowalski T., Walkiewicz L. 2016. „Połączenia spawane korpusów obrabiarek lekkich i mobilnych oraz inne cechy konstrukcyjne tych maszyn”. *Technologia i Automatyza Montażu* (4).
- [3] Osiński Z., Bajon W., Szucki T. 1975. „Podstawy konstrukcji maszyn”. Warszawa: PWN.
- [4] Wrotny L.T. 1978. „Podstawy konstrukcji obrabiarek”. Warszawa: WNT.

dr inż. Tadeusz Kowalski – Instytut Technik Wytwarzania – Zakład Automatyki, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem Politechniki Warszawskiej, ul. Narbutta 86, 02-524 Warszawa, e-mail: kowalski.tad@gmail.com

mgr inż. Leszek Walkiewicz – Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek Sp. z o.o., ul. Staszica 1, 05-800 Pruszków, e-mail: leszek.walkiewicz@cbko.pl

## Management of organizational assets by standard ISO 55000

Jerzy ŁUNARSKI

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zasady, podstawy i praktyczne wytyczne zarządzania różnymi aktywami w organizacjach, które można grupować według rodzajów i zarządzać w sposób analogiczny jak w znanych normach zarządzania jakością, środowiskiem itp. Zarządzanie realizowane jest według sekwencji PDCA, wymaga zaprojektowania odpowiedniej dokumentacji, jej wdrożenia, nadzoru i okresowych ocen. Z tego względu system ten dość łatwo można integrować z istniejącymi standardowymi systemami i certyfikować. System przedstawiono w trzech normach włączanych aktualnie do PZN tzn. 55000 – zasady i terminologia, 55001 – wymagania, 55002 – wytyczne stosowania 55001.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie, aktywa, zasoby, normy, integrowanie

**Abstract:** This article presents the basics and practical guidelines for managing different assets in organizations, which can be grouped by type and managed in the same way as known quality management standards, environments, and so on. Management is implemented in accordance with the PDCA cycle, requires appropriate documentation, supervision and periodic assessments. For this reason, this system can be easily integrated with existing standard systems and certified. The system presents three standards currently included in PZN i.e. 55000 – rules and terminology, 55001 – requirements, 55002 – guidelines for application 55001. This article presents the basics and practical guidelines for managing different assets in organizations, which can be grouped by type and managed in the same way as known quality management standards, environments, and so on. Management is implemented in accordance with the PDCA cycle, requires appropriate documentation, supervision and periodic assessments. For this reason, this system can be easily integrated with existing standard systems and certified. The system presents three standards currently included in PZN i.e. 55000 – rules and terminology, 55001 – requirements, 55002 – guidelines for application 55001.

**Key words:** management, assets, resources, standards, integration

### Wprowadzenie

Aktualnie do Polskiego Zestawu Norm (PZN) wprowadzane są przetłumaczone normy ISO serii 55000 dotyczące:

- ISO 55000 – Zarządzanie Aktywami (ZA). Informacje ogólne, zasady i terminologia,
- ISO 55001 – ZA. Systemy zarządzania aktywami (SZA). Wymagania,
- ISO 55002 – ZA. SZA. Wytyczne dotyczące stosowania ISO 55001.

Pojęcie **aktywa** obejmuje ogół środków gospodarczych, którymi dysponuje organizacja dla realizacji swoich celów. Są to rzeczy, przedmioty lub jednostki, mające wartość rzeczywistą lub potencjalną (materialne, niematerialne, finansowe lub niefinansowe, pozytywne lub negatywne). Aktywa te przeważnie wyrażane są w jednostkach pieniężnych i wykorzystywane w celach księgowo-bilansowych. Celem skutecznego zarządzania aktywami jest dążenie do maksymalizacji efektów organizacji z tytułu optymalnego wykorzystywania aktywów.

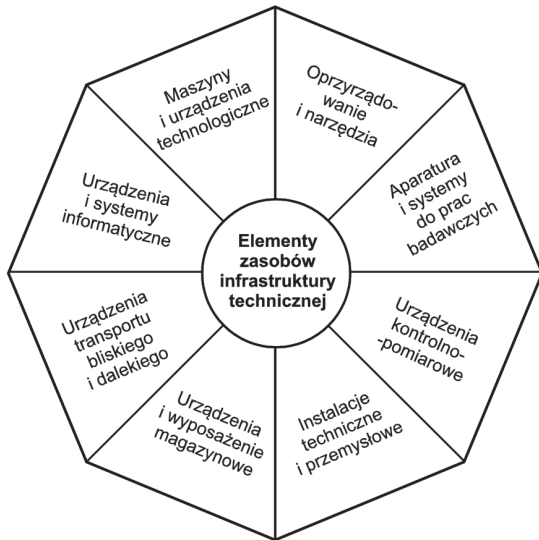
W normach tych wskazuje się, że dla realizacji celów organizacji m.in. należy racjonalnie wykorzystywać posiadane **zasoby**. Zachodzi tu dość ściśle powiązanie pojęć „aktywa” (jako jednostki pieniężne) i „zasoby” (jako posiadane środki gospodarcze) w celu maksymalizacji uzyskiwanych korzyści [1]. Jako typowe aktywa, którymi należy rozsądnie i efektywnie zarządzać, można

wskazać m.in. następujące: bazy danych, informacje, jakość, oprogramowanie, niezawodność, kwalifikacje, projekty, obiekty, urządzenia, energie, ryzyko, środowisko itp. Dla szeregu tych elementów opracowano w ISO wcześniej odpowiednie standardy zarządzania według schematu PDCA i dzięki temu można stosunkowo łatwo integrować z normę ISO 55001 ze standardami wcześniej wdrożonymi [2].

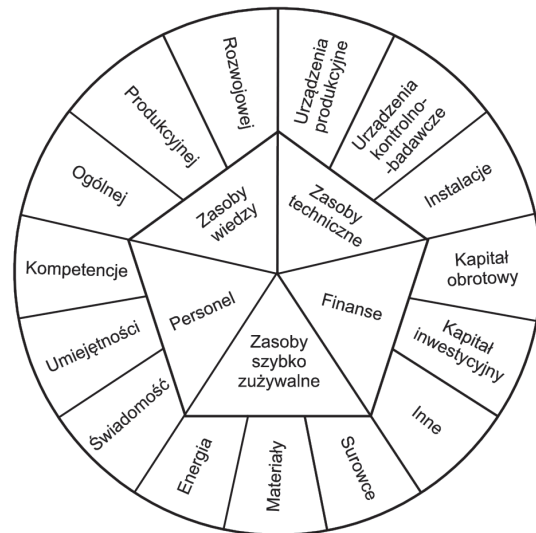
Kluczowym elementem w zrozumieniu istoty zarządzania aktywami jest zrozumienie tzw. **kontekstu organizacji** oraz identyfikacji posiadanych zasobów tzn. zestawu środków, które organizacja wykorzystuje i zużywa w trakcie wytwarzania wyrobów (materialnych, intelektualnych, materiałów przetworzonych i usług). Zasoby te skupione są w poszczególnych jednostkach lub systemach organizacji, zwłaszcza w zestawach infrastruktury technicznej organizacji, co w przybliżeniu pokazano na rys. 1.

Wskazane zasoby można grupować w różny sposób, w zależności od charakteru i stanu organizacji. Przykładem możliwego grupowania typowych elementów zasobów (są one jednocześnie określonymi aktywami pieniężnymi), występujących w różnych organizacjach, jest grupowanie pokazane na rys. 2.

Aby zarządzanie aktywami, będące skoordynowanym działaniem organizacji zmierzającym do uzyskania wartości z aktywów, przynosiły zamierzone efekty, organizacja powinna zidentyfikować:



Rys. 1. Ważniejsze elementy zasobów infrastruktury technicznej organizacji  
Fig. 1. Important element of the organization technical infrastructure



Rys. 2. Typowe elementy zasobów wykorzystywane przez organizację  
Fig. 2. Typical elements used by the organization

- **portfel aktywów**, obejmujący wszystkie składniki aktywów znajdujące się w posiadaniu organizacji,
- **kluczowe składniki aktywów**, które potencjalnie mogą w znaczny sposób wpływać na osiągnięcie celów,
- **cykle życia** poszczególnych składników aktywów od momentu ich pozyskania (lub wytworzenia) do końca życia (zaniku obecności),
- **interesariuszy** organizacji – osoby lub organizacje, które mogą mieć wpływ na decyzje lub działalność organizacji lub podlegać jej wpływom,
- **kontekst organizacji** – wewnętrzny (misja, wizja, wartości, kultura, strategia itp.) oraz zewnętrzny (otoczenie społeczne, gospodarcze, polityczne, finansowe, regulacyjne i in.)

### Norma ISO 55000 – zagadnienia ogólne

Na podstawie przeprowadzonych wskazanych wyżej identyfikacji norma [3] zaleca opracowanie następującej dokumentacji stanowiącej projekt systemu, tzn.:

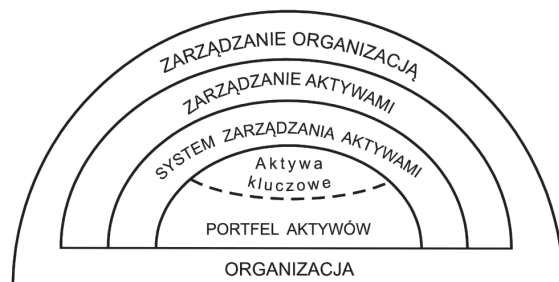
- **Politykę** zarządzania aktywami, zawierającą zamierzenia i ukierunkowania organizacji formalnie wyrażone przez najwyższe kierownictwo (NK).
- **Plan organizacyjny**, zawierający udokumentowane informacje określające programy niezbędne do osiągnięcia celów organizacji.
- **Strategiczny plan zarządzania aktywami (SAMP)**, zawierający udokumentowane informacje, określające w jaki sposób cele organizacyjne zostaną przełożone na cele zarządzania aktywami.
- **Dokumentację** procesów zarządzania wybranymi aktywami, definiującą sposoby postępowania z aktywami, zmierzające do uzyskania wartości z aktywów.

Powyższe dokumenty powinny wskazywać na powiązania kompleksowego zarządzania organizacją z zarządzaniem aktywami organizacji, tzn. skoordynowanymi

działaniami organizacji, zmierzającymi do uzyskania wartości z posiadanych aktywów. Natomiast system zarządzania aktywami (SZA) obejmuje opracowane dokumenty (politykę, plan organizacji i plan strategiczny (SAMP) oraz procesy), praktykę funkcjonowania, nadzoru i ocen w osiąganiu celów zarządzania aktywami (rys. 3, na podstawie [3]).

Norma ISO 55000 [3] zawiera ogólne informacje, które organizacja powinna uwzględnić przy opracowywaniu SZA, mające za zadanie zapewnić maksymalizację wartości uzyskiwanych z poszczególnych aktywów. System ten jest uzależniony od wielu czynników zewnętrznych (potrzeby i oczekiwania interesariuszy, wymagania regulacyjne, szanse i ograniczenia, dostępność zasobów i in.) oraz wewnętrznych (kontekst organizacji, posiadane zasoby, wielkość organizacji i złożoność jej procesów itp.).

Opracowanie skutecznego i efektywnego SZA, uwzględniającego czynniki wewnętrzne i zewnętrzne, może skutkować szeregiem korzyści dla organizacji w postaci: uzyskiwanych zysków, przemyślanych decyzji, uwzględniania ryzyka, wzrostu prestiżu, polepszenia jakości wyrobów, dbałości o środowisko i wzrostu odpowiedzialności społecznej i in.



Rys. 3. Zależności pomiędzy kluczowymi terminami w ISO 55 000  
Fig. 3. Dependence between key terms in ISO 55 000

Osiągnięcie powyższych i innych korzyści będzie możliwe jeśli SZA będzie opracowywany przy uwzględnieniu podanych niżej podstaw (założeń):

1. **Wartości** posiadanych aktywów i wytworów swojej działalności przy założeniu, że aktywa winny dostarczać nowych wartości organizacji i jej interesariuszom (materialnych lub niematerialnych, finansowych lub niefinansowych) oraz sprzyjać doskonaleniu organizacji.
2. **Korelacji** wiążących plany i działania oraz techniczno-finansowe decyzje w sferze SZA ze strategicznymi i operatywnymi celami organizacji.
3. **Przywództwa** i kultury organizacyjnej, które określają funkcjonowanie stanowisk pracy oraz role, kompetencje i uprawnienia personelu wpływających bezpośrednio i pośrednio na generowane przez aktywa wartości.
4. **Zaufania** względem SZA i personelu, że realizując działania zarządcze nad aktywami, zostaną jednocześnie spełnione wymagania dotyczące celów organizacji.

W normie ISO 55000 podano i rozwinięto podstawowe zasady SZA, według sekwencji PDCA, wskazując główne czynniki, które muszą być uwzględnione przy projektowaniu SZA i planowaniu jego funkcjonowania w organizacji. Do zasad tych zaliczono następujące:

- a) **Zrozumienie kontekstu** organizacji z uszczegółowieniem kontekstu wewnętrznego i zewnętrznego, mających wpływ na zasady decyzyjne, ustalanie celów organizacji (wg zasady SMART), system zarządzania organizacją oraz SZA.
- b) **Przywództwo** zapewniające poprawne planowanie, wybór właściwej strategii, ustalanie priorytetów, rozwiązywanie konfliktów, wspieranie inicjatyw, przydzielanie zasobów, dokumentowanie działań i w efekcie ciągle doskonalenie organizacji.
- c) **Planowanie** operatywne, taktyczne i strategiczne, SAMP, plany zarządzania aktywami, raportowanie, nadzorowanie i harmonogramowanie celem realizacji wartości z aktywów.
- d) **Wsparcie** poszczególnych działań w SZA, koordynacja współpracy, współdzielenie zasobów, kształtowanie świadomości, oceny skuteczności działań, weryfikowanie przedsięwzięć i ich doskonalenie.
- e) **Działania operacyjne**, ukierunkowane na optymalizację wyników poprzez uwzględnianie ryzyka, nadzorowanie procesów, kierowanie realizacją planów, wprowadzanie koniecznych zmian i in.
- f) **Ocena wyników** funkcjonowania komórek organizacyjnych, SZA, wykorzystywania szans, pokonywania trudności, minimalizowania skutków niepowodzeń oraz skuteczności osiągnięcia celów.
- g) **Ciągle doskonalenie** procesów wytwórczych i zarządczych, zmniejszających ryzyko i ograniczających sytuacje awaryjne, doskonalenie SZA, umiejętnie wykorzystywanie auditów i przeglądów itp.

#### Wymagania normy ISO 55001

Wszystkie powyższe zasady zostały rozwinięte, uszczegółowione i rozszerzone w normie ISO 55001 [4]

w postaci wymagań i zaleceń, wskazania konieczności dokumentowania, nadzorowania konkretnych rozwiązań sprzyjających realizacji celów organizacji przy jednoczesnym wzroście wartości jej aktywów. Do ważniejszych wymagań, wdrażanych zgodnie z przyjętymi zasadami należą następujące:

1. W trakcie identyfikowania **kontekstu organizacji** należy powiązać potrzeby i oczekiwania interesariuszy z posiadanymi przez organizację aktywami oraz określić profil aktywów (w tym zwłaszcza kluczowych), które zostaną objęte SZA, opracowanie SAMP oraz zaprojektowanie, wdrożenie, utrzymywanie i ciągle doskonalenie SZA.
2. Realizacja **przywództwa** przez NK, które powinno wykazać maksimum zaangażowania w procesy integrowania wdrażanego SZA z procesami biznesowymi organizacji, zapewnić wsparcie personelowi w procesach wdrażania, współpracy i dokumentowania, ustalić cele, szacować i zarządzać ryzykiem, zapewnić spójność między kompetencjami, odpowiedzialnością i uprawnieniami oraz prowadzić systematyczne oceny funkcjonowania SZA.
3. Zapewnienie wysokiego poziomu procesów **planowania** w celu osiągnięcia zamierzonych celów, unikania zagrożeń, uwzględniania ryzyka i ciągłego doskonalenia. Ustalane cele powinny być zgodne ze strategią i polityką organizacji, mierzalne, monitorowane, aktualizowane, przeglądane, udokumentowane i zakomunikowane interesariuszom. SZA powinien być zintegrowany z systemem zarządzania organizacją. Metody postępowania, priorytety działań, kryteria decyzyjne w realizowanych procesach powinny uwzględniać ryzyko i być dokumentowane.
4. **Wsparcie** udzielane przez NK powinno zapewnić zasoby konieczne dla funkcjonowania SZA, niezbędne do osiągnięcia celów SZA, systematycznego podwyższania kompetencji, prowadzenia koniecznych szkoleń, identyfikowania potrzeb w trakcie przeglądów, kształtowania świadomości personelu o polityce, zadaniach, ryzykach, niezgodnościach itp. Zapewnienie potrzebnych informacji dla SZA, rozwiązywanie problemów jakościowych, terminowych, związanych z ryzykiem, ich dokumentowanie, nadzorowanie i aktualizowanie.
5. **Działania operacyjne** powinny być prowadzone zgodnie z planami, nadzorowane i oceniane według przyjętych kryteriów. Udokumentowane procesy z uwzględnieniem ryzyka powinny być nadzorowane i doskonalone. Konieczne zmiany przed wprowadzeniem winny być planowane i zarządzane celem minimalizacji oporów personelu. Wszelkie zlecenia zewnętrzne powinny być nadzorowane i oceniane.
6. **Oceny wyników** poszczególnych działań, procesów i przedsięwzięć powinny być monitorowane, dokumentowane, mierzone i analizowane za pomocą auditów, przeglądów lub ustalonych mierników. Wyniki ocen należy wykorzystywać do opracowania i projektowania zmian ulepszających zwłaszcza w SZA.

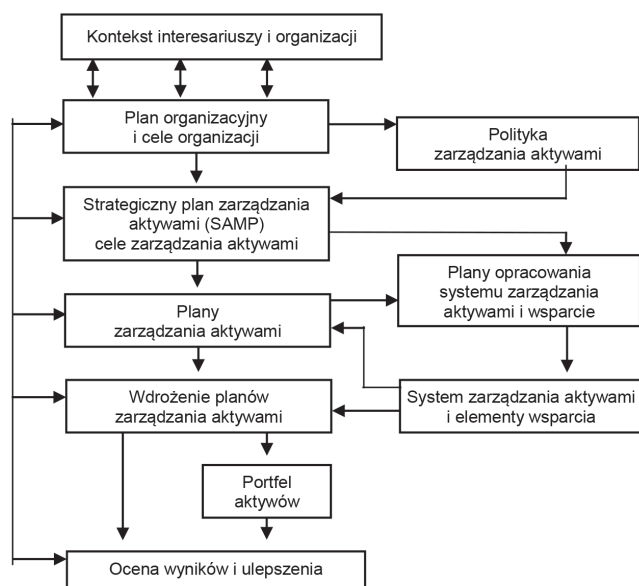
7. **Doskonalenie** SZA oraz organizacji powinno być prowadzone przez systematyczne wykrywanie niezgodności, uruchamianie działań korygujących i zapobiegawczych, radykalną przebudowę stosowanych procesów lub ich stopniowe ciągłe doskonalenie.

Spełnienie wymagań tej normy względem wybranego portfela aktywów w postaci udokumentowanych procedur, instrukcji, opisów procesów itp. wraz ze sposobami monitorowania, nadzorowania, analiz i ocen może być poddane certyfikacji jako odrębny system lub w postaci zintegrowanej z systemem lub systemami wcześniej opracowanymi i certyfikowanymi.

### Wytyczne normy ISO 55002

W kolejnej normie ISO 55002 [5] w sposób obszerny przedstawiono wytyczne stosowania normy ISO 55001, uporządkowane według wcześniej wskazanych zasad. Norma ta jest przeznaczona dla osób zaangażowanych w ustanawianie, wdrażanie, utrzymywanie i doskonalenie SZA, celem maksymalizacji efektów uzyskiwanych z zarządzanych aktywów i działań organizacji. Do ważniejszych wytycznych można zaliczyć następujące (ich treści dotyczą w głównym stopniu spełnienia wymagań podanych w normie ISO 55001):

1. Zrozumienie **kontekstu organizacji** związane jest głównie ze sprecyzowaniem celów i założeń planu organizacyjnego, zadań jednostek struktury organizacyjnej i ich powiązań z SZA. Pełne rozpoznanie otoczenia zewnętrznego, wewnętrznego oraz interesariuszy i ich wymagań oraz oczekiwań, które powinny być uwzględniane w planowanych działaniach oraz udokumentowane i zakomunikowane w postaci deklaracji. Ustalenie celów SZA i planu strategicznego SAMP, który powinien zawierać powiązania między celami organizacji i celami SZA, spełnianie oczekiwań interesariuszy, zawierać udokumentowane procesy i kryteria decyzyjne, związane z aktywami. SZA powinien wskazywać granice systemu, jego interakcje z systemem zarządzania organizacją, wskazywać obszary potencjalnego rozwoju, obowiązujące priorytety, sposoby nadzoru systemu oraz jego okresowe przeglądy celem doskonalenia.
  2. Wytyczne dotyczące **przywództwa** wskazują na konieczność zaangażowania NK w ustanowienie i nadzorowanie SZA, opracowanie polityki, deklaracji i wymaganej dokumentacji, stosowanie wyszczególnionych zasad w SZA, wskazanie kryteriów decyzyjnych oraz ważnych priorytetów dla realizacji zasad, alokacji zasobów, działań na rzecz kształtowania kultury organizacji, sposobów zarządzania ryzykiem w procesach SZA, konieczności integrowania SZA z innymi systemami zarządzania, wskazywanie czynników sukcesu, monitorowanie działań SZA, korygowanie wyjawianych niezgodności i planowanie zapobiegania im i potencjalnie możliwym. Ważnymi zadaniami jest również właściwa obsada stanowisk z uwzględnieniem kompetencji, uprawnień
- i odpowiedzialności, wspieranie inicjatyw i działań personelu zwłaszcza w zakresie SZA. Wspieranie procesu ciągłego doskonalenia SZA i organizacji.
3. Wiele wytycznych dotyczy **planowania** związanego z koniecznością identyfikowania przyczyn i skutków zdarzeń, koniecznością ograniczania i redukcji ryzyka do akceptowalnego poziomu, zapobiegania skutkom zagrożeń stanu aktywów. W SZA powinny być wskazane kryteria ocen ryzyka, zasady zarządzania ryzykiem, zasoby przeciwdziałające ryzyku oraz sposoby ocen skuteczności działań w systemie zarządzania ryzykiem. Należy planować osiągnięcie celów zarządzania aktywami poprzez identyfikację portfela i kluczowych aktywów, monitorowanie, pomiary i analizę działań, wspieranie procesów decyzyjnych z uwzględnieniem ważności poszczególnych aktywów i ich wpływu na środowisko. Działania ograniczające ryzyka powinny być monitorowane, przeglądane i oceniane. W podobny sposób należy planować osiągnięcie celów SZA za pomocą działań, w sposób udokumentowany, z użyciem koniecznych zasobów, nadzorowaniem i okresowymi ocenami w oparciu o SAMP, z analizą wykorzystywania aktywów, analiz ryzyk, oceny skutków oraz wpływu na ciągłe doskonalenie SZA (skutki, metody, aspekty, alternatywne warianty itp.).
  4. Szereg wytycznych dotyczy **wsparcia SZA** przez NK dla realizacji celów organizacji przez ustalanie priorytetów, przydzielanie zasobów, wskazywanie kryteriów ocen procesów, koordynowanie działań i nadzorowanie realizacji planów. Do szczególnie ważnych elementów wspierania należy zaliczyć:
    - **Kompetencje** na wszystkich szczeblach, potrzeby i luki wiedzy oraz szkolenia, oceny i programy doskonalenia, awansowania, ocen w powiązaniu z potrzebami stanowisk i procesami biznesowymi, okresowe przeglądy kompetencji.
    - Kształtowanie **świadomości** osób w SZA o potrzebach i działaniach wewnętrznych i zewnętrznych. Zrozumienie polityki SZA, następstw, konsekwencji, ryzyk i osiąganych wyników. Ciągły dialog NK z personelem.
    - **Komunikacja** polegająca na informowaniu interesariuszy o działaniach w SZA. Konieczny jest udokumentowany plan komunikacji, potrzeby wiedzy zewnętrznej, uświadamianie korzyści z SZA, harmonogramy doskonalenia komunikacji.
    - Wymagania dotyczące **informacji** – potrzeby, priorytety, przeglądy opcji, tworzenie baz danych, nadzór, raportowanie, opisy i plany procesów i procedur dotyczących aktywów, ich parametrów, lokalizacji i stanu, sposobów odtwarzania i zarządzania aktywami i ich dokumentowania.
  5. **Działania operacyjne** powinny być planowane i nadzorowane celem utrzymywania zdolności procesów i działań. Dokumentowanie planów procesów, ryzyk, kryteriów ocen, audytów wewnętrznych i przeglądów. Eliminowanie konfliktów,



Rys. 4. Powiązania między kluczowymi elementami systemu zarządzania aktywami

Fig. 4. Relationship between key element of the asset management system

równoważenie kosztów w zarządzaniu aktywami. Ustanowienie skutecznego systemu zarządzania zmianami i ich wpływu na aktywa lub SZA. Ocena zmian, łagodzenie ich skutków, wspomaganie zasobami i regulacjami. Nadzorowanie zleceń zewnętrznych i ich dokumentowanie i monitorowanie oraz ocena ich wpływu na aktywa oraz SZA.

#### 6. Ocena wyników obejmuje następujące kluczowe elementy systemów:

- Monitorowanie, pomiary, analiza i ocena procesów i działań nad aktywami i w SZA celem oceny zgodności z wymaganiami. Dotyczy to dokumentowania działań korygujących, decyzji, stosowania zasad, wskaźników zgodności z planem oraz przechowywania wyników ocen i ich analizy.
- Ocenę funkcjonowania ZA i SZA celem oceny ich skuteczności i przydatności. Samooceny lub audyty winny dotyczyć ocen zmian polityki, procesów, procedur, kompetencji, SAMP, ryzyka, szkoleń, nadzoru i in. oraz winny być dokumentowane.
- Audyty wewnętrzne powinny dotyczyć kluczowych aktywów, ZA, SZA, osiągnięcia celów, zgodności z wymaganiami i powinny być realizowane według ustalonych procedur, zgodnie z harmonogramem i być ukierunkowane na eliminowanie niezgodności oraz wyjawianie możliwości doskonalenia.
- Przeglądy zarządzania aktywami, ZA i SZA, polityki, SAMP i in. planów i programów celem oceny efektywności zarządzania (porównywanie z wcześniejszymi przeglądami), ocena wyników przez NK i wypracowania odpowiednich decyzji.

#### 7. Doskonalenie SZA i stanu aktywów realizowane jest z pomocą:

- wykrywania niezgodności i działań korygujących z koniecznością identyfikacji przyczyn, poziomu ryzyka, szacowania skutków oraz prawdopodobieństwa powtórzenia. Należy ustanowić kryteria i procesy badań, działań oraz dokumentować wszelkie postępowania,
- działań zapobiegawczych dotyczących potencjalnie możliwych niezgodności i ich przyczyn z pomocą odpowiednich metod, planowania, ocen i rejestrowania wyników oraz przechowywania dowodów.
- Ciągłe doskonalenie przez procesy odgórne, oddolne lub ich kombinację. Dotyczą one możliwości doskonalenia działań korygujących, zapobiegawczych, usprawniających procesy SZA i ich monitorowania, sposobów aktywizacji personelu, pozyskiwania nowej wiedzy, kryteriów decyzyjnych itp. Typowy przebieg działań w SZA i zarządzania organizacją przedstawiono graficznie na rys. 4 [5].

#### Podsumowanie

1. Normy ISO serii 55000 zawierają kompleks informacji, umożliwiających organizacjom usprawnienie swoich systemów zarządzania pod względem zapewnienia stałego wzrostu wartości posiadanych aktywów (tożsamy w wielu sytuacjach z posiadanymi zasobami).
2. System zarządzania aktywami został opracowany zgodnie z sekwencją PDCA, co ułatwia jego integrowanie z wcześniej wdrożonymi i certyfikowanymi standardowymi systemami zarządzania opracowanymi przez ISO, ISO/IEC lub CEN.
3. Istnieje możliwość wyboru grupy aktywów kluczowych dla organizacji, ich odpowiednie uporządkowanie i opracowanie wyłącznie dla nich SZA oraz integrację tego systemu z systemem zarządzania organizacją.

#### LITERATURA

- [1] Łunarski J. 2016. „Innowacje technologiczne w przedsiębiorstwach – projektowanie, wdrażanie i użytkowanie”. Warszawa: IMBiGS.
- [2] Łunarski J. 2011. „Zintegrowane systemy zarządzania – wspomaganie zarządzania systemami standardowymi”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [3] PN-ISO 55000 – Zarządzanie aktywami. Informacje ogólne, zasady i terminologia. PKN Warszawa, 2017.
- [4] PN-ISO 55001 – Zarządzanie aktywami. System zarządzania. Wymagania. PKN Warszawa, 2017.
- [5] PN-ISO 55002 – Zarządzanie aktywami. Systemy zarządzania. Wytyczne dotyczące stosowania ISO 55001. PKN Warszawa, 2017.

prof. dr hab. inż. Jerzy Łunarski – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: jlkmiop@prz.edu.pl

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В УГЛЕПЛАСТИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО СВЕРЛА

## *Quality assurance of drilling in CFRP by combined drills*

## *Zapewnienie jakości wiercenia otworów w kompozytach węglowych z wykorzystaniem składanego wiertła*

**В.А. ПАСЕЧНИК, С.А. СТЕПАНЕНКО**

---

**А н н о т а ц и я:** Представлена новая технологическая схема обработки отверстий в полимерных композиционных материалах. Суть схемы состоит в двухэтапном сверлении, когда одним комбинированным инструментом на первом этапе сверлится пилотное отверстие меньшего диаметра, а на втором этапе выполняется окончательная обработка одновременно с двух сторон. При такой схеме в процессе обработки на втором этапе в заготовке создаются сжимающие напряжения, что исключает факторы, которые приводят к расслоению композиционного материала. Представлена конструкция нового комбинированного инструмента и результаты обработки тестовых отверстий.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** Сверление, комбинированный режущий инструмент, композитный материал

**A b s t r a c t:** A new technological scheme of processing of holes in the polymer composite materials is described. The essence of the scheme is a two-stage drilling by combined drill. On the first stage there is a drilled pilot hole of smaller diameter, and the second step is performed simultaneously with the finishing of both sides. With such a processing scheme in the second stage the preform compressive stresses are created, eliminating factors that lead to delamination of the composite material. The design of the new combined cutting tool is described.

**К e y w o r d s:** Drilling, Combined Cutting Tool, Composite Material

**S t r e s z c z e n i e:** Przedstawiono nowy technologiczny sposób obróbki otworów w polimerowych kompozycyjnych materiałach. Istota sposobu polega na dwuetapowym wierceniu jednym kombinowanym narzędziem. W pierwszym etapie wierce się pilotażowy otwór o mniejszej średnicy, a w drugim etapie wykonywana jest ostateczna obróbka jednocześnie z dwóch stron. Przy takim schemacie w procesie obróbki w drugim etapie w obrabianym materiale konstituowane są naprężenia ściskające, co wyklucza czynniki powodujące rozwarstwienie kompozytowego materiału. Przedstawiono konstrukcję nowego kombinowanego narzędzia oraz wyniki obróbki testowanych otworów.

**S ł o w a k l u c z o w e:** wiercenie, kombinowane narzędzie skrawające, materiał kompozytowy

---

### **Введение**

Современные предприятия изготавливают продукцию гражданского и специального назначения для авиационной и ракетно-космической отрасли. Развитие этой наукоемкой техники неразрывно связано с разработкой новых конструктивных решений, прогрессивных технологий, совершенствованием существующих или созданием новых материалов. Среди новых материалов в последнее время большое внимание уделяется композиционным, обладающим уникальными свойствами [1].

При обработке отверстий в деталях из полимерных композиционных материалах (ПКМ) возникает ряд дефектов, в частности ворсистость и скол кромок отверстия, расслоение материала на входе и на выходе инструмента из отверстия, высокая шероховатость, деструкция поверхностного слоя и др. Наиболее опасным дефектом при обработке отверстий является расслоение материала, поскольку оно существенно

снижает прочностные характеристики изделия и его нельзя устранить на последующих чистовых операциях. Расслоение опасно также в процессе длительной эксплуатации изделий, поскольку из-за высокой гигроскопичности композитов в трещину попадает вода, которая при многократном замораживании-размораживании приводит к разрушению изделия [2].

### **Методы обработки отверстий в ПКМ**

В настоящее время применяются различные технологии механической и немеханической обработки отверстий в ПКМ: сверление, лазерная обработка, электрохимическая обработка.

Сверления является одним из самых доступных методов обработки отверстий, что связано с простотой его реализации. Для уменьшения расслоения на входе отверстия используют сверла с двойной заточкой, а для устранения не прорезывания волокон – сверла с острыми кромками на периферии [2].



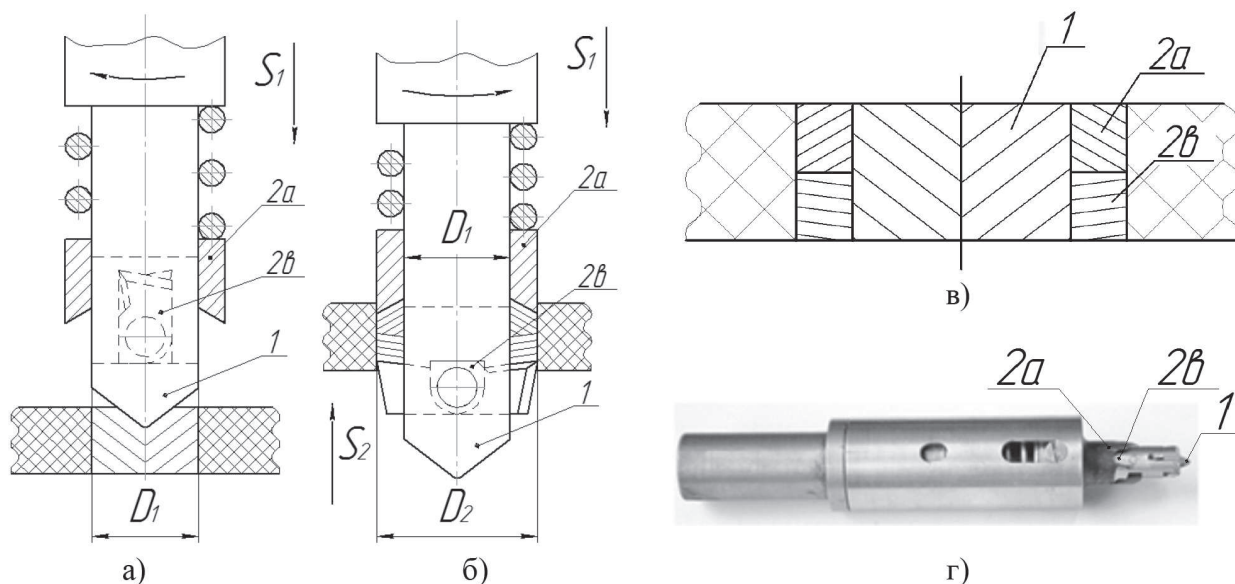


Рисунок 1. Реализация комбинированного сверла: а) – сверление пилотного отверстия, б) – процесс встречного сверления, в) – схема обработки отверстий комбинированным инструментом, г) – комбинированное сверло  
 Fig. 1. Implementation of the combined drill: a) drilling of the pilot hole, b) the process of drilling the counter, c) the circuit of processing holes by combined tool, d) a combined drill

В то же время, механической обработке параметры качества поверхности зачастую не соответствуют значениям, установленным в технических требованиях, что приводит к необходимости дополнительной обработки, так как именно от качества обработанной резанием поверхности в большей степени зависят надежность и долговечность функционирования деталей и механизмов [3].

Положительные результаты по качеству обработки были получены с использованием сверл, в которых режущая часть является ступенчатой. Фактически происходит сверления и рассверления отверстия. При этом большую часть осевой силы воспринимает первая ступень сверла, поскольку именно на сердцевину сверла приходится большая часть осевой силы. Дефекты обработанного материала, возникшие во время работы первой ступени, удаляются второй ступенью сверла [2].

Таким образом, для дальнейшего улучшения качества обработанной поверхности ПКМ будем рассматривать комбинированный инструмент.

**Целью** данной работы является повышение качества механической обработки отверстий в ПКМ за счет совершенствования конструкции комбинированного режущего инструмента.

#### Обсуждение результатов исследования

Основная причина наличия дефектов обработки разломачивание на поверхности детали и расслоение внутренних слоев материала, осевая сила при сверлении [4].

Использование комбинированных инструментов, совмещающих в себе процессы сверления,

зенкерования и развертывания [5], позволяет снизить осевую силу.

Отличие данной разработки является реализация специального инструмента с двух этапным процессом сверления.

Первый этап (рис. 1.а) подразумевает обработку пилотного отверстия, режущим элементом 1, что обеспечивает уменьшение осевой силы резания, в сравнении с окончательным этапом.

Второй этап (рис. 1.б), окончательная обработка отверстия реализуется процессом встречного сверления, режущими элементами 2а и 2в, которые не только полностью исключают осевую силу, а наоборот создают сжимающие напряжения, что в принципе исключает дефекты на выходе детали.

Разработана конструкция специального инструмента, работающая по схеме обработки отверстий показанной на рис. 1,в. Изготовлен опытный образец (рис. 1,г). В первой части эксперимента было просверлено два отверстия.

#### Обсуждение результатов эксперимента

Первое отверстие (рис.2) было получено при обработке спиральным сверлом заточенным по двум плоскостям.

Как показано на рис.2.а поверхность на входе обеспечивает требуемое качество, отсутствует разломачивание на поверхности детали. При выходе спирального сверла из детали наблюдается расслоение материала, что видно на рис.2.б (в виде белого полумесяца) и является технологическим браком.

Второе отверстие (рис.3) обработано нашим комбинированным сверлом.

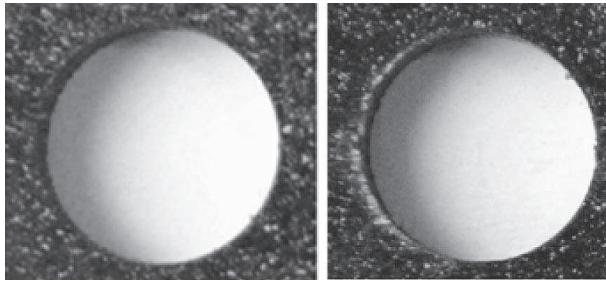


Рисунок 2. Отверстие при обработке спиральным сверлом заточенное по двум плоскостям: а) – поверхность на входе, б) – поверхность на выходе  
 Fig. 2. The hole is processing by sharpened twist drill on two planes: a) at the input surface; b) at the exit surface

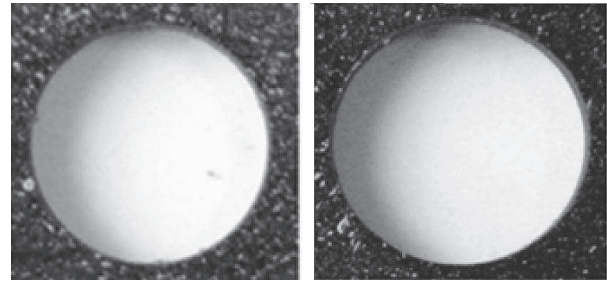


Рисунок 3. Отверстие при обработке комбинированным сверлом: а) – поверхность на входе, б) – поверхность на выходе  
 Fig. 3. The hole is processing by combined drill: a) at the input surface, b) at the exit surface

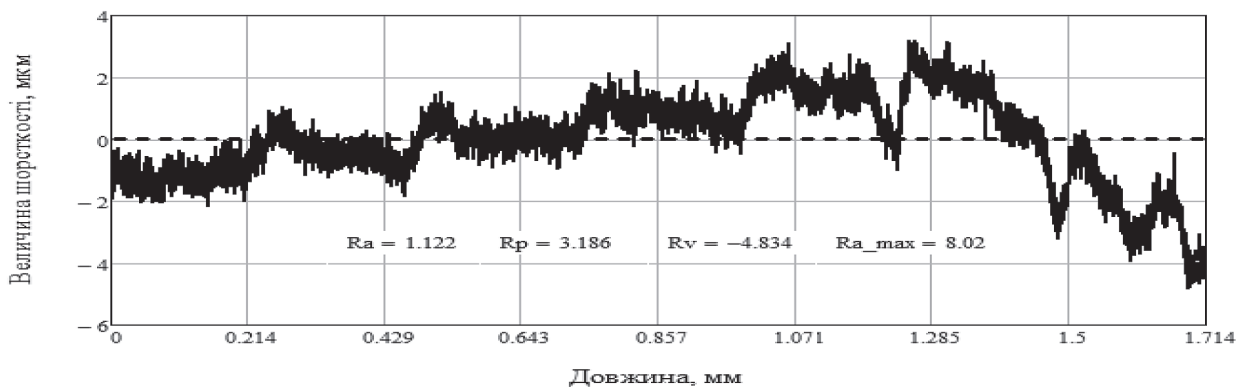


Рисунок 4. Зависимость величины шероховатости от длины  
 Fig. 4. The dependence of roughness on the length

При обработке комбинированным сверлом, поверхность на входе и выходе (рис. 3.а,б) обеспечивает требуемое качество, отсутствует разломачивание на поверхности детали и расслоение внутренних слоев материала.

Зона завершения обработки переходит в середину заготовки, что обеспечивает качество обработки граничных слоев детали.

Во второй части эксперимента было обработано группа отверстий комбинированным сверлом.

#### Измерения параметров обработанных отв.

Шероховатости поверхности получим контактным методом с помощью профилографа.

Полученные данные с профилографа обрабатываем в программе Mathcad 15, на выходе получаем зависимость величины шероховатости от длины показаны на рис.4 и значения: Ra, Rp, Rv и Ra\_max.

В результате измерений параметров отверстий, было получено такие значения в пределах Ra = 1,122 – 2,458 мкм, сравниваем со значениями из табл.23 [6 стр. 340] (диаметр отверстия 10мм), согласно таблице получаем отверстие качеством H7-H9.

#### Выводы

1. Установлено, что при использовании усовершенствованной схемы механической обработки отверстий в деталях из ПКМ обрабатываемых комбинированным сверлом обеспечивается требуемое качество на входе и на выходе, отсутствуют такие дефекты, как разломачивание на поверхности детали и расслоение граничных слоев заготовки.
2. Экспериментальное исследование показало возможность достижения 7-9 качества и шероховатости в пределах Ra=1,25-2,5 мкм.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Макаров В.Ф. Исследование проблем механической обработки современных высокопрочных композиционных материалов, используемых для производства деталей авиационной и ракетно-космической техники // В.Ф. Макаров, А.Е. Мешкас, В.В. Ширинкин / Вестник ПНУПУ. Машиностроение, материаловедение.–Пермь, 2015, Т.17, №2.–с.30-41.

- [2] Пасічник В.А. Забезпечення якості оброблення отворів комбінованими свердлами у деталях з ПКМ // В.А. Пасічник, Ю.І. Адаменко, Ю.Й. Бесарабець, С.О. Степаненко / Резание и инструмент в технологических системах, выпуск 85 Харьков НТУ «ХПИ» – 2015. с.233-246.
- [3] Гаврилова А.В. Повышение качества лезвийной обработки полимерных и композиционных материалов путем предварительного механического деформирования заготовок: диссертация. кандидата технических наук / Гаврилова А.В. – Хабаровск, 2009. – 159 с.
- [4] Marques A. T., Durão L. M., Magalhães A. G., Tavares J. M. Delamination Analysis of Carbon Fibre Reinforced Laminates// 16 – the International conference on composite materials. -Porto, 2007. -С. 1-10.
- [5] Криворучко Д.В. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор): монография [Текст] / Криворучко Д.В., Залога В.А., Колесник В.А. и др.; под общей ред. проф. В.А. Залоги. – Сумы : Университетская книга, 2013. – 272с.
- [6] Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3т. Т.1. – 8-е изд., Под ред. И.Н. Жестковой. –М.: Машиностроение, 2001.- 920 с.
- 
- Д.т.н., профессор Виталий Анатольевич Пасечник – заведующий кафедрой интегрированных технологий машиностроения НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». e-mail: vitaliy.pasichnyk@gmail.com
- Сергей Александрович Степаненко – аспирант кафедры интегрированных технологий машиностроения НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского». e-mail: sergej.stepanenko.91@mail.ru
- Украина, 03056, киев-56, пр-т Победы, 37. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»

# DIAGNOSTYCZNE METODY DETEKCCI WAD W POŁĄCZENIACH KLEJOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

## *Diagnostic methods defects detection in joints bonded composite materials*

Karol GROCHALSKI, Katarzyna PETA, Marcin WIŚNIEWSKI

**S t r e s z c z e n i e:** Podczas łączenia materiałów kompozytowych za pomocą spoin klejowych pojawia się problem z jednorodnym rozprowadzeniem warstwy kleju na powierzchni elementu, czego następstwem jest powstawanie defektów w strukturze spoiny i obniżenie czynnej powierzchni oddziaływania sił adhezji na łączone materiały. Zachodzi wówczas konieczność kontroli jakości połączenia pomiędzy powierzchniami klejonymi. Stosowanie bezkontaktowych metod diagnostycznych umożliwia analizę większej powierzchni badanej, co warunkuje wydajniejszy proces kontroli jakości. Porównano metody detekcji wad spoin klejowych, wykorzystujące aktywną termowizję w podczerwieni z różnymi rodzajami wymuszeń z obrazowaniem tomograficznym. Analiza metod diagnostycznych pozwoliła na przyspieszenie procesu kontroli jakości spoin dla danej grupy materiałów.

**S ł o w a k l u c z o w e:** montaż, diagnostyka, termowizja aktywna, tomografia komputerowa

**A b s t r a c t:** During the connection composite materials using glue weld there is a problem with a homogeneous distribution of the adhesive layer on the surface of the element, resulting in the formation of defects in the structure of the weld and reduce the active surface of the impact of adhesion forces the coupled material. There is the need to control the quality of the connection between the glued surfaces. The use of non-contact diagnostic methods enables the analysis of a larger area of the test which determines the efficient process quality control. Compared the methods of detection of defects of bonded joints using active thermography with different excitations types with tomographic imaging. Analysis of diagnostic methods made it possible to speed up the process for Quality Control of welds for the group of materials.

**K e y w o r d s:** assembly, diagnostics, active thermography, CT

### Wstęp

Zwiększanie wymagań jakościowych gotowych wyrobów wprowadza konieczność kontroli połączeń elementów, także połączeń klejowych części odpowiedzialnych za bezpieczeństwo użytkownika i bezawaryjność produktu.

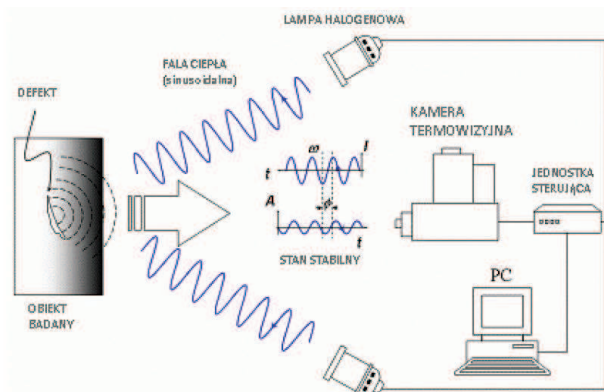
Klasyczne metody kontroli połączeń klejowych, oparte na diagnostyce ultradźwiękowej, umożliwiają punktowe sprawdzanie spoiny, a także wymagają bezpośredniego styku sondy pomiarowej z mierzonym elementem, co w przypadku powierzchni delikatnych jest niepożądane. Wprowadzenie optycznych metod diagnostycznych umożliwia kontrolę jakości połączeń klejowych w sposób bezkontaktowy, szybszy i obejmujący widok całej mierzonej powierzchni.

### Cel i metodyka badań

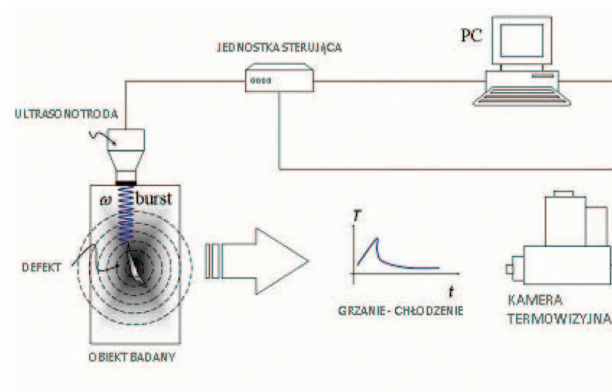
Celem pracy było porównanie bezkontaktowych metod detekcji wad spoiny klejowej. Przedstawiono metody optyczne, oparte na aktywnej termografii w podczerwieni, wykorzystującej m.in. wymuszenia optyczne (okresowo zmienne i impulsowe) oraz pobudzenia mechaniczne wysokiej częstotliwości generowane przez sonotrodę [8], [3]. W badaniach wykorzystano kamerę termowizyjną FLIR X6540sc oraz FLIR T620 wraz z oprogramowaniem FLIR ResearchIR MAX i IrNdt, współpracującym ze sterownikiem firmy Automation

Technology. Uzyskane rezultaty z analizy dystrybucji ciepła na powierzchni badanej porównano z wynikami z tomografu GE phoenix v|tome|x S 240. Metodę wykorzystującą tomograf należy uznać za metodę referencyjną z uwagi na możliwość detekcji wad w całej objętości spoiny bez względu na głębokość jej występowania oraz dokładność odwzorowania defektu [1], [4], [5]. Badaniu poddano klejone próbki kompozytowe z wadami występującymi w spoinie klejowej, znajdującej się pomiędzy łączonymi materiałami. Metodyka badań polegała na zastosowaniu zewnętrznego wymuszenia cieplnego. Wymuszenie termiczne generowano za pomocą lampy typu FLASH o energii impulsu do 6kJ (metoda Pulse) lub lampy halogenowej o mocy 2500 W (metoda LockIn) o regulowanej pod względem amplitudy i częstotliwości sygnału (rys. 1a). Drugi rodzaj pobudzenia wywołany został przez sonotrodę, generującą drgania mechaniczne wysokiej częstotliwości (rys. 1b) [2]. Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 2.

Obiektem badań były dwie płytki wykonane z materiału ABS oraz PVC. W płytce wykonanej z ABS (rys. 3a i 4) wykonano klejenie powierzchni na trzech głębokościach (1, 2 i 3 mm) względem powierzchni badanej, dodatkowo w wewnętrznej strukturze wykonano wady materiałowe w postaci otworów i szczelin znajdujących się na różnych głębokościach. Płytkę wykonaną z ABS została wytworzona metodą druku 3D. Próbkę przedstawiona na rysunku (rys. 3b i 5) składa się z dwóch płytek

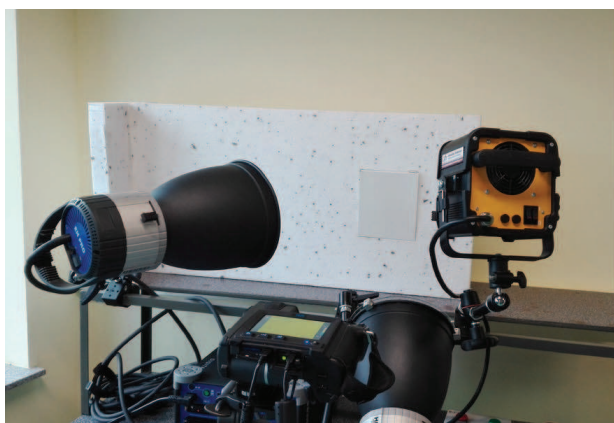


a)

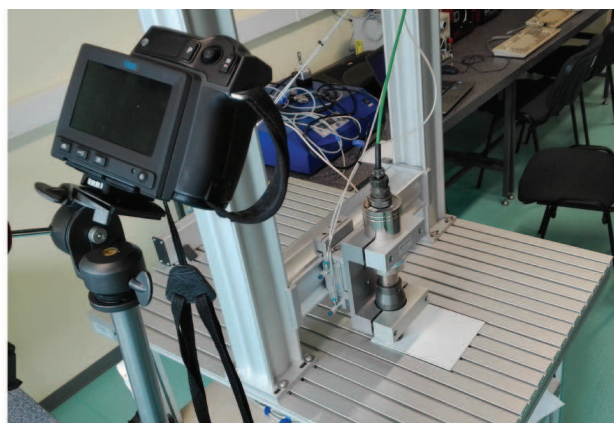


b)

Rys. 1. Metody wymuszeń termicznych: a) wymuszenie optyczne LockIn/Pulse, b) wymuszenie mechaniczne sonotrodą [2]  
 Fig. 1. Methods of thermal excitations: a) enforce optical Lockin/Pulse, b) mechanical extortion sonotrode



a)



b)

Rys. 2. Widok stanowiska badawczego: a) wymuszenie optyczne, b) wymuszenie mechaniczne sonotrodą  
 Fig. 2. View of test bench: a) optical force, b) extortion mechanical sonotrode



a)

b)

Rys. 3. Widok powierzchni pomiarowej badanych obiektów: a) płytka wykonana z ABS, b) próbka wykonana z PVC  
 Fig. 3. View tested objects: a) a plate made of ABS, b) the sample made of PVC

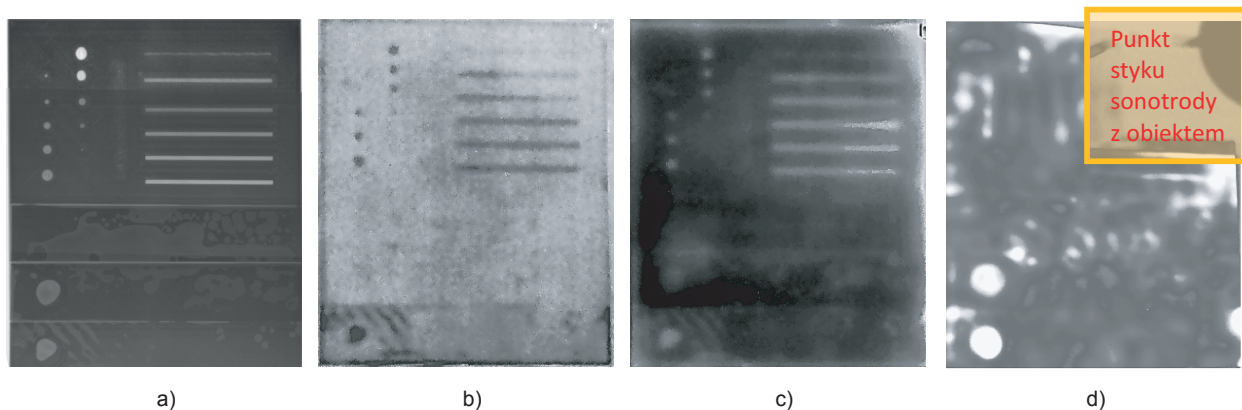
PVC o grubości 2 mm sklejonych ze sobą klejem poliuretanowym. W spoinę klejową wprowadzono pęcherzyki powietrza w celu symulacji wady połączenia.

### Analiza wyników

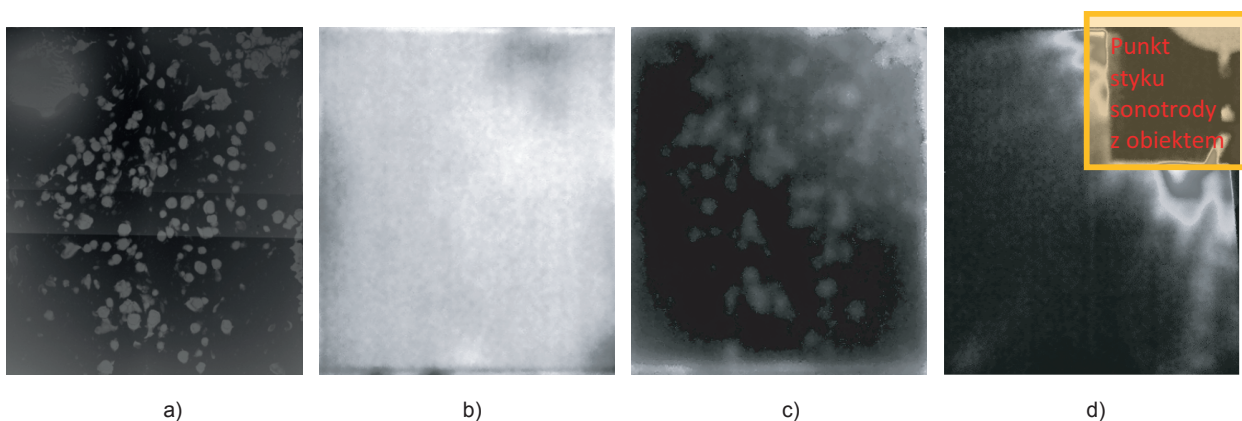
Zastosowane metody diagnostyczne pozwoliły na detekcję wad spoin klejowych oraz wad wewnątrz badanego materiału. Rysunki 4a i 5a prezentują obrazy wynikowe uzyskane metodami tomograficznymi, natomiast obrazy uzyskane za pomocą termowizji aktywnej prezentują rys. 4b, 4c, 4d oraz 5b, 5c, 5d.

Metoda wykorzystująca tomograf (będąca w niniejszej pracy metą odniesienia), pozwala na uzyskanie obrazu defektów spoiny klejowej i defektów wewnątrz materiału o najlepszej rozdzielczości geometrycznej spośród przedstawionych metod. Metoda ta pozwala na uzyskanie szczegółowego obrazu bez względu na materiał z jakiego został wykonany obiekt badany. Wadą metody jest konieczność umieszczenia próbki pomiędzy detektorem a emitorem oraz ograniczone wymiary badanego elementu.

Metody wykorzystujące termowizję aktywną pozwalają na diagnostykę spoin klejowych i detekcję wad materiałowych dużych powierzchni w sposób bezkontaktowy



Rys. 4. Obrazy uzyskane różnymi technikami pomiarowymi – płytka wykonana z ABS: a) obraz uzyskany z tomografu (referencyjny), b) metoda Pulse, c) metoda LockIn, d) wymuszenie sonotrodą  
 Fig. 4. Images obtained various measurement techniques – plate made of ABS: a) obtained from the CT image (reference) b) a method Pulse c) a method Lockin, d) enforce the sonotrode



Rys. 5. Obrazy uzyskane różnymi technikami pomiarowymi – płytka wykonana z PVC: a) obraz uzyskany z tomografu (referencyjny), b) metoda Pulse, c) metoda LockIn, d) wymuszenie sonotrodą  
 Fig. 5. Images obtained various measurement techniques – plate made of PVC: a) obtained from the CT image (reference) b) a method Pulse c) a method Lockin, d) enforce the sonotrode

i szybki. Jakość odwzorowania występującego defektu maleje wraz ze wzrostem głębokości jego występowania. Ważnym aspektem jest także dobór właściwej metody diagnostycznej i parametrów wymuszenia do rodzaju materiału z jakiego wykonany został badany obiekt.

W metodzie termowizyjnej najlepsze odwzorowanie geometrycznych defektów w spoinie klejowej dla próbki wykonanej z ABS i PVC umożliwiła metoda LockIn., która miała dłuższy czas oddziaływania fali cieplnej na badany obiekt. W badaniu wykorzystano wymuszenie sinusoidalne o częstotliwości 0,5 Hz z amplitudą od 0 do 100% mocy lampy i czasie oddziaływania fali ciepła 20 s [6].

Metoda Pulse pozwoliła uzyskać obraz umożliwiającą detekcję wad spoiny klejowej w przypadku próbki wykonanej z ABS. Metoda ułatwiła detekcję dużych płytko umiejscowionych defektów.

Metoda wykorzystująca sonotrodę pozwoliła uzyskać wyraźne obrazy defektów oraz niespójności spoiny klejowej dla materiału o większej twardości i mniejszej absorpcji drgań. Z uwagi na metodę wykonania próbki z ABS

za pomocą druku 3D występowało zjawisko rozdzielania poszczególnych warstw nakładanego filamentu, powodujące niespójności w objętości próbki. Występujący pomiędzy naniesionymi warstwami rezonans generujący miejscowy wzrost temperatury widoczny na termogramie (rys. 4d), można definiować jako potencjalne miejsce uszkodzenia lub delaminacji w przypadku materiału kompozytowego [7].

## Wnioski

Na podstawie badań stwierdzono, że najlepsze odwzorowanie defektów wewnątrz materiałowych oraz wad spoiny klejowej uzyskuje się z badań tomograficznych. Metoda termowizji aktywnej pozwoliła na uzyskanie wynikiem mniejszej jakości odwzorowania geometrycznego. W metodzie wykorzystującej termowizję aktywną za najlepsze wymuszenie należy przyjąć pobudzenie optyczne o okresowo zmiennej charakterystyce wymuszeń i długim czasie oddziaływania emitowanego ciepła. Do wad

metody termowizyjnej w diagnostyce defektów spoin klejowych należy zaliczyć ograniczenie dotyczące głębokości wykrywania defektu oraz dobór właściwego rodzaju wymuszenia do danej grupy badanych materiałów.

#### LITERATURA

- [1] Ekanayake S. et. al. 2017. „CT applied as a reference technique for evaluating active lock-in thermography in characterizing CFRP impact damage test samples”, 7th Conference on Industrial Computer Tomography”, Leuven, Belgium.
- [2] <http://www.visioimage.com>, dostęp 02.2017 r.
- [3] Kostowski E. 2006. „Przepływ ciepła”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [4] Liang T. et. al. 2016. “Low energy impact damage detection in CFRP using eddy current pulsed thermography”. *Composite Structures*, Vol. 143: 352–361.
- [5] Liu J. et. al. 2015. „Study on lock-in thermography defect detectability for carbon-fiber-reinforced polymer (CFRP) sheet with subsurface defects”. *International Journal of Thermophysics*, Vol. 36(5-6): 1259–1265.
- [6] Szczepanik M. i in. 2008. „Wykorzystanie systemów termowizyjnych do badań materiałów polimerowych”. *Modelowanie Inżynierskie T. 5 (36)*: 279–286.
- [7] Szczygieł I. 2013. „Konwekcyjny przepływ ciepła”. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [8] Więcek B., G. De Mey. 2011. „Termowizja w podczerwieni. Podstawy i zastosowania”. Wydawnictwo PAK.

---

mgr inż. Karol Grochalski – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań, e-mail: karol.p.grochalski@doctorate.put.poznan.pl

mgr inż. Katarzyna Peta – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: katarzyna.peta@put.poznan.pl

dr inż. Marcin Wiśniewski – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: marcin.wisniewski@put.poznan.pl

# WPLYW GRUBOŚCI WARSTWY KLEJU NA SZTYWNOŚĆ SPOINY W POŁĄCZENIU DOCZOŁOWYM METAL-METAL

## *Influence of adhesive layer thickness on joint rigidity in metal-metal butt joint*

Józef KUCZMASZEWSKI, Kamil ANASIEWICZ

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań, mające na celu określenie zmian sztywności kleju epoksydowego w zależności od grubości spoiny klejowej. W połączeniach klejowych metali, w strefie przyściennej klejonych elementów, występuje cienka warstwa o odmiennych właściwościach względem rdzenia spoiny. W spoinach o niewielkiej grubości istotny może być wpływ właściwości strefy przyściennej na uogólnioną wartość modułu Younga. Wraz ze wzrostem grubości spoiny znaczenie tej strefy i pozornego modułu Younga, kształtowanego w wyniku specyficznego porządkowania struktury po wpływie pola sił warstwy przyściennej metalu, powinno zanikać na rzecz wartości podstawowej modułu Younga, charakterystycznej dla materiału kleju. Przedstawiono wyniki badań wytrzymałości połączenia klejowego, wykazujące spadek wytrzymałości na rozciąganie połączenia doczołowego wraz ze wzrostem grubości spoiny. Spadek wytrzymałości połączenia częściowo jest związany z regresją wartości modułu Younga w spoinach o większej grubości. Ma to także związek z występowaniem wad struktury, takich jak pęcherze gazowe, rzadzizny, które mogą intensyfikować wpływ grubości skleiny na jej wytrzymałość.

**Słowa kluczowe:** pozorny moduł Younga, adhezja, kohezja, połączenie klejowe

**Abstract:** Article presents research aimed to determine changes in stiffness of epoxy adhesive depending on adhesive layer thickness. In metal-metal adhesive joints, in boundary zone of bonded elements occurs thin layer of adhesive with different properties compared to the core of the joint. In joints of small thickness contribution of properties of boundary zone in generalized value of Young's Modulus might be highly essential. With the increase of joint thickness influence of apparent Young's modulus, formed in the result of specific structure ordering caused by field force of metal boundary zone, should decline in favor for basic value of Young modulus, characteristic for the adhesive material. Results of tensile strength tests were shown, indicating decrease of tensile strength in reference to increase of joint thickness. Decrease of adhesive joint tensile strength is associated with reduction of Young's modulus value in joints of higher thickness. Change is related with occurrence of structural defects, such as gas bubbles, looseness, which might intensify influence on tensile strength with the increase of thickness of adhesive joint.

**Key words:** apparent Young's modulus, adhesion, cohesion, adhesive joint

### Wstęp

Rodzaj i gatunek materiału klejonego w złączu klejowym, pomimo odpowiednio dobranego kleju, może mieć znaczący wpływ na charakterystykę zaprojektowanego złącza. Szczególnie w połączeniach klejowych metali, klejona powierzchnia silnie oddziałuje na cząsteczki kleju w trakcie utwardzania spoiny. Takie oddziaływanie sprawia, że w strefie przyściennej klej charakteryzuje się innymi właściwościami w stosunku do kleju pozbawionego kontaktu z metalem w trakcie utwardzania. Cienka warstwa charakteryzuje się właściwościami innymi niż rdzeń spoiny [2, 3]. W dotychczasowych badaniach zaobserwowano umocnienie się kleju, które skutkowało zwiększeniem wartości modułu Younga [3]. Zmiana wartości modułu Younga w strefie przyściennej, w stosunku do wartości określonej w badaniach samego kleju w stanie utwardzonym, nazywana jest pozornym modułem Younga. Określenie wartości pozornego modułu Younga oraz wyznaczenie głębokości zalegania umocnienia w spoinie może być ważnym elementem w procesie projektowania i przewidywania wytrzymałości połączeń klejowych [1].

Zjawisko specyficznego porządkowania struktury w obszarze granicy faz metal – klej ściśle związane jest ze zjawiskiem adhezji, zwłaszcza z oddziaływaniem pola

sił elektrostatycznych. Powierzchnie łączonych elementów i kleju przyciągają się do siebie dzięki działaniu sił elektrostatycznych. Przechodzenie elektronów z jednego materiału w drugi prowadzi do powstania podwójnej warstwy elektrycznej, a zjawisko to prowadzi do powstania połączenia adhezyjnego i odpowiada za jego odporność na rozdzielenie. Adsorpcyjna teoria adhezji związana jest z oddziaływaniami fizykochemicznymi na granicy faz. Adsorpcja fizyczna zachodzi w przypadku oddziaływania sił dipolowych, indukcyjnych oraz dyspersyjnych na granicy faz. Adsorpcja chemiczna zachodzi, gdy powstają wiązania chemiczne, najczęściej przez uwspólnianie pary elektronów. Zazwyczaj adsorpcja chemiczna i fizyczna występują jednocześnie [4, 5]. Zgodnie z przedstawionymi zjawiskami na granicy faz łączonych materiałów występuje szereg sił i oddziaływań silnie wpływających na właściwości połączenia. Pomimo mikroskali tych oddziaływań dla spoin o małej grubości, mogą one mieć istotny wpływ na wytrzymałość połączenia klejowego.

### Metodyka badań

W pracy podjęto analizę wytrzymałości połączeń klejowych na odrywanie w zakresie niskich wartości grubości skleiny. Przy takich wartościach grubości wyraźnie



może uwidocznic się wpływ porządkowania się struktury na wartość wytrzymałości. Można przypuszczać, że zwłaszcza w badaniach na odrywanie zjawisko to może wystąpić w zauważalny sposób. Po przekroczeniu pewnej wartości grubości skleiny o wytrzymałości zacząć decydować także właściwości rdzenia skleiny, odmienne od tych z bezpośredniej strefy przylegającej do metalu, a także ewentualne nieciągłości struktury z tej strefy.



Rys. 1. Badane próbki stalowe łączone klejowymi spoinami doczołowymi

Fig. 1. Tested steel samples bonded with adhesive butt-joints

Próbki prostopadłościennne, z materiału C45, o przekroju poprzecznym 16×10 mm, klejono doczołowo klejem Epidian 57/Z1 (żywica epoksydowa utwardzana trietylenotetraaminą – Z1), w stosunku masowym 100:10. Masę klejową po wymieszaniu odgazowano w komorze próżniowej, a rys. 1. przedstawia badane próbki.

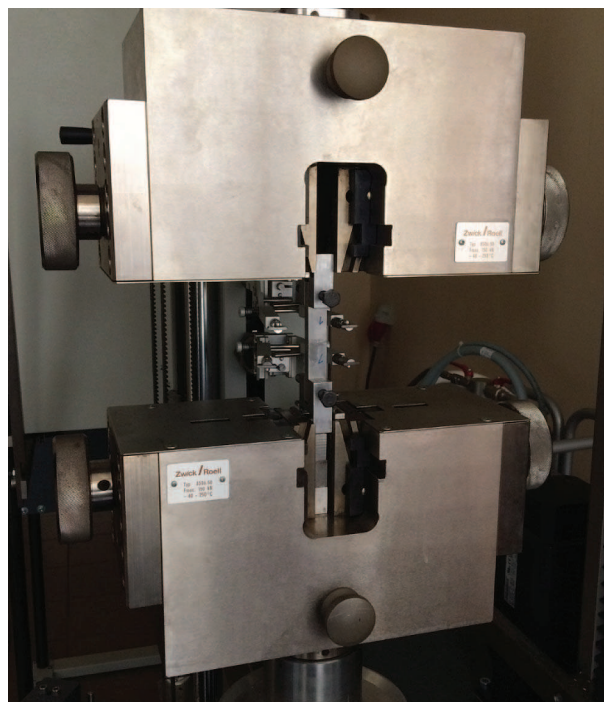
Powierzchnię próbek przed klejeniem przygotowano przez szlifowanie płótnem ściernym o ziarnistości 320. Szlifowanie prowadzono w sposób nieukierunkowany przez 2 minuty, zapewniając płaskość powierzchni czołowej próbki oraz jej prostopadłość względem kierunku rozciągania. Przygotowaną powierzchnię płaskowników odtłuszczono środkiem odtłuszczającym Loctite 7063. Połączenie wykonano w temperaturze otoczenia 18–20°C, przy wilgotności względnej 38–40%. Żywicę epoksydową utwardzano jednostopniowo w temperaturze pokojowej przez 7 dni, przy zastosowaniu jednorodnego nacisku ok. 0,1 MPa na wszystkich próbkach. Badania wytrzymałościowe na rozciąganie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150, zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 15870:2009 [6]. Przygotowano 4 typy próbek o zróżnicowanych grubościach spoin. Uśrednione wartości grubości spoin przedstawiono w tab. 1.

Dla każdej grubości spoiny przygotowano 5 próbek. Próbę wytrzymałościową przeprowadzono przy użyciu makroekstensometru, co miało na celu badanie

Tabela. 1. Zestawienie średnich grubości badanych spoin klejowych

Table. 1. Summary of average thickness of tested adhesive joints

Nr próbki	Grubość spoiny [mm]
1	0,01
2	0,05
3	0,08
4	0,12



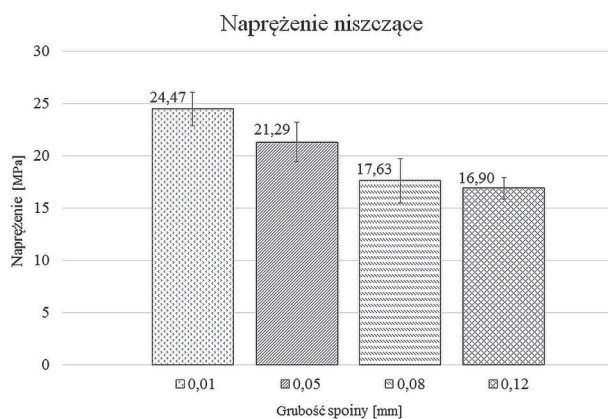
Rys. 2. Stanowisko badawcze z próbką zamontowaną w szczękach

Fig. 2. Test rig with specimen mounted in clamps

odkształcenia spoiny. Przyjęto odcinek początkowy pomiędzy szczękami makroekstensometru równy 30 mm. Aby wyeliminować wydłużenie płaskowników stalowych, przeprowadzono próbę rozciągania próbek stalowych bez spoin w analizowanym zakresie obciążeń. Przeprowadzenie próby rozciągania dla materiału łączonych elementów pozwoliło również na wyeliminowanie niekorzystnego wpływu układu mocowania próbek w maszynie wytrzymałościowej. Układ napięto siłą wstępną wynoszącą 200 N, a następnie obciążono z prędkością 1 mm/min, aż do zniszczenia spoiny klejowej. Na rys. 2 pokazano stanowisko badawcze z zamontowaną próbką.

## Wyniki badań

Rezultaty przeprowadzonych badań rozciągania próbek przedstawiono na wykresie zbiorczym, rys. 3 przedstawia uśrednione wartości z pięciu prób rozciągania dla czterech typów próbek o różnych grubościach spoin.



Rys. 3. Zestawienie średnich wartości naprężeń niszczących w zależności od grubości klejowej spoiny doczołowej  
Fig. 3. Summary of average values of maximum stresses in dependence of adhesive butt joint thickness

Należy zauważyć, że dla grubości skleiny  $g_k = 0,08$  mm i  $0,12$  mm, wartość wytrzymałości wyraźnie maleje, ale także stabilizuje się w stosunku do  $g_k = 0,01$  mm i  $0,05$  mm. Może to świadczyć o znajdowaniu się granicy wpływu porządkowania struktury w strefie przyściennej w przedziale  $0,05$  mm– $0,08$  mm.



Rys. 4. Powierzchnie zniszczenia spoin klejowych przedstawione zależnie od ich grubości  
Fig. 4. Fracture surface of adhesive joints shown depending on their thickness

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe powierzchnie zniszczenia klejowych spoin doczołowych o zróżnicowanej grubości. Spoiny o najmniejszej grubości  $g_k = 0,01$  mm zniszczono w pełni kohezynie. Wraz ze zwiększaniem grubości spoiny od  $g_k = 0,05$  i powyżej zmienia się typ zniszczenia połączenia. W grubszych spoinach można zauważyć zniszczenie adhezyjno – kohezyjne oraz zniszczenie adhezyjne z oderwaniem warstwy kleju.

Charakterystyka powierzchni przelomów może także potwierdzać sformułowaną wcześniej hipotezę o zauważalnym wpływie porządkowania struktury w strefie przyściennej na wytrzymałość na odrywanie połączeń

klejowych. Zwiększenie sztywności materiału w tej strefie jest wynikiem specyficznej orientacji segmentów makrocząsteczek lub całych cząsteczek w kierunku silnie oddziaływującej powierzchni metalu.

## Wnioski

Analiza wyników eksperymentu pozwala na sformułowanie następujących wniosków i uwag o charakterze ogólnym:

- 1) Wyższa wartość wytrzymałości na rozciąganie spoiny klejowej o grubości  $g_k = 0,01$  mm i  $0,05$  mm w stosunku do grubości  $g_k = 0,08$  mm i  $g_k = 0,12$  mm może być ściśle związana z umocnieniem się spoiny w obszarze strefy przyściennej.
- 2) Połączenia klejowe z przedziału  $g_k < 0,05$  mm przede wszystkim miały charakter kohezyny, co świadczy o dobrej adhezji metal-klej, a także o umocnieniu warstwy kleju, nieobejmującej całej grubości skleiny. Nieuporządkowany strukturalnie rdzeń skleiny jest w tym przypadku słabym ogniwem w połączeniu.
- 3) Uwzględnienie zwiększonej wartości modułu Younga cienkich spoin wpłynie na poprawę dokładności projektowania połączeń klejowych.
- 4) Głębokość zalegania umocnienia w spoinie o małej grubości musi być określona w dalszych badaniach, a problem jest istotny zwłaszcza w aspekcie prognozowania wartości wytrzymałości takich połączeń.

## LITERATURA

- [1] Adams R.D. 1984. "Structural Adhesive Joints In Engineering". Elsevier Applied Science Publishers. London and New York.
- [2] Afendi M., T. Teramoto, H. Bin Bakri. 2011. "Strength prediction of epoxy adhesively bonded scarf joints of dissimilar adherends". *International Journal of Adhesion & Adhesives* (31): 402–411.
- [3] Anasiewicz K., J. Kuczmaszewski. 2016. „Pozorny moduł Younga klejów epoksydowych w połączeniu klejowym metali”. *Przegląd Spawalnictwa* (9): 131–134.
- [4] Ebnasajjad S. 2008. "Adhesives Technology Handbook". Wyd. II. Norwich, William Andrew.
- [5] Kuczmaszewski J. 1995. „Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali”. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej.
- [6] PN-EN 15870:2009 Kleje – Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie połączeń czołowych.

prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski – Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.kuczmaszewski@pollub.pl

mgr inż. Kamil Anasiewicz – Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: k.anasiewicz@pollub.pl

# BADANIA KLEJÓW WYKORZYSTYWANYCH W PRÓBACH STOISKOWYCH KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

## *Research of adhesives used in the stand tests of aircraft structures*

Marek ROŚKOWICZ, Sławomir TKACZUK, Piotr LESZCZYŃSKI

**Streszczenie:** W pracy zaprezentowano rezultaty badań własnych, których celem była analiza porównawcza nośności uchwytów, wykorzystywanych jako węzły układu obciążającego płatowce statków powietrznych w próbach stoiskowych. Uchwyty wykonywane z tkanin są przyklejane do pokrycia płatowca w czasochłonnym i pracochłonnym procesie technologicznym. Zaproponowano zastąpienie stosowanego obecnie kleju rozpuszczalnikowego Butapren innym rodzajem kleju oraz jednocześnie uproszczenie i skrócenie procesu naklejania uchwytów. Z pozoru trywialne zadanie okazało się jednak problemem złożonym, ponieważ spoiny połączeń klejowych narażone są na najmniej pożądany przypadek ich obciążenia, tzn. oddzieranie oraz dostępne na rynku aplikacje klejowe cechuje znacznie dłuższy czas sieciowania od czasów deklarowanych przez producentów.

**Słowa kluczowe:** połączenia klejowe, wytrzymałość połączeń na odrywanie, próby stoiskowe

**Abstract:** The paper presents the results of their own research, whose aim was comparative analysis of the capacity of the handles used as nodes of the loading system of aircraft airframes in the stand tests. Handles made of fabric are adhered to the airframe skin in a time consuming and laborious process. It is proposed to replace the currently used solvent adhesive Butapren with another type of adhesive and at the same time to simplify and shorten the process of attaching handles. A seemingly trivial task, however, turned out to be a complex problem, because adhesive joints are exposed to the least desirable case of load, i.e. detaching and the commercially available adhesive application has a much longer cure time than the time declared by the manufacturers.

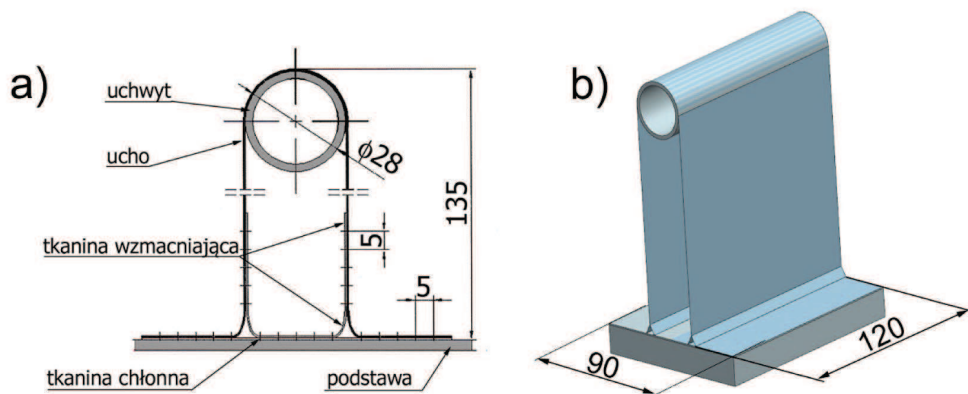
**Keywords:** adhesive joints, detaching of joint strength, stand tests

### Wstęp

Stoiskowe badania wytrzymałościowe statków powietrznych przeprowadzane są w celu uzyskania informacji o odkształceniach konstrukcji płatowca oraz danych dotyczących sztywności poszczególnych jej elementów. Płatowiec statku powietrznego w trakcie prób wytrzymałościowych jest poddawany obciążeniom zewnętrznym ekwiwalentnym obciążeniom występującym w trakcie jego eksploatacji, m.in. w locie, podczas lądowania, z wykorzystaniem układu nadciśnienia kabiny, itd. Elementami obciążającymi, stosowanymi obecnie są najczęściej siłowniki hydrauliczne, mocowane do nośnych elementów stanowiska (tzw. klatki) [5]. Trudność zaprojektowania układu obciążającego polega na zamianie sił skupionych generowanych przez siłowniki układu obciążającego na obciążenie ciągłe, wynikające z działania na konstrukcję sił aerodynamicznych. Stan wyłączenia konstrukcji jest realizowany za pomocą układu belek, cięgien, obejm i uchwytów. Obecnie bardzo często wykorzystuje się uchwyty wykonane z tkanin, przyklejanych do pokrycia płatowca. Zaletą tego rozwiązania jest łatwość dopasowania uchwytów do krzywizn płatowca i nieinwazyjna technologia ich montażu. Trudnością natomiast jest zapewnienie odpowiedniej wytrzymałości połączenia klejowego uchwytu oraz konieczność jego odklejenia po zakończeniu badań [4].

Najczęściej do połączenia uchwytu z płatowcem wykorzystuje się kleje z grupy klejów rozpuszczalnikowych, m.in. dlatego, że umożliwiają one późniejsze łatwe odklejenie uchwytu [2]. Niestety zalecany do stosowania klej typu Butapren wymaga dokładnego przygotowania powierzchni (wielokrotne przemywanie acetonem i szorstkowanie) oraz długiego czasu potrzebnego do osiągnięcia wymaganej wytrzymałości połączenia klejowego (aż 14 dni w celu całkowitego odparowania rozpuszczalnika). Biorąc pod uwagę liczbę uchwytów oraz czas przygotowania powierzchni pod każdy uchwyt, wykonanie systemu uchwytów staje się zadaniem pracochłonnym i czasochłonnym, a przez to również kosztownym. Dodatkowo zerwanie uchwytu w czasie wykonywania nadzorowanych prób powoduje istotne trudności organizacyjne (konieczność przerwania próby, ponowne naklejenie uchwytu, proces przygotowania kolejnej próby nie wcześniej niż za 14 dni).

Celem wykonanych badań było zastąpienie dotychczas stosowanego kleju typu Butapren innym rodzajem kleju. Założono, że proponowany zamiennik powinien uprościć proces przygotowania powierzchni do klejenia (przygotowanie powierzchni klejonych ograniczone zostanie tylko do odłuszczenia powierzchni) oraz czas jego utwardzania powinien być znacznie krótszy. Założono również, że wytrzymałość połączenia klejowego po zastosowaniu zamiennika nie powinna być mniejsza od dotychczas stosowanych rozwiązań.



Rys. 1. Elastyczny uchwyt stosowany w próbach stoiskowych: a) schemat węzła, b) widok 3D  
 Fig. 1. Flexible handle used in the stand tests: a) handle scheme, b) 3D view

### Obliczenia numeryczne

W celu określenia rozkładu obciążeń występujących w połączeniu klejowym pojedynczego węzła montażowego wykonano obliczenia numeryczne. Budowa uchwytu oraz sposób jego obciążenia w idealnych warunkach wskazuje na występowanie zjawiska odrywania. Jednakże w przypadku uchwytu wykonanego z tkaniny należy przypuszczać, że połączenie jest obciążone również na oddzieranie [3].

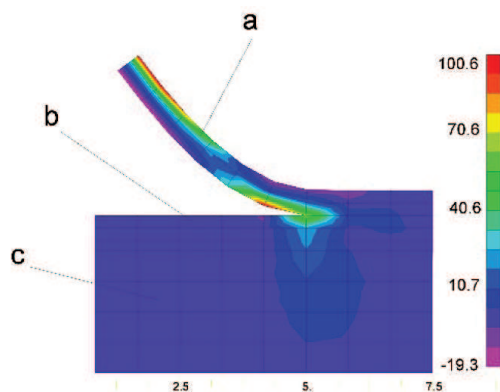
Uchwyty wykonano z trzech kawałków materiału: pierwszy wykonany jest z chłonnej tkaniny i tworzy powierzchnię przylegającą do powierzchni pokrycia o wymiarach 120 × 90 mm. Zastosowanie chłonnego materiału ma na celu zwiększenie możliwości absorpcji kleju, a co za tym idzie polepszenie właściwości adhezyjnych połączenia klejowego. Pozostałe elementy (ucho i wzmocnienie) wykonano z brezentu o wysokiej wytrzymałości. Wszystkie elementy uchwytu zszyte są ze sobą nićmi w postaci pięciu rzędów szwów wykonanych równolegle do dłuższej krawędzi uchwytu (rys. 1).

W modelu dyskretnym przyjęto grubość przyklejanej tkaniny równą  $g_m = 0,5$  mm i grubość spoiny  $g_s = 0,2$  mm. Analizę numeryczną w środowisku Nastran, przyjmując następujące warunki brzegowe w zakresie obciążenia – siła o wartości 1 kN skierowana wzdłuż jednego z boków ucha, w zakresie utwierdzenia warunki odpowiadały warunkom montażu uchwytu. Zdefiniowano również następujące parametry wytrzymałościowe wykorzystywanych materiałów: moduł Younga i liczba Poissona dla tkaniny równe odpowiednio  $E = 50$  MPa i  $\nu = 0,4$ , dla kleju  $E = 500$  MPa i  $\nu = 0,35$ , dla blachy  $E = 72000$  MPa i  $\nu = 0,3$ .

Na rys. 2 przedstawiono rozkład maksymalnych naprężeń głównych w analizowanym modelu. Największe wartości naprężeń występują w miejscu, w którym pasy brezentu tworzące ucho łączą się pasem przyklejonym do powierzchni pokrycia. W tym miejscu obciążenie z uchwytu jest „przekazywane” przez zszyte ze sobą elementy ucha i tkaniny wzmacniającej m.in. do spoiny połączenia klejowego.

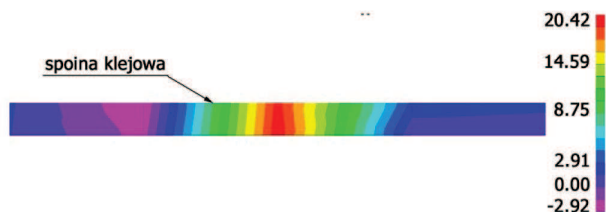
Rozkład maksymalnych naprężeń głównych występujących w samej spoinie klejowej przedstawiono na rys. 3.

Widoczne jest nierównomierne rozłożenie naprężeń wzdłuż długości uchwytu. Najbardziej wyężoną strefą spoiny jest część spoiny w pobliżu szwów łączących poszczególne elementy uchwytu. Występowanie lokalnego spiętrzenia naprężeń wskazuje na to, że spoina klejowa jest również obciążona na oddzieranie.



Rys. 2. Rozkład maksymalnych naprężeń głównych w analizowanym fragmencie modelu: a) tkanina chłonna, b) warstwa kleju, c) podstawa

Fig. 2. Distribution of the maximum principal stresses in the analyzed fragment of model: a) absorptive fabric, b) adhesive layer, c) stand



Rys. 3. Rozkład maksymalnych naprężeń głównych w spoinie klejowej

Fig. 3. Distribution of the maximum principal stresses in the adhesiveweld

Tabela 1. Właściwości badanych klejów rozpuszczalnikowych  
Table 1. Properties investigated of solvent-based adhesives

Klej	Czas wstępnego utwardzania	Czas pełnego utwardzania	Temperatura aplikacji [°C]
Butapren	2 h	24 h	18...25
Boll	1 h	ok. 7 dni	5...35
Terokal	3 h	24 h	15...25
Scotch Weld	0,5 h	24 h	18...49

Dlatego też do badań eksperymentalnych należało wyselekcjonować kleje jak najmniej podatne na zjawisko oddzierania [1].

### Badania eksperymentalne

W badaniach wykorzystano klej Butapren firmy Dragon, stosowany obecnie do mocowania uchwytów do powierzchni pokrycia jako materiał referencyjny oraz trzy kleje, których właściwości, wg danych producentów, wskazują na możliwość ich zastosowania w proponowanym rozwiązaniu. Charakteryzują je krótkie czasy wstępnego wiązania, a ponadto wszystkie tworzą elastyczne spoiny mało podatne na zjawisko oddzierania, są odporne na promieniowanie UV, wilgoć oraz zjawisko pelzania. W tab. 1 przedstawiono podstawowe parametry katalogowe stosowanych materiałów.

Próbki do badań zostały wykonane wg następującej technologii:

- 1) Odtłuszczenie acetonem powierzchni do klejenia.
- 2) Zagruntowanie klejonych powierzchni cienką warstwą kleju i pozostawienie ich do czasu odparowania rozpuszczalnika (wstępne „wyschnięcie” kleju).
- 3) Ponownie pokrycie klejonych powierzchni cienką warstwą kleju. Po odparowaniu rozpuszczalnika powierzchnie zostały dociśnięte przez ok. minutę. Dodatkowo wałkiem usuwano pęcherzyki powietrza.
- 4) Przyklejone uchwyty pozostawiono na 4 dni do całkowitego odparowania rozpuszczalnika.

W pierwszym etapie wykorzystano próbki symetryczne, składające się z blachy wykonanej ze stopu o grubości 1 mm, do której z obydwu jej stron symetrycznie przyklejono uchwyty materiałowe. W celu określenia wytrzymałości spoin klejowych próbki uchwytów zostały poddane rozciąganiu w maszynie wytrzymałościowej HT-2402. Za zniszczenie połączenia klejowego uznano moment wyraźnego i gwałtownego

spadku obciążenia lub moment widocznego oderwania uchwytu od powierzchni blachy. W trakcie wykonywania testów eksperymentalnych okazało się, że niemożliwe jest uzyskanie symetrycznego obciążenia próbki, a zdeformowana blacha „pogłębiała” efekt nierównomiernego wyężenia próbki. Otrzymane wyniki nośności połączeń o wartościach poniżej oczekiwanego poziomu zaprezentowano w tab. 2.

W drugim etapie badań zastosowano próbkę składającą się z blachy ze stopu 2024Ta o grubości 3 mm, zapewniającą odpowiednią dla struktury półskorupowej sztywność i przyklejonego do niej z jednej strony uchwytu. Ponieważ już w pierwszym etapie badań próbki, w których zastosowano klej Butapren i klej Boll, cechowała niewielka nośność, w drugim etapie wykorzystano tylko kleje Terokal i Scotch Weld. Otrzymane wyniki badań próbek jednostronnych zamieszczono w tab. 3.

Próbki w których zastosowano klej Terokal uległy zniszczeniu przy wartościach obciążenia znacznie przekraczających założoną wartość 1 kN (średnio powyżej 50% od przyjętego kryterium zniszczenia). Dodatkowo otrzymane wyniki cechował mniejszy rozrzut. Wyniki testów niszczenia próbek, w których stosowano klej Scotch-Weld, okazały się mniej obiecujące. W przypadku tylko jednej próbki wartość obciążenia niszczącego przekroczyła założoną granicę 1 kN.

Tabela 2. Nośność próbek symetrycznych  
Table 2. Load capacity of symmetric samples

Klej	Nośność [N]	Klej	Nośność [N]	Klej	Nośność [N]	Klej	Nośność [N]
Butapren	26	Boll	162	Terokal 2444	420	Scotch Weld	380
	30		151		770		570
	18,5		186		765		520
	0		360		590		-

Tabela 3. Wyniki badań eksperymentalnych próbek jednostronnych  
Table 3. Results of experimental tests of unilateral samples

Klej	Długość oddzieranej nakładki [m]	Nośność [N]	Wytrzymałość na oddzieranie [kN/m]
Terokal 2444	0,10	1490	14,90
	0,115	1730	15,04
	0,12	2050	17,08
	0,12	1750	14,58
	0,12	1630	13,58
Scotch Weld	0,155	990	6,39
	0,160	1100	6,88
	0,12	250	2,08
	0,12	560	4,67
	0,12	630	5,25

## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i wykonanych testów eksperymentalnych stwierdzono, że:

- w analizowanym węźle montażowym występuje najmniej pożądany przypadek obciążenia spoiny klejowej – oddzieranie,
- założone kryteria uproszczenia sposobu przygotowania powierzchni klejonej (tylko przez jej odtłuszczenie) oraz skrócenia czasu przygotowania spoiny klejowej o 70% – z 14 do 4 dni – okazały się bardzo trudne do spełnienia z wykorzystaniem dostępnych na rynku aplikacji klejowych,
- z otrzymanych rezultatów badań wynika, że jedynie zastosowanie kleju Terokal 2444 umożliwiło przygotowanie węzła montażowego spełniającego przyjęte kryterium nośności.

## LITERATURA

- [1] Cagle Ch.V. 1977. „Kleje i klejenie”. Warszawa: WNT.
- [2] Czaplicki J. i in. 1987. „Klejenie tworzyw konstrukcyjnych”. Warszawa: WKŁ.

- [3] Godzimirski J., M. Rośkowicz, S. Tkaczuk. 2010. „Wytrzymałość połączeń klejowych”, Warszawa: WAT.

- [4] Harris, Franklin D. 2011. “Introduction to autogyros, helicopters, and other V/SToI aircraft”. NASA.

- [5] Stafiej W. 2000. „Obliczenia stosowne przy projektowaniu szybowców”. Politechnika Warszawska.

---

dr hab. inż. Marek Rośkowicz – Instytut Techniki Lotniczej, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: marek.roskowicz@wat.edu.pl

dr inż. Sławomir Tkaczuk – Instytut Techniki Lotniczej, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: slawomir.tkaczuk@wat.edu.pl

dr inż. Piotr Leszczyński – Instytut Techniki Lotniczej, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: piotr.leszczynski@wat.edu.pl

# WYBRANE ASPEKTY WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLACHY STALOWEJ KWASOODPORNEJ 1.4310

## *Selected aspects of bonded joint strength of 1.4310 acid resistant steel sheet*

Anna RUDAWSKA, Norbert OLESZEK

**Streszczenie:** Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie wytrzymałości jednozakładkowych połączeń klejowych, wykonanych z blachy stalowej kwasoodpornej 1.4310 o grubości 1 mm. Powierzchnie próbek wykonanych z blach przed procesem klejenia poddano przygotowaniu poprzez obróbkę mechaniczną z użyciem papierów ściernych P320 oraz P800 w celu uzyskania różnych chropowatości powierzchni. Po obróbce mechanicznej powierzchnie zostały odtłuszczone środkiem odtłuszczającym Loctite 7063. W celach porównawczych przygotowano referencyjne połączenia klejowe, w których powierzchnie łączących elementów nie poddano obróbce mechanicznej, ale zastosowano odtłuszczenie. Przed procesem klejenia dokonano pomiarów wybranych parametrów chropowatości powierzchni. Do wykonania połączeń zastosowano dwa rodzaje klejów epoksydowych dwuskładnikowych – Epidian 62/IDA/100:40 oraz Epidian 62/TFF/100:27. Proces utwardzania został przeprowadzony jednostopniowo na zimno w temperaturze od 20°C do 23°C, przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej od 30% do 33%, w czasie 7 dni. Badania wytrzymałościowe połączeń klejowych na ścinanie przeprowadzono zgodnie z normą EN DIN 1465. Na podstawie analizy porównawczej otrzymanych rezultatów stwierdzono, że do łączenia blach ze stali kwasoodpornej korzystne jest zastosowanie kleju Epidian 62/IDA/100:40 oraz obróbki ścierniej powierzchni papierem ściernym o gradacji P800 wraz z odtłuszczeniem.

**Słowa kluczowe:** wytrzymałość, połączenie klejowe, wytrzymałość, blacha stalowa kwasoodporna

**Summary:** The aim of the study was to determine the strength single-lap adhesive joints made of 1.4310 acid resistant steel sheets with a thickness of 1 mm. The surface samples before the bonding process has been prepared by machining using sandpaper P320 and P800 to obtain different surface roughness. After machining, the surfaces were degreased Loctite 7063 degreasing agent. The reference adhesive joints were prepared and the adherends surfaces were only degreasing. Before the bonding process, the measurements of selected parameters of surface roughness were performed. Two kinds of two-component epoxy adhesives: Epidian 62/IDA/100:40 and Epidian 62/TFF/100:27 were used to prepare bonded joints. The curing process in one stage in the cold at a temperature of 23°C to 20°C, and relative humidity of from 30% to 33% for 7 days was carried out. Shear strength tests of bonded joints were performed in accordance with standard DIN EN 1465 standard. On the basis of a comparative analysis of the results, it was found that Epidian 62/IDA/100:40 adhesive and mechanical treatment with P800 sandpaper and degreasing is recommended to prepare adhesive joints of 1.4310 acid resistant steel sheets.

**Keywords:** strength, adhesive bonding, strength, steel sheet steel

## Wprowadzenie

Proces łączenia elementów przez klejenie zaliczany jest do techniki łączenia nierozłącznego i w wielu zastosowaniach stał się konkurencyjnym sposobem wykonywania połączeń różnorodnych materiałów konstrukcyjnych [2, 4, 9]. Obecnie bardzo istotne jest stosowanie metod zapewniających uzyskanie połączenia o właściwościach dostosowanych do warunków eksploatacji. Popularne metody łączenia, takie jak zgrzewanie czy spawanie bardzo często są powodem występowania wad, np. częściowego niszczenia i deformowania się materiału w pobliżu miejsca łączenia [1, 5, 10]. Z tego powodu klejenie jest ważną i w wielu przypadkach konkurencyjną metodą łączenia różnych materiałów konstrukcyjnych.

Stale kwasoodporne wykorzystywane są w wielu konstrukcjach przemysłu maszynowego, budowlanego, spożywczego, również w medycynie (m.in. na narzędzia chirurgiczne) i w wielu innych zastosowaniach. Elementy wykonane ze stali kwasoodpornych można łączyć zarówno przez spawanie, lutowanie (choć należą do stali trudno lutujących się), zgrzewanie [10], jak i klejenie

[4]. Niektóre z tych metod zalecane są do łączenia stali kwasoodpornych bardziej, inne mniej, ze względu na występujące trudności podczas łączenia tego rodzaju materiału, a dotyczy to ich właściwości, struktury oraz składu chemicznego. Jedną z metod łączenia jest klejenie niepowodujące m.in. zmian strukturalnych materiałów oraz pozwalające na uzyskanie szczelności połączenia [2, 4].

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie wytrzymałości połączeń klejowych elementów wykonanych z blachy stalowej kwasoodpornej 1.4310, których powierzchnie poddano obróbce mechanicznej w celu uzyskania różnych chropowatości powierzchni. Do wykonania połączeń zastosowano dwa rodzaje klejów epoksydowych, będących dodatkowym zmiennym czynnikiem technologicznym.

## Badania doświadczalne

### Charakterystyka materiału i połączeń klejowych

Do wykonania połączeń klejowych wykorzystano próbki wykonane z blachy stalowej kwasoodpornej

Tabela 1. Wybrane właściwości mechaniczne blachy stalowej kwasoodpornej [7]

Table 1. Selected mechanical properties of acid resistant steel sheet [7]

Gatunek materiału	Granica plastyczności Re (Rp <sub>0,2</sub> ) min	Wytrzymałość na rozciąganie Rm	Wydłużenie przy zerwaniu A <sub>5</sub> min	Twardość max.
	MPa	MPa	%	HB
1.4310	250	600-950	40	215

Tabela 2. Warianty wykonania połączeń klejowych

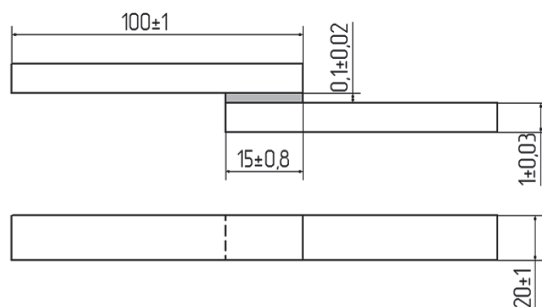
Table 2. Execution variants of bonded joints

Oznaczenie próbek	A1-A12	B1-B12	C1-C12	D1-D12	E1-E12	F1-F12
Rodzaj obróbki mechanicznej	Papier ścierny P800		Papier ścierny P320		Bez obróbki	
Odtłuszczenie	Loctite 7063					
Rodzaj kleju	Epidian 62/ TFF/ 100:27	Epidian 62/ IDA/ 100:40	Epidian 62/ TFF/ 100:27	Epidian 62/ IDA/ 100:40	Epidian 62/ TFF/ 100:27	Epidian 62/ IDA/ 100:40

(wysokostopowej, austenitycznej) 1.4310 (1H18N9), wg PN-EN 10088-1 [6], o grubości 1,00mm ± 0,01 mm, której wybrane właściwości zaprezentowano w tab. 1.

Badaniom wytrzymałościowym poddano połączenia klejowe blach ze stali kwasoodpornej wykonane jednozakładkowo, których kształt i wymiary przedstawiono na rys. 1.

Wymiary połączeń klejowych, przedstawione na rys. 1, zostały określone po procesie ich wykonania (utwardzania), podczas operacji kontroli kształtowo-wymiarowej połączeń, z wykorzystaniem suwmiarki elektronicznej o dokładności 0,02 mm. Grubość spoiny klejowej określono metodą pośrednią.



Rys. 1. Jednozакładkowe połączenie klejowe blach stalowych kwasoodpornych

Fig. 1. Single-lap joint of acid resistant steel sheets

### Proces wykonania połączeń klejowych

Powierzchnie łączonych elementów zostały przygotowane z użyciem obróbki mechanicznej za pomocą ściernych narzędzi nasypowych P320 oraz P800, po której nastąpiło odtłuszczenie. Część próbek poddano tylko odtłuszczeniu środkiem odtłuszczającym Loctite 7063, które po połączeniu stanowiły próbki referencyjne. Sposób odtłuszczenia opisano w pracy [8].

Połączenia klejowe blach ze stali kwasoodpornej zostały wykonane z użyciem dwóch klejów epoksydowych

dwuskładnikowych Epidian 62/IDA/100:40 oraz Epidian 62/TFF/100:27, zgodnie ze stosowną procedurą przygotowawczą przedstawioną w pracy [8]. Przygotowano 6 wariantów połączeń klejowych analizowanych blach, które zamieszczono w tab. 2. W każdym wariantcie wykonano po 12 połączeń klejowych.

Połączenia klejowe wykonano w warunkach laboratoryjnych w temperaturze 20-23°C, przy wilgotności względnej powietrza od 30 do 33%. Zastosowano jednostopniowe utwardzanie na zimno w temperaturze i wilgotności wymienionych powyżej przez 7 dni pod naciskiem 0,018 MPa.

### Określenie chropowatości powierzchni i wytrzymałości połączeń klejowych

W przeprowadzonych badaniach dokonano pomiarów wybranych parametrów chropowatości powierzchni łączonych elementów po zastosowaniu sposobów przygotowania powierzchni. Pomiary wykonano profilometrem stykowym Hommel Tester T1000. Z trzech rodzajów przygotowanych próbek wybrano losowo po cztery i zmierzono je czterokrotnie. Dla każdej danego typu obróbki wykonano pomiar czterokrotnie następujących parametrów: Ra (średnia arytmetyczna rzędnych profilu), Rz (najwyższa wysokość profilu chropowatości), Rmax (maksymalna wysokość chropowatości) [7].

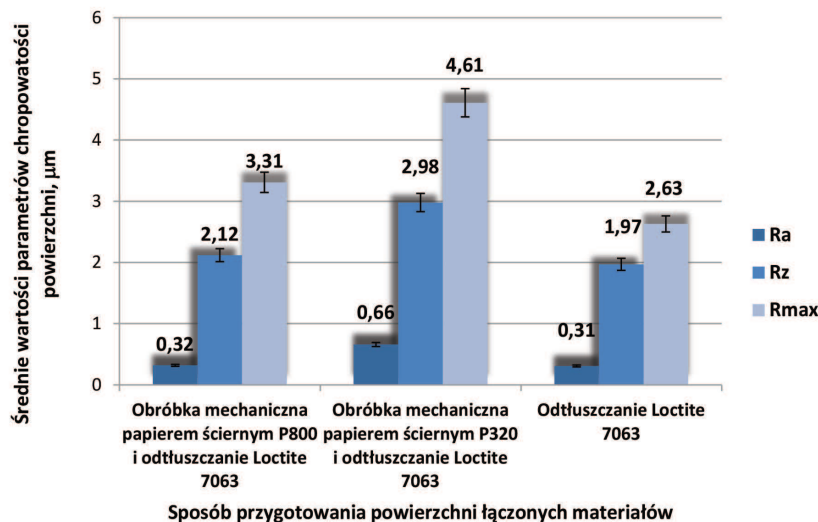
Do określenia wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stali kwasoodpornej użyto maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150, zgodnie z normą EN DIN 1465 [3].

### Wyniki badań

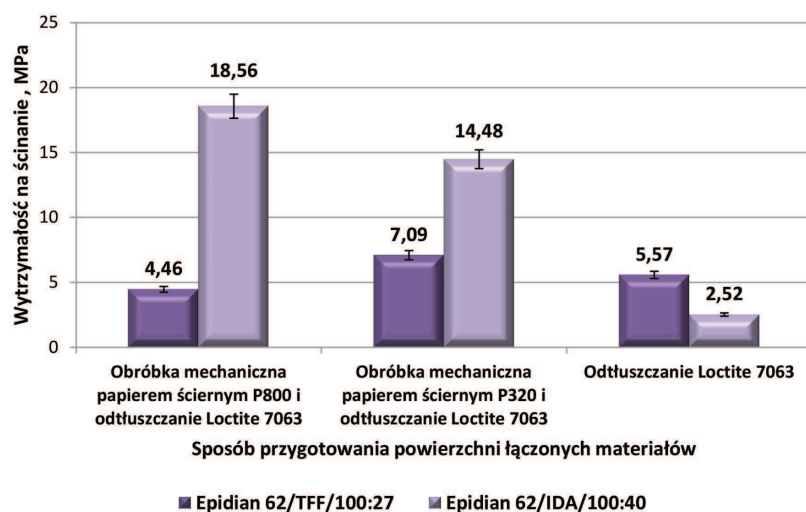
#### Chropowatość powierzchni

Zestawienie średnich wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni po trzech rodzajach obróbki powierzchni łączonych elementów zamieszczono na rys. 2.





Rys. 2. Porównanie parametrów chropowatości powierzchni blach ze stali nierdzewnej po stosowanych sposobach przygotowania powierzchni  
 Fig. 2. Comparison surface roughness parameters of acid resistant steel sheets after used surface treatment



Rys. 3. Wytrzymałość połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej po stosowanych sposobach przygotowania powierzchni  
 Fig. 3. Bonded joints strength of acid resistant steel sheets after used surface treatment

Na podstawie zestawienia parametrów chropowatości powierzchni przedstawionych na rys. 2 zauważono, że największe wartości parametrów chropowatości powierzchni otrzymano po zastosowaniu obróbki ściernym narzędziem nasypowym P320 i odtłuszczeniu, a najmniejsze w przypadku powierzchni blach poddanej tylko odtłuszczeniu (przy czym wartość parametru Ra była porównywalna z wartością uzyskaną po zastosowaniu obróbki ściernym narzędziem nasypowym P800). Różnica między wartością Ra dla obu próbek wynosi 2%. W przypadku zastosowania obróbki powierzchni łączonych próbek z wykorzystaniem papieru ściernego P800 i odtłuszczenia wartość parametru Ra jest ponad dwukrotnie

większa niż w pozostałych przypadkach. Najwyższą wartość parametru chropowatości Rz nadają próbki przygotowane papierem ściernym o gradacji P320 i odtłuszczeniu. Wartości te odbiegają znacznie od wyników próbek, których powierzchnie tylko odtłuszczone i różnica ta wynosi 51%. W przypadku obróbki papierem ściernym P800 i odtłuszczeniu wyniki nieznacznie odbiegają od tych, które uzyskano po zastosowaniu odtłuszczenia i różnica wynosi jedynie 7%.

Także porównując chropowatość powierzchni względem parametru Rmax – czyli największej wartości wysokości profilu można dostrzec, że największą wartość mają próbki przygotowane papierem ściernym o gradacji P320. Mają one o 75% większą wartość Rmax niż próbki po odtłuszczeniu i o 39% większą od próbek przygotowanych papierem ściernym P800 i odtłuszczeniu.

#### Wytrzymałość połączeń klejowych

Porównanie wytrzymałości na ścinanie analizowanych wariantów połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej przedstawiono na rys. 3.

Na podstawie porównania (rys. 3) otrzymanych wyników wytrzymałości na ścinanie różnych wariantów połączeń klejowych zauważono istotny wpływ zarówno przygotowania powierzchni, jak i rodzaju kleju.

Rozpatrując klej Epidian 62/TFF/100:27 można przedstawić następujące spostrzeżenia:

- największą wytrzymałość połączeń klejowych otrzymano po zastosowaniu obróbki mechanicznej ściernym narzędziem nasypowym P320 i odtłuszczeniu (7,09 MPa),
- najmniejsza wytrzymałość została osiągnięta po użyciu ściernego narzędzia nasypowego P800 i odtłuszczeniu (4,46 MPa) i jest o 42% mniejsza od największej wytrzymałości,
- wpływ na zwiększoną wytrzymałość po obróbce papierem P320 mogła mieć struktura geometryczna powierzchni, która została ukształtowana podczas obróbki ściernej. Prawdopodobnie wymiary geometryczne (także ilość) powstałych nierówności, sprzyjały ich penetracji przez zastosowany klej, który podczas utwardzania utworzył mechaniczne zakotwienia skutkujące większą wytrzymałością niż w pozostałych przypadkach,

- połączenia klejowe wykonane bez obróbki mechanicznej mają lepsze właściwości wytrzymałościowe niż przygotowane papierem ściernym P800 i odtłuszczeniu, ale mają mniejszą wytrzymałość niż próbki po obróbce papierem ściernym P320 i odtłuszczeniu.

Analizując wyniki wytrzymałości połączeń klejowych wykonanych przy użyciu kleju Epidian 62/IDA/100:40 można zauważyć, że:

- w przypadku próbek, których powierzchnie zostały tylko odtłuszczone, bez wcześniejszej obróbki mechanicznej, wytrzymałość na ścinanie wynosi 2,52 MPa i jest znacznie niższa w stosunku do wytrzymałości połączeń, w których zastosowano obróbkę mechaniczną i odtłuszczenie,
- największą wytrzymałość osiągnęły połączenia klejowe, w których powierzchnia próbek została przygotowana papierem ściernym P800 i odtłuszczone (18,56 MPa) i jest ona o 24% wyższa od wytrzymałości połączeń elementów po obróbce mechanicznej papierem ściernym P320 i odtłuszczeniu oraz o ok. 87% większa od wytrzymałości połączeń, w których jako sposób przygotowania powierzchni zastosowano tylko odtłuszczenie.

Porównując oba rodzaje klejów zauważono, że w przypadku obróbki mechanicznej i odtłuszczenia wykorzystanie do wykonania połączeń klejowych kleju Epidian 62/IDA/100:40 pozwala na osiągnięcie znacznie większej wytrzymałości niż w przypadku użycia kleju Epidian 62/TFF/100:27. Odmianą zależność zaobserwowano w przypadku zastosowania tylko odtłuszczenia powierzchni przed klejeniem. W przypadku połączeń klejowych przygotowanych z użyciem kleju Epidian 62/TFF/100:27 nie występują tak duże różnice w wartości wytrzymałości, jak w przypadku zastosowania kleju Epidian 62/IDA/100:40. Porównując otrzymane wyniki z rezultatami dotyczącymi analizy wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stali odpornej na korozję zamieszczonymi w pracy [9] także stwierdzono, że zastosowanie obróbki mechanicznej z użyciem ściernych narzędzi nasypowych, jako obróbki powierzchni łączonych blach, korzystnie wpływa wytrzymałość tych połączeń w odniesieniu do wytrzymałości połączeń, w których powierzchnie blach poddano tylko procesowi odtłuszczenia.

## Wnioski

Na podstawie otrzymanych badań doświadczalnych można zauważyć, że wybór odpowiedniej obróbki ścierniej w odniesieniu do danego rodzaju kleju ma istotny wpływ na wytrzymałość połączeń klejowych. Z analizy badań wytrzymałościowych wynika, że w przypadku klejenia blach ze stali kwasoodpornej, najlepszą spośród badanych metod była metoda łączenia blach klejem Epidian 62/IDA/100:40 w połączeniu z obróbką ścierną powierzchni papierem ściernym o gradacji P800 i odtłuszczeniu. Połączenie to wykazało bardzo dużą wytrzymałość na

ścinanie, o wiele większą od pozostałych wariantów połączeń. Zastosowanie tego kleju pozwala na osiągnięcie również wysokiej wytrzymałości połączeń klejowych, przy zastosowaniu obróbki łączonych powierzchni papierem ściernym o gradacji P320 i odtłuszczeniu. Ponadto można zauważyć, że przeprowadzenie tylko procesu odtłuszczenia, jako przygotowania powierzchni w przypadku kleju Epidian 62/IDA/100:40 kilkukrotnie obniża wytrzymałość w porównaniu do obróbki mechanicznej i odtłuszczenia. W przypadku użycia kleju Epidian 62/TFF/100:27 korzystniejsze jest zastosowanie obróbki papierem ściernym o większej ziarnistości.

Podsumowując, można zauważyć, że podczas opracowywania technologii klejenia należy kompleksowo uwzględnić zagadnienia związane zarówno z przygotowaniem powierzchni, jak i doborem określonego rodzaju kleju, gdyż współdziałanie tych czynników pozwala uzyskać założone właściwości mechaniczne połączeń klejowych.

## LITERATURA

- [1] Adams R.D. 2010. "Adhesive bonding. Science, technology and applications". Woodhead Publishing Limited, United Kingdom.
- [2] Cagle Ch.V. 1977. „Kleje i klejenie”. Poradnik inżyniera i technika. Warszawa: WNT.
- [3] DIN EN 1465:2009. Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of bonded assemblies.
- [4] Godzimirski J. i in. 1997. „Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn”. Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [5] Kuczmaszewski J. 2006. "Fundamentals of metal-metal adhesive joint design". Lublin University of Technology, Polish Academy of Sciences.
- [6] PN-EN 10088-1:2014-12. „Stale odporne na korozję. Część 1: Wykaz stali odpornych na korozję”.
- [7] PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010. „Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni”.
- [8] Rudawska A., J. Kuczmaszewski. 2012. „Badania porównawcze efektów modyfikacji żywic epoksydowych napelniaczami o dużym stopniu rozdrobnienia dla wybranych utwardzaczy”. *Przetwórstwo Tworzyw* (5): 500–504.
- [9] Rudawska A. 2010. „Wpływ sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach ze stali odpornej na korozję”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 36–39.
- [10] Sobieszczański J. 2004. „Spajanie”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PL – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

Norbert Oleszek – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej

## PRZYCZYNY WYPADKÓW ZWIĄZANYCH Z KONSERWACJĄ DŹWIGÓW W LATACH 2010–2016

Dźwigi można uznać za urządzenia bezpieczne, dlatego jakiegokolwiek wypadki są bardzo wnikliwie analizowane. W oparciu o te analizy oraz w trosce o poprawę stanu bezpieczeństwa pracy konserwatorów dźwigów, UDT podejmuje szereg działań edukacyjno-prewencyjnych.

Analiza wypadków, jakie wydarzyły się w związku z eksploatacją i konserwacją dźwigów osobowych i osobowo-towarowych w latach 2010–2016 wyraźnie pokazuje, że liczba wypadków, a szczególnie liczba wypadków ze skutkiem śmiertelnym, w stosunku do liczby osób korzystających z dźwigów, jest bardzo niska (na koniec 2010 r. w UDT było zarejestrowanych blisko 84 tys. dźwigów, a na koniec 2016 r. było ich już ponad 106 tys.).

Rok	Liczba nieszczęśliwych wypadków z udziałem osób korzystających z dźwigów	W tym liczba wypadków ze skutkiem śmiertelnym
2010	14	0
2011	16	0
2012	10	0
2013	2	2
2014	9	1
2015	10	1
2016	14	1

W grupie dźwigów objętych dozorem pełnym UDT, w latach 2010–2016 wydarzyło się ogółem dziesięć wypadków ze skutkiem śmiertelnym. W tej liczbie aż pięć ofiar śmiertelnych to konserwatorzy i jedna osoba z obsługi. W tej grupie poszkodowanych odsetek wypadków ze skutkiem śmiertelnym w stosunku do liczby nieszczęśliwych wypadków jest bardzo wysoki, co widać na poniższym zestawieniu:

Rok	Liczba nieszczęśliwych wypadków z udziałem konserwatorów	W tym liczba wypadków ze skutkiem śmiertelnym
2010	2	1
2011	2	1
2012	1	0
2013	2	1
2014	1	1
2015	1	1
2016	0	0

Pośród wypadków śmiertelnych, w których ofiarami byli konserwatorzy, dwa z nich miały związek z przeciwwagą. W 2010 r. konserwator został uderzony przeciwwagą w trakcie jazdy inspekcyjnej na dachu kabiny, natomiast w 2011 r. podczas demontażu przeciwwagi doszło do rozłączenia obciążników i układu linowego, co spowodowało poślizg lin na tarczy czarnej i upadek elementów kabiny do podszybia na osobę poszkodowaną. W wypadku w 2013 r. podczas demontażu dźwigu poszkodowany odciął linę nośną w okolicy wciągarki bębnowej, powodując niekontrolowany spadek platformy ładunkowej, która uderzyła go ze skutkiem śmiertelnym. W 2014

r. konserwator wraz z dwoma innymi osobami jadąc na dachu kabiny stracił równowagę i wpadł pomiędzy kabinę a ścianę szybu ponosząc śmierć.

W 2015 r. podczas próby ewakuacji osób uwięzionych w kabinie pomiędzy przystankami, pracownik obsługi wpadł do podszybia przez szczelinę między fartuchem kabiny a progiem drzwi przystankowych. W wyniku upadku poniósł śmierć.

Z kolei w ogólnej liczbie wypadków skutkujących obrażeniami ciała odnotowuje się znacznie mniej zdarzeń z konserwatorami:

Rok	Liczba wypadków z obrażeniami ciała	W tym obrażenia konserwatorów
2010	15	1
2011	17	1
2012	11	1
2013	1	1
2014	8	0
2015	9	0
2016	13	0

W jednym przypadku, podczas wchodzenia na dach kabiny uszkodzeniu uległ zaczep dachu w wyniku czego osoba spadła do środka kabiny (2011 r.).

W 2012 r. miał miejsce wypadek podczas usuwania awarii dźwigu. Przebywający na dachu kabiny konserwator odniósł obrażenia kciuka prawej dłoni na skutek zakleszczenia pomiędzy liną a kołem linowym. Zakleszczenie palca zostało spowodowane ruchem kabiny w dół, wykonywanym automatycznie po domknięciu przelotowych drzwi kabinowych dźwigu, w celu „zorientowania się” kabiny w szybie.

W 2013 r. nieszczęśliwy wypadek zdarzył się w wyniku zablokowania lin nośnych na kole linowym głowicy nurnika podczas jazd montażowych dźwigu hydraulicznego. Niespodziewanie nastąpiło ich odblokowanie, gdy były poluzowane, co spowodowało niekontrolowany spadek podestu montażowego dźwigu, w wyniku czego osoba stojąca na platformie doznała obrażeń ciała.

Do wypadków związanych z konserwacją dźwigów można byłoby zaliczyć także wpadnięcia osób postronnych do żle zabezpieczonego szybu w czasie trwających prac konserwacyjnych. W 2012 r. osoba postronna wpadła do szybu z poziomu trzeciego przystanku przechodząc obok częściowo zdemontowanej szklanej ściany szybu. W tym samym roku podczas usuwania awarii dźwigu osoba poszkodowana wchodziła do kabiny, która w wyniku działań podjętych przez konserwatorów ruszyła przy otwartych drzwiach przystankowych. Osoba doznała złamania obojczyka i obrażeń kończyn dolnych. Uszkodzeniu uległ próg ruchomy i łącznik bezpieczeństwa drzwi przystankowych.

W 2016 r. w czasie prac konserwacyjnych wykonywanych na dźwigu, pasażer podczas otwierania drzwi przystankowych, za którymi nie było kabiny dźwigu, stracił równowagę i wpadł do szybu, w wyniku czego doznał obrażeń ciała.

Analizy wypadków z udziałem konserwatorów wyraźnie wskazują na niedostatek uwagi, zbyt duże zaufanie rutynie i zbyt częste lekceważenie zasad bezpieczeństwa ze strony wykwalifikowanej kadry.

*Ewa Dorobińska – zespół prasowy Urzędu Dozoru Technicznego*

## Z PRASY ZAGRANICZNEJ

Tłumaczenia tytułów zamieszczonych w miesięczniku naukowo-technicznym "Montaż w budowie maszyn i przyrządów" (Sborka), wyd. Maszynostrojenije, Moskwa, Rosja.

### Sborka nr 7, 2016 (192)

1. Technologiczność konstrukcji wyrobów i SAPR.
2. Praktyczna realizacja zasady integrowania kontrolno-pomiarowych technologii w produkcji montażowej wyrobów maszynowych.
3. Montaż połączeń wieloprzewodowych przewodów za pomocą nacisku impulsowym polem magnetycznym.
4. Procesy zachodzące na powierzchniach tarcia miedzianego styku z proszkowym na bazie żelaza.
5. Kontaktowe wzajemne oddziaływania ścinające w połączeniu śrubowym w warunkach fretingowego zużywania.
6. Naciski sypkiego materiału na ścianki pojemnika. Zadanie płaskie.
7. Sposób zapewnienia wytrzymałości korpusów osłonowych z tworzywa sztucznego hydroakustycznych przyrządów.

### Sborka nr 8, 2016 (193)

1. Wielopierścieniowe radialne pasywne łożyska magnetyczne.
2. Specyfika zapewnienia i oceny technologiczności montażowej elektronowych SWCz – modułów.
3. Zastosowanie twardego modelowania komputerowego w procesie opracowania i modernizacji konstrukcji urządzeń chwytnych dla elastycznych pojemników.
4. Zautomatyzowany system wibracyjnej diagnostyki i ultradźwiękowego docierania łożysk tocznych.
5. Ocena wydajności lokalnego systemu sensorycznego.
6. Wpływ nadmolekularnej struktury polimerowych włókien na właściwości tribologiczne włóknistych elementów.
7. Przyrost naprężeń osiowych w korpusie roboczym i skalującym paśmie ciągną od tarcia kontaktowego przy różnych parametrach deformacji i modelach umacniania materiału pręta.
8. Wpływ zużycia fretingowego połączenia śrubowego z luzem na siłę zakręcania śruby.

### Sborka nr 9, 2016 (194)

1. Dźwigniowe urządzenie korygujące i metoda kojarzenia elementów osiowosymetrycznych.
2. Opracowanie i badania urządzenia mierzącego ciężary na bazie sprężystego pierścienia i liniowego fotoodbiornika.
3. Obliczanie parametrów procesu montażu zespołów metalowo-kompozytowych za pomocą ciśnienia impulsowego pola magnetycznego.
4. Zmiana wskaźników stanu naprężonego i zapasu wytrzymałości drutu przy odchyleniu współczynnika tarcia od wartości nominalnej.
5. Technologiczne możliwości metody kombinowanego wykonywania otworów z przeciwnaciskiem metalowo-platerowych smarów.
6. Podstawowe zadania rozwiązywane z pomocą kompleksu programowego „Kontur” komputerowego projektowania zrobotyzowanych środków GASK montażu aparatury elektronicznej w warunkach wieloasortymentowej produkcji.

## ABSTRACTS:

**1. Takagi-Sugeno system for supervisory formation control of seeker mounted unmanned aerial vehicles**

Authors: Mohammad Ali Dehghani, Mohammad Bagher Menhaj

The purpose of this paper is achieving a leader–follower formation of unmanned aerial vehicles which is a cooperative scenario inspired by formation flying of living organisms such as geese. Designing a control strategy based on only vision measurement (without radio communication) and keeping connectivity in vision are important challenges in the formation flying problem which is the base of formation flying in living organisms.

To achieve the mentioned purposes, a feedback linearization technique is used. Moreover, a Takagi-Sugeno-based supervisory control strategy for visibility maintenance combined with an acceleration estimator to compensate the leader maneuvers is proposed.

Keeping formation and visibility maintenance in the presence of the leader maneuver are the main contributions of the paper.

**2. Path planning for intelligent robot based on switching local evolutionary PSO algorithm**

Authors: Nianyin Zeng, Hong Zhang, Yanping Chen, Binqiang Chen, Yurong Liu

This paper aims to present a novel particle swarm optimization (PSO) based on a non-homogeneous Markov chain and differential evolution (DE) for path planning of intelligent robot when having obstacles in the environment.

The principle of operation of the presented algorithm is as follows. The three-dimensional path surface of the intelligent robot is decomposed into a two-dimensional plane and the height information in z axis. Then, the grid method is exploited for the environment modeling problem. After that, a recently proposed switching local evolutionary PSO (SLEPSO) based on non-homogeneous Markov chain and DE is analyzed for the path planning problem. The SLEPSO algorithm is successfully applied to the path planning in two different environments. Comparing with some well-known PSO algorithms, the experiment results show the feasibility and effectiveness of the presented method.

**3. An advanced immune based strategy to obtain an optimal feasible assembly sequence**

Authors: M.V.A. Raju Bahubalendruni, B.B.V.L. Deepak, Bibhuti Bhusan Biswal

The purpose of this study is to develop an intelligent methodology to find out an optimal feasible assembly sequence while considering the assembly predicates.

This proposed study is carried out by using two artificial immune system-based models, namely, Bone Marrow Model and Negative Selection Algorithms, to achieve the following objectives: to obtain the possible number of assembly sequences to obtain the feasible assembly sequences while considering different assembly predicates and to obtain an optimal feasible assembly sequence.

Proposed bone-marrow model determines the possible assembly sequences to ease the intricacy of the problem formulation. Further evaluation has been carried out through negative-selection censoring and monitoring models. These developed models reduce the overall computational time to determine the optimal feasible assembly sequence.

The introduced methodology has proven its effectiveness in achieving optimal assembly sequence with less computational time.

**4. A new genetic algorithm approach to smooth path planning for mobile robots**

Authors: Baoye Song, Zidong Wang, Li Sheng

The purpose of this paper is to consider the smooth path planning problem for a mobile robot based on the genetic algorithm (GA) and the Bezier curve.

The workspace of a mobile robot is described by a new grid-based representation that facilitates the operations of the adopted GA. The chromosome of the GA is composed of a sequence of binary numbered grids (i.e. control points of the Bezier curve). Ordinary genetic operators including crossover and mutation are used to search the optimum chromosome where the optimization criterion is the length of a piecewise collision-free Bezier curve path determined by the control points.

This paper has proposed a new smooth path planning for a mobile robot by resorting to the GA and the Bezier curve. A new grid-based representation of the workspace has been presented, which makes it convenient to

perform operations in the GA. The GA has been used to search the optimum control points that determine the Bezier curve-based smooth path. The effectiveness of the proposed approach has been verified by a numerical experiment, and some performances of the obtained method have also been analyzed.

#### **5. On the small fiber-coupled laser controller for animal robot**

Authors: Haixia Wang, Yuliang Wang, Yaozong Sun, Qiong Pu, Xiao Lu

This paper aims to present the design of a portable remote-controlled laser controller system, including the remote-controlled system and the laser stimulator.

Because of the inconvenience and inflexibility of the laser controller, the applied range of optogenetics is limited.

The remote-controlled system is handheld, which can wirelessly adjust the power and the emitting frequency of the laser by utilizing the ZigBee module.

The laser stimulator can be mounted on the animal as it is light weight (35 g) and small in size (40 × 40 × 20 mm), and its power and frequency can be appropriately adjusted by changing the current amplitude and duty ratio. In the end, the experiments verify the reliability and effectiveness of the laser controller.

#### **6. Bio-inspired approach to invariant recognition and classification of fabric weave patterns and yarn color**

Authors: Babar Khan, Fang Han, Zhijie Wang, Rana J. Masood

This paper aims to propose a biologically inspired processing architecture to recognize and classify fabrics with respect to the weave pattern (fabric texture) and yarn color (fabric color).

By using the fabric weave patterns image identification system, this study analyzed the fabric image based on the Hierarchical-MAX (HMAX) model of computer vision, to extract feature values related to texture of fabric. Red Green Blue (RGB) color descriptor based on opponent color channels simulating the single opponent and double opponent neuronal function of the brain is incorporated in to the texture descriptor to extract yarn color feature values. Finally, support vector machine classifier is used to train and test the algorithm.

This two-stage processing architecture can be used to construct a system based on computer vision to recognize fabric texture and to increase the system reliability and accuracy. Using this method, the stability and fault tolerance (invariance) was improved.

#### **7. A bio-inspired scan matching algorithm for mobile robots in outdoor environments**

Authors: Fei Yan, Ke Wang, Jizhong Xiao, Ruifeng Li

The purpose of this paper is to propose a scan matching algorithm, which is adaptable to big initial pose errors.

The most prominent example of scan matching algorithm is the Iterative Closest Point (ICP) algorithm. But the ICP algorithm and its variants excessively depend on the initial pose estimate between two scans.

The environments are represented by flat units and upright units. The upright units are clustered to represent objects that the robot cannot cross over. The object cluster is further discretized to generate layered model consisting of cross-section ellipses. The layered model provides simplified features that facilitate an object recognition algorithm to discriminate among common objects in outdoor environments. A layered model graph is constructed with the recognized objects as nodes. Based on the similarity of sub-graphs in each scans, the layered model graph-based matching algorithm generates initial pose estimates and uses ICP to refine the scan matching results.

Experimental results indicate that the proposed algorithm can deal with bad initial pose estimates and increase the processing speed. Its computation time is short enough for real-time implementation in robotic applications in outdoor environments.

#### **8. Bio-inspired neural network with application to license plate recognition: hysteretic ELM approach**

Authors: Liang Chen, Leitao Cui, Rong Huang, Zhengyun Ren

This paper aims to present a bio-inspired neural network for improvement of information processing capability of the existing artificial neural networks.

In the network, the authors introduce a property often found in biological neural system – hysteresis – as the neuron activation function and a bionic algorithm – extreme learning machine (ELM) – as the learning scheme. The authors give the gradient descent procedure to optimize parameters of the hysteretic function and develop an algorithm to online select ELM parameters, including number of the hidden-layer nodes and hidden-layer parameters. The algorithm combines the idea of the cross validation and random assignment in original ELM. Finally, the authors demonstrate the advantages of the hysteretic ELM neural network by applying it to automatic license plate recognition.

Experiments on automatic license plate recognition show that the bio-inspired learning system has better classification accuracy and generalization capability with consideration to efficiency.

### **9. Neural-network-based containment control of nonlinear multi-agent systems under communication constraints**

Authors: Chao Ma

The purpose of this paper is to investigate the neural-network-based containment control of multi-agent systems with unknown nonlinear dynamics. Moreover, communication constraints are taken into account to reflect more realistic communication networks.

Based on the approximation property of the radial basis function neural networks, the control protocol for each agent is designed, where all the information is exchanged in the form of sampled data instead of ideal continuous-time communications.

As ideal continuous-time communications of the multi-agent systems are very difficult or even unavailable to achieve, the neural-network-based containment control of nonlinear multi-agent systems is solved under communication constraints. More precisely, sampled-data information is exchanged, which is more applicable and practical in the real-world applications.

By utilizing the Lyapunov stability theory and the Lyapunov–Krasovskii functional approach, sufficient conditions are developed to guarantee that all the followers can converge to the convex hull spanned by the stationary leaders.

### **10. A novel path planning method for biomimetic robot based on deep learning**

Authors: Yang Lu, Shujuan Yi, Yurong Liu, Yuling Ji

This paper aims to design a multi-layer convolutional neural network (CNN) to solve biomimetic robot path planning problem.

A new method of deep learning based biomimetic robot path planning is proposed. The authors designed a multi-layer CNN which includes max-pooling layer and convolutional kernel. Then, the first and second layers features can be extracted by these kernels. Finally, the authors use the sparse auto encoder training algorithm to train the CNN so as to accomplish the path planning task of NAO robot.

The NAO biomimetic robot respond quickly and correctly to the dynamic environment. The simulation experiments show that the deep neural network outperforms in dynamic and static environment than the conventional method.

### **11. Improved GA and Pareto optimization-based facial expression recognition**

Authors: Fowei Wang, Bo Shen, Shaoyuan Sun, Zidong Wang

The purpose of this paper is to improve the accuracy of the facial expression recognition by using genetic algorithm (GA) with an appropriate fitness evaluation function and Pareto optimization model with two new objective functions.

To achieve facial expression recognition with high accuracy, the Haar-like features representation approach and the bilateral filter are first used to preprocess the facial image. Second, the uniform local Gabor binary patterns are used to extract the facial feature so as to reduce the feature dimension. Third, an improved GA and Pareto optimization approach are used to select the optimal significant features. Fourth, the random forest classifier is chosen to achieve the feature classification. Subsequently, some comparative experiments are implemented. Finally, the conclusion is drawn and some future research topics are pointed out.

The experiment results show that the proposed facial expression recognition algorithm outperforms ones in the existing literature in terms of both the actuary and computational time.

### **12. Bio-inspired kinematical control of redundant robotic manipulators**

Authors: Ali Leylavi Shoushtari, Stefano Mazzoleni, Paolo Dario

This paper aims to propose an innovative kinematic control algorithm for redundant robotic manipulators. The algorithm takes advantage of a bio-inspired approach.

A simplified two-degree-of-freedom model is presented to handle kinematic redundancy in the x-y plane; an extension to three-dimensional tracking tasks is presented as well. A set of sample trajectories was used to evaluate the performances of the proposed algorithm.

The results from the simulations confirm the continuity and accuracy of generated joint profiles for given end-effector trajectories as well as algorithm robustness, singularity and self-collision avoidance.

This paper shows how to control a redundant robotic arm by applying human upper arm-inspired concept of inter-joint dependency.



99%

WYPADKÓW TO  
EFEKT NIEWŁAŚCIWEJ  
EKSPLOATACJI



BEZPIECZEŃSTWO  
TWÓJ WYBÓR

## Bezpieczeństwo przy konserwacji dźwigów

Dźwigi to największa grupa urządzeń do przewozu osób i towarów. Na rynku istnieje wiele rodzajów tych urządzeń. Konstrukcja i wyposażenie dźwigu zależą od różnych oczekiwań użytkowników pod względem parametrów technicznych, jakości, a także walorów estetycznych. Zasady bezpiecznej konserwacji pozostają jednak takie same.

Wypadki związane z konserwacją dźwigów wyraźnie wskazują na zagrożenia wynikające z lekceważenia zasad bezpiecznej pracy oraz z nieprzestrzegania instrukcji konserwacji. Podstawą zasad bezpieczeństwa są zdrowy rozsądek i rzetelnie wykonywane czynności konserwacyjne.

Konserwacja dźwigów może być prowadzona jedynie przez osoby posiadające stosowne kwalifikacje do wykonywania tych czynności. Urząd Dozoru Technicznego sprawdza kwalifikacje osób w trybie egzaminacyjnym, zgodnie z Ustawą z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym i Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 18 lipca 2001 r. w sprawie trybu sprawdzania kwalifikacji wymaganych przy obsłudze i konserwacji urządzeń technicznych (Dz.U. nr 79, poz. 849, z późn. zm.). Na podstawie przepisów odrębnych (prawo energetyczne) do konserwacji dźwigów elektrycznych wymagane są odpowiednie świadectwa kwalifikacyjne. Osoby z takimi kwalifikacjami posiadają wiedzę w zakresie bezpieczeństwa konserwacji dźwigów.

W celu ograniczenia liczby wypadków i zwiększenia świadomości zagrożeń związanych z niewłaściwą eksploatacją urządzeń transportu bliskiego eksperci Urzędu Dozoru Technicznego opracowali materiały szkoleniowo-edukacyjne w zakresie bezpiecznej konserwacji i naprawy dźwigów.

**Obejrzyj film! Przeczytaj broszurę! Powieś plakat!**



Zamów bezpłatny pakiet szkoleniowy  
przygotowany przez ekspertów UDT: