



fol. IMBiGS

ŚRODOWISKA TECHNICZNE W BUDOWIE NIEPODLEGŁEJ

„Historia zreszeń polskich inżynierów i techników nierozdzielnie wiąże się z walką o niepodległość” – czytamy w przesłaniu Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Pana Andrzeja Dudy, skierowanym do uczestników uroczystego spotkania inżynierów polskich i polonijnych w Warszawskim Domu Technika NOT, podczas inauguracji (26.04.2018) obchodów 100-lecia odzyskania przez Polskę Niepodległości, organizowanych przez FSNT-NOT w ramach Programu Wieloletniego „Niepodległa”.

Pan Prezydent wyraził też przekonanie, że „nasz kraj musi być nowoczesny, że musi się dynamicznie rozwijać, konkurować z największymi, towarzyszyło polskim inżynierom i technikom walczącym w kolejnych powstaniach i zrywach niepodległościowych. Kształcili się i rozwijali swoje kompetencje, by doczekawszy wymarzonej chwili, zając się największym projektem swojego życia – projektem, któremu na imię Polska. Gdy jesienią 1918 roku niepodległość stała się faktem, polscy inżynierowie z odwagą i zapalem przystąpili do realizowania przedsięwzięć, dzięki którym Rzeczpospolita mogła, mimo nie zawsze sprzyjających okoliczności, odnosić liczne sukcesy gospodarcze i technologiczne. Budowa Gdyni i Centralnego Okręgu Przemysłowego, tarnowskie i chorzowskie zakłady azotowe, intensywny rozwój Warszawy i innych polskich miast, osiągnięcia polskich konstruktorów lotniczych – to tylko niektóre przykłady tego, jak rozwijała się myśl techniczna w II Rzeczypospolitej.”

Uroczystość, która miała charakter sesji naukowej pod hasłem „Wkład inżynierów w odzyskanie Niepodległości i budowę państwowości”, otworzyła i prowadziła w pierwszej części Ewa Mańkiewicz-Cudny – prezes Zarządu Głównego FSNT-NOT, a w drugiej wiceprezes FSNT-NOT i prezes Stowarzyszenia Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów (SPWiR) Michał Szota.

Pierwszy wykład, pt. „Wpływy techniki na przemiany struktury społecznej II RP”, wygłosił prof. Jan Żarnowski z Instytutu Historii PAN. Mówca zwrócił uwagę na ogromne zróżnicowanie ziem tworzących odrodzoną Rzeczpospolitą. Bo obok zniszczeń po I wojnie światowej, po wywiezionych przez zaborców fabrykach i fachowcach, odrodzoną Polskę tworzyły trzy kultury społeczne, gospodarcze, przemysłowe. I właśnie w tym obszarze ogromną, nieocenioną i nadal niedocenioną rolę odegrało środowisko techniczne, które tworzyło ramy dla odbudowywanego i budowanego na nowo organizmu państwowego.

Następnie, o roli elit inżynierskich w narodzinach i pierwszych latach II RP, mówił prof. Marian Marek Drozdowski z Polskiego Towarzystwa Historycznego i Instytutu Historii PAN. Wielu inżynierów i przedstawicieli nauk technicznych było wybitnymi społecznikami, politykami i mężami stanu. Takie postacie jak prezydenci Gabriel Narutowicz, Ignacy Mościcki oraz inżynierowie, Eugeniusz Kwiatkowski, Tadeusz Wende, Antoni Xiężopolski i wielu innych trwale zasłużyły się dla polskiej racji stanu, dla polskiej nauki i gospodarki.

„Inżynieria przyszłości” była tematem wykładu prof. Jana Szmidta – rektora Politechniki Warszawskiej i zarazem przewodniczącego Konferencji Rektorów Akademickich Szkół Polskich (KRASP), który odnosząc się do historii, wybiegał w przyszłość, ukazując śmiało perspektywę dla inżynierów i ich roli w zmieniającej się gospodarce (przemysł 4.0), ale i kulturze (AI – sztuczna inteligencja).

Prof. Sławomir Łotysz – prezes Międzynarodowego Komitetu Historii Techniki ICOHTEC; wiceprezes Polskiego Towarzystwa Historii Techniki z Instytutu Historii Nauki PAN zaprezentował wielkie przedsięwzięcia techniczne i przemysłowe II RP, w tym szczególnie budowę Gdyni; Centralnego Okręgu Przemysłowego; magistrali komunikacyjnej i wielu zakładów przemysłowych z różnych branż. Jego wystąpienie było dokumentowane wieloma archiwalnymi zdjęciami.

100-letnie dokonania Urzędu Patentowego RP, jednej z pierwszych instytucji powołanych przez odrodzoną Rzeczpospolitą, przedstawiła dr Alicja Adamczak, Prezes UP RP.

Udział inżynierów w zwycięstwie aliantów nad III Rzeszą oraz w zaopatrzeniu technicznym w Państwie Podziemnym omówił Maksymilian Sokół-Potocki, z-ca dyrektora Centralnej Biblioteki Wojskowej.



Rola miar w scalaniu państwowości była tematem wystąpienia dr Włodzimierza Lewandowskiego, Prezesa Głównego Urzędu Miar.

Na zakończenie spotkania prezentację pokazującą rolę stowarzyszeń technicznych w tworzeniu podstaw prawnych i administracyjnych mających na celu scalanie (z trzech zaborów) gospodarki, infrastruktury technicznej i edukacji przedstawiła prezes FSNT-NOT Ewa Mańkiewicz-Cudny. Nawiązała w nim także do działań inżynierów poza granicami kraju. Jedni wracali do kraju i włączali się w budowę nowego przemysłu, inni wspierali Polskę na obczyźnie.

W przerwie sesji inauguracyjnej otwarto wystawę dokumentującą dorobek nauki i techniki polonijnych inżynierów pt. „Stulecie Stowarzyszenia Inżynierów Polskich we Francji”. Wstępeg przecięli wspólnie prezes FSNT-NOT Ewa Mańkiewicz-Cudny i prezes SITPF Janusz Ptak.

W spotkaniu inauguracyjnym obchody udział wzięli m.in. Andrzej Dera, sekretarz Stanu w Kancelarii Prezydenta RP; parlamentarzyści: Jolanta Hibner i Andrzej Smirnow; Włodzimierz Lewandowski – prezes Głównego Urzędu Miar; prof. Jerzy Woźnicki – przewodniczący Rady Głównej Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Prezes Fundacji Rektorów Polskich; prof. Michał Kleiber, b. prezes PAN; prof. Aleksander Nawrat, z-ca dyrektora Narodowego Centrum Badań i Rozwoju; prof. Leszek Rafalski – przewodniczący Rady Głównej Instytutów Badawczych i prezes Akademii Inżynierskiej; prof. Elżbieta Frąckowiak – wiceprezes PAN; prof. Jan Szmidt – przewodniczący Konferencji Rektorów Akademickich Szkół Polskich i Rektor Politechniki Warszawskiej; Andrzej Roch Dobrucki – prezes Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa i prof. Zbigniew Grabowski – prezes Honorowy Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa; dr Jan Tarczyński – Dyrektor Centralnej Biblioteki Wojskowej.

Obecni byli dyrektorzy departamentów Ministerstwa Przedsiębiorczości, Urzędu Regulacji Energetyki, prezesi i członkowie tworzących Federację Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych. Członkowie komitetów i komisji naukowo-technicznych, prezesi i przedstawiciele Terenowych Jednostek Organizacyjnych oraz agend i spółek FSNT-NOT. Sporą grupę uczestników uroczystości stanowiła młodzież: doktoranci i studenci z kół naukowych oraz samorządu Politechniki Warszawskiej, a także uczniowie Technikum Mechatronicznego nr 1, Zespołu Szkół nr 59 w Warszawie oraz Liceum Ogólnokształcącego w Piastowie. W sumie ok. 300 osób.

Spotkanie odbyło się pod Patronatem Narodowym Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Andrzeja Dudy w Stulecie Odzyskania Niepodległości oraz pod Honorowym Patronatem Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego.

Janusz Mikołaj Kowalski

ZESPÓŁ REDAKCYJNY:

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

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 Kosiciach, Słowacja), prof. Michael Kheifetz (Polski Gosudarstwiennyj Uniwersytet, Białoruś), doc. dr inż. Radek Knoflíček (FME Brno, Czechy), prof. Mark Kristal (Volgograd State Technical University, Rosja), prof. Józef Kuczmaszewski (Politechnika Lubelska), prof. Piotr Lebkowski (AGH), prof. Antonio Maffei (KTH Royal Institute of Technology, Szwecja), prof. Ignace Martens (Katholieke Universiteit Leuven, Belgia), prof. Jacek Mucha (Politechnika Rzeszowska), prof. Vitalii Pasichnyk (Nacjonalnyj Technicznyj Uniwersytet Ukrainy „Kijewskij Politechnicznyj Instytut”, Ukraina), prof. R. M. Chandima Ratnayake (University of Stavanger, Norwegia), prof. Emil Spisak (Technika Univerzita v Kosiciach, 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 Automatyka 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:



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



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

Kielec R., Sasiadek M.: Macierzowa metoda planowania przedsięwzięć technicznych w budowie maszyn.	6
Domińczuk J.: Analiza możliwości budowy wysokowydajnych elastycznych linii pakowania w oparciu o konstrukcje modułowe	11
Wiśnicki B., Dzhuguryan T.: Elastyczne procesy logistyczne z wykorzystaniem modułowych jednostek ładunkowych	16
Barylski A.: Analiza porównawcza stosowania przedmiotowych uchwytów modułowych i specjalnych.	21
Chłosta M., Klusek K., Kobiałka J., Welc M.: Nitownica z modułową głowicą narzędziową	27
Nieoczym A., Drozd K.: Modułowa konstrukcja żurawi przyczepowych	34
Kluz R., Bucior M., Kubit A., Wydrzyński D.: Wpływ błędów orientacji robota montażowego na montowalność części o powierzchniach płaskich	37
Modrak V., Soltysowa Z., Stadnicka D.: Czynniki sukcesu i przyszłe trendy w masowej indywidualizacji.	42
Antosz K., Kluz R.: Badanie zdolności jakościowej procesów z jednostronną granicą tolerancji	49
Gąsior J., Komorek A., Rośkowicz M., Tkaczuk S.: Ocena możliwości zastąpienia nitów typu solid w połączeniach konstrukcji lotniczych	53
Akimow O., Oborski I., Lipiński T.: Dynamiczne charakterystyki uchwytu szpulowego z trójstożkowym pakietowaniem szpulowo-przewijającej maszyny BP-340	57

Kielec R., Szaśiadek M.: Innovative method of the planning new projects in mechanical engineering	6	Келец Р., Сонсядек М.: Матричный метод планировки технических предприятий в машиностроении	6
Domińczuk J.: The analysis of the possibility of building the high-efficiency, modular elastic packing lines.	11	Доминьчук Я.: Анализ возможности построения производительных гибких линий упаковки па основании модульных конструкции . .	11
Wiśnicki B., Dzhuguryan T.: Flexible logistic processes with the use of modular loading units	16	Висьницки В., Дзугуриян Т.: Гибкие логистические процессы с применением модульных упаковочных узлов	16
Barylski A.: Comparative analysis of the application of the modular and special object handles.	21	Барыльски А.: Сравнительный анализ применения предметных специальных модульных приспособлений	21
Chłosta M., Klusek K., Kobiałka J., Welc M.: Riveting machine with modular tools head . . .	27	Хлоста М., Ключек К., Кобялка Я., Вельц М.: Заклепочная установка с модульной инструментальной головкой	27
Nieoczym A., Drozd K.: Modular design of trailers cranes.	34	Неочим А., Дрозд К.: Модульная конструкция прицепа крана	34
Kluz R., Bucior M., Kubit A., Wydrzyński D.: The impact of assembly robot orientation errors on the assembly of parts with flat surfaces . . .	37	Клюз Р., Буциор М., Кубит А., Выджынски Д.: Влияние ошибок ориентировки сборочного робота на собираемость деталей с плоскими поверхностями	37
Modrak V., Soltysova Z., Stadnicka D.: Success factors and future trends in mass customization	42	Модрак В. Солтысова З., Стадницка Д.: Факторы успеха и перспективы Mass Custamization	42
Antosz K., Kluz R.: Analyze of process quality capability with one side specification limit	49	Антош К., Клюз Р.: Исследование качественной пригодности с односторонним пределом допуска	49
Gąsior J., Komorek A., Rośkowicz M., Tkaczuk S.: Assessment of the possibility of replacing solid rivets in joints of aircraft structure	53	Гонсиор Я., Коморек А., Роськович М., Ткачук С.: Оценка возможности замены заклепок типа солид в соединениях авяконструкции	53
Akimow O., Oborski I., Lipiński T.: Dynamic parameters bobinopilar with three conical packaging bobinazhno-rewinding machines BP-340. .	57	Акимов С., Оборски И., Липински Т.: Динамические характеристики бобинодержателя с трехконусным пакетированием бобинажно-перемоточной машины БИ-340	57

Wskazówki dotyczące przygotowania artykułów

- Artykuły przeznaczone do opublikowania w kwartalniku „Technologia i Automatykacja Montaży” 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 winny być ponumerowane cyframi arabskimi i umieszczone w nawiasach kwadratowych. W przypadku korzystania z Internetu należy podać adres strony i datę odczytu. Liczbę autocytaowań 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 Montaży” 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 Montaży” w 2018 r.

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

Cena prenumeraty rocznej wynosi: 100 zł (w tym 23% VAT).

Rabaty:

30% – 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
- **on-line:** 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).

O POŻYTKACH STANDARYZACJI W PRZEDSIĘBIORSTWACH

Jerzy ŁUNARSKI

Stalą troską wytwórców wyrobów i dostawców usług jest potrzeba doskonalenia takich atrybutów swoich wytworów jak: wartość dla klienta, funkcjonalność, ekonomiczność, jakość, bezpieczeństwo i inne. Użytecznymi sposobami pozwalającymi osiągać sukcesy w tym zakresie są m.in.: normalizacja i stymulowana nią standaryzacja. Jak wiadomo normalizacja jest działalnością prowadzoną przez upoważnione instytucje krajowe, regionalne (np. europejskie) i międzynarodowe, których celem jest zapewnienie optymalnego stopnia uporządkowania w poszczególnych dziedzinach aktywności społeczeństw. Cele te uzyskuje się dzięki opracowywaniu postanowień przeznaczonych do powszechnego i wielokrotnego stosowania. Są one publikowane w normach technicznych, specyfikacjach, przepisach, memorandumach i innych dokumentach. Dotyczą one procesów, wyrobów, usług i działań realizowanych we wszystkich ważnych dziedzinach działalności gospodarczej i innych. Dzięki stosowaniu ujednoczonych, optymalnych zasad postępowania normalizacyjnego, opracowanych na podstawie długotrwałych doświadczeń, publikowane w dokumentach rozwiązania charakteryzują się: nowoczesnością, uwzględnieniem osiągnięć nauki i techniki oraz praktycznych doświadczeń, zawartością rozwiązań ekonomicznych, bezpiecznych i preferowanych oraz ograniczają różnorodność do koniecznego minimum. Dokumenty te przeznaczone są do dobrowolnego stosowania przez zainteresowanych, są one okresowo nowelizowane celem uwzględnienia zmieniających się warunków i są przeznaczone w szczególności dla jednostek o ograniczonych zasobach wiedzy.

Powszechna akceptacja korzyści jakie daje normalizacja, spowodowała jej szeroki rozwój i objęcie jej zasięgiem (w postaci tworzenia odpowiednich dokumentów) takich aspektów jak:

- normy procesów, wyrobów i usług celem zapewnienia ich funkcjonalności i ekonomiczności,
- normy interfejsów i badań celem zapewnienia kompatybilności,
- normy terminologiczne celem zapewnienia jednoznaczności rozumienia różnych pojęć,
- normy z zakresu zarządzania różnymi aspektami funkcjonowania organizacji (jakość, środowisko, bezpieczeństwo, projektowanie, informacje, dostawy, odpowiedzialność społeczna i in.),

- normy z zakresu zjawisk zagrażających funkcjonowaniu organizacji (konflikty, kryzysy, korupcja, finanse, ryzyko i in.).

Postanowienia, wymagania, wytyczne i przepisy formułowane są w dokumentach normatywnych w sposób uogólniony, umożliwiając ich praktyczne zastosowanie z pomocą różnych wariantów postępowania, przydatnych w warunkach konkretnej organizacji (geograficznych, historycznych, społecznych, osobowych i in.). Jest to realizowane w postaci wewnątrz organizacyjnych standardów, mających zapewnić stabilność i jakość procesów wewnętrznych, ograniczenie ich różnorodności, zapewnienie powtarzalności wyników poszczególnych działań, umożliwienie łatwej zastępowalności poszczególnych wykonawców oraz unikanie błędów, pomyłek, nieefektywnych działań i działań zagrażających pozycji organizacji.

Podstawą opracowywania standardów wewnątrzorganizacyjnych są:

- odpowiednie normy opracowane przez upoważnione organizacje normalizacyjne,
- wiedza jawna i niejawną zgromadzoną w organizacji,
- przepisy prawa dotyczące rozpatrywanych w standardzie zagadnień,
- przyjęte przez organizację wytyczne dotyczące jej strategii, rynków, wyrobów, klientów, personelu i otoczenia.

Standaryzacja polega na analizowaniu wszelkich problemów, procesów, wyrobów, aspektów zarządzania itp. i ustalaniu optymalnego sposobu postępowania w warunkach danej organizacji. Opracowane rozwiązania są opisywane w standardach organizacji i zawierają szczegółowe, obowiązkowe reguły postępowania. Z powyższego powodu standaryzacja jest ważnym elementem ogólnego zarządzania organizacją, które odbywa się m.in. przez skrupulatne przestrzeganie wytycznych, wymagań i przepisów zawartych w standardzie. Do typowych standardów opracowywanych w organizacjach należą m.in.:

- zakładowe normy dotyczące realizowanych procesów, wyrobów i inne,
- normy zewnętrzne zaadoptowane bez zmian do przestrzegania w organizacji,
- statuty, regulaminy i kodeksy organizacji,
- obowiązujące opisy realizowanych procesów oraz dokumenty konstrukcyjne wytwarzanych wyrobów,
- opracowane procedury postępowania wraz z koniecznymi instrukcjami stanowiskowymi,

- wymagania zasobów wiedzy na poszczególnych stanowiskach oraz zalecane sposoby jej uzupełnienia do wymaganego poziomu,
- normatywy zużywania poszczególnych zasobów: czasu, materiałów, energii, narzędzi na jednostkę wyrobu,
- dokumenty regulujące specyficzne aspekty organizacji wynikające z jej unikalnych właściwości lub pozycji.

Przy opracowywaniu standardów wewnątrzorganizacyjnych przeznaczonych do obowiązkowego i długotrwałego (do momentu kolejnej nowelizacji) należy przestrzegać określonych zasad postępowania. Opierając się na praktycznych doświadczeniach przedsiębiorstw szeroko stosujących standaryzację, można wskazać następujące jej zasady, które powinny również uwzględniać wymagania odchudzonej produkcji i szczupłego zarządzania:

- a) Standardy przeważnie dotyczą materiałów, wyrobów, procesów, serwisowania i sposobów postępowania w różnych sytuacjach (np. kontakty z klientem, szkolenia, odnowa technologii, postępowanie z innowacjami i in.).
- b) Standardy są opracowywane przez zespoły specjalistów i praktyków, na podstawie dostępnej wiedzy i umiejętności praktycznych członków zespołu, po upewnieniu się o przydatności danego standardu dla organizacji.
- c) W treści opracowywanego standardu należy w przejrzysty, jednoznaczny i zrozumiały sposób opisać szczegółowo metody postępowania, wykorzystywane zasoby oraz oczekiwane wyniki postępowania według ustaleń standardu.
- d) Postępowanie standardowe (tzn. według odpowiedniego, opracowanego standardu) powinno umożliwiać łatwą realizację, kontrolę i wizualizację poszczególnych działań.
- e) Standardy powinny być okresowo przeglądane i, gdy zachodzi potrzeba, aktualizowane (w sytuacjach rozwiązywania problemów, wdrażania innowacji, realizacji inwestycji itp.).
- f) W celu poprawnego posługiwania się standardami i nadzorowania ich aktualności personel powinien być szkoleny, celem nabycia koniecznych kompetencji.

- g) Przykładami typowych standardów tzn. wewnętrznych dokumentów, zatwierdzonych do przestrzegania i stosowania są: procedury, instrukcje, opisy procesów i wyrobów, zakładowe normy i normatywy itp.

Standaryzacja przeważnie jest ukierunkowana na różnorodne aspekty pracy i zagadnienia z nimi związane. Dotyczy to zwłaszcza projektowania, nadzoru, produktywności, zdolności produkcyjnych, bezpieczeństwa, zasobów, planowania, problemów itp. Standaryzacja powinna być prowadzona na podstawie rzeczywistych danych zmierzonych lub zaobserwowanych bezpośrednio w procesach lub działaniach. Poszczególne standardy powinny być nadzorowane, tzn. należy wskazać osoby odpowiedzialne i szczegółowe sposoby pełnienia nadzoru (miejsce, czas, sposób). Aby standaryzacja przynosiła korzyści, należy przeciwdziałać negatywnym zjawiskom, jakie ona może powodować, tzn.:

- unikać rutynowego postępowania do którego skłania standaryzacja,
- aktywizować twórcze myślenie, częściowo blokowane przez zasady standaryzacji,
- wprowadzać zmiany doskonalące, wbrew obowiązującym standardom (przeprowadzać ich częstą aktualizację).

Niewłaściwa standaryzacja może prowadzić do tzw. przeregulowania, polegającego na nadmiernym zbiurokratyzowaniu systemu. Do standaryzacji zaliczamy również modularyzację wewnątrzorganizacyjną oraz wiążącą wiele różnych organizacji.

Organizatorzy VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-technicznej n.t. Modułowe Technologie i Konstrukcje w Budowie Maszyn tzn. Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej oraz Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie wraz z redakcją i Komitetem Naukowo-Programowym pragną wyrazić uznanie dla zgłoszonych prac uczestników konferencji oraz życzyć im twórczych inspiracji w trakcie obrad, dyskusji i rekreacji, jak również nawiązania owocnych więzi współpracy w trakcie pozaobradowych spotkań i programu rekreacyjnego.

MACIERZOWA METODA PLANOWANIA PRZEDSIĘWZIĘĆ TECHNICZNYCH W BUDOWIE MASZYN

Innovative method of the planning new projects in mechanical engineering

Roman KIELEC, Michał SAŚIADEK

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodę macierzową do planowania nowatorskich przedsięwzięć w MSP. Przedstawiono oryginalny, zaczerpnięty z przemysłu przebieg procesu planowania, projektowania i wytwarzania modułu obudowy frezarki, pod branżową nazwą Kabina M10, od momentu wpłynięcia zapytania od klienta po wysyłkę gotowego produktu. W analizowanym przedsiębiorstwie planowanie produkcji realizowane było przy pomocy tradycyjnych metod graficznych takich jak PERT lub GANTT. Autorzy pracy zaproponowali do rozwiązania problemu planowania nowych przedsięwzięć innowacyjną metodę bazującą na kwadratowej macierzy zależności. Do automatyzacji procesu optymalizacji przebiegu procesu projektowania i wytwarzania wykorzystali autorski program Mag Project, w którym to zaimplementowano własne opracowanie Algorytmu Genetycznego. Do analizy realizacji zadań w macierzy wykorzystano ideologię inżynierii współbieżnej oraz przedstawiono zalety jej stosowania. Po zapoznaniu się z funkcjonowaniem firmy opracowano dla omawianego modułowego produktu nowy proces planowania produkcji. Nową procedurę realizacji Kabiny M10 przedstawiono w formie zoptymalizowanej macierzy sprzężeń.

Słowa kluczowe: budowa maszyn, zarządzanie projektem, planowanie, macierz sprzężeń

Abstract: The paper presents a matrix method for planning of the innovative ventures in the SMEs sector. The article presents the original process of designing and manufacturing the milling enclosure module taken from the industry, under the trade name of the 'M10 cabin', from the moment of receiving the inquiry from the customer to the shipment of the finished product. In the analyzed company, production planning was implemented by use of traditional graphic methods such as PERT or GANTT. The authors of the work proposed an innovative method based on a quadratic dependence matrix to solve the problem of planning new ventures. For the automation of the optimization process of the design and production processes, the proprietary program Mag Project was used, in which the own development of the Genetic Algorithm was implemented. The ideology of concurrent engineering and the advantages of its application were used to analyze the implementation of tasks in the matrix. After becoming familiar with the company's operation, a new production planning process was developed for this modular product. The new 'M10' booth implementation procedure is presented in the form of an optimized coupling matrix.

Keywords: mechanical engineering, project management, planning, coupling matrix

Wstęp

Produkty wytwarzane w firmach uzyskują większą konkurencyjność m.in. dzięki wprowadzaniu nowych technologii, standaryzacji projektowania modułowego, podnoszeniu kwalifikacji pracowników czy modernizacjom zakładu produkcyjnego. Zleceniodawcy wymagają, aby produkty były jak najtańsze, jak najszybciej wyprodukowane i charakteryzowały się wysoką jakością [1]. Autorzy artykułu wyznaczyli sobie za cel wdrożenie nowatorskiej metody macierzowej do planowania projektów technicznych w wybranym przedsiębiorstwie produkcyjnym. Zrealizowano go na podstawie procesu wytwarzania jednego produktu – modułowej obudowy do frezarki o nazwie branżowej Kabina M10.

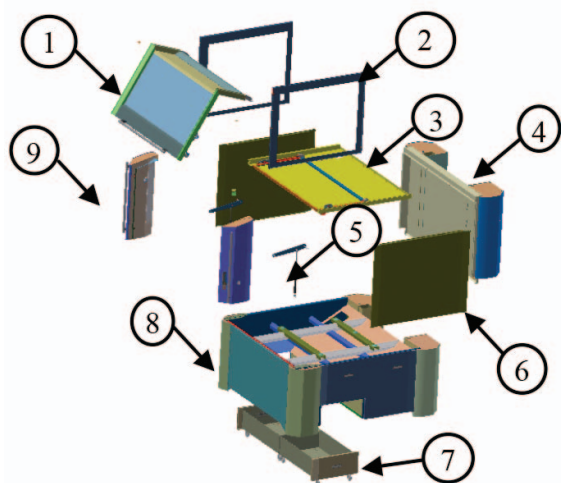
W pracy przedstawiono zastosowanie metody macierzowej do racjonalizacji realizowanych w przedsiębiorstwie procesów projektowo-wytwórczych. Założono, że racjonalizacja analizowanego procesu polegać będzie na skróceniu czasu i zmniejszeniu kosztu jego wytwarzania. Na podstawie informacji o aktualnie realizowanej w procesie kolejności realizacji zadań, zbudowano macierz zależności. Przy pomocy autorskiego programu

komputerowego MagProject [2], wykorzystującego do optymalizacji przedsięwzięć Algorytm Genetyczny (AG), zdefiniowano przebieg analizowanego procesu produkcyjnego.

Dekompozycja modułu obudowy frezarki – Kabina M10

Wybrane do analizy przedsiębiorstwo otrzymało zlecenie na zaprojektowanie i wykonanie Kabiny M10 – obudowa do frezarki (rys. 1). Na podstawie tego projektu przedstawiono rzeczywisty proces planowania i produkcji, od złożenia zamówienia przez klienta do wysyłki gotowego produktu. Kabina M10 została wybrana ze względu na zaangażowanie w realizacji wszystkich działań przedsiębiorstwa. Dzięki temu powstała dogłębna analiza, wpływająca na ocenę efektywności firmy, będąca podstawą do wniosków i prezentacji nowych rozwiązań, w założeniu mających poprawić funkcjonowanie firmy.

Czynności związane z konstrukcją, planowaniem technologii i wszelkimi zmianami występującymi podczas produkcji wykonywane są przez jedną osobę – kierownika działu konstrukcyjnego. Spotkanie działów – jakościowego, handlowego, konstrukcyjnego, technologicznego,



Rys. 1. Zdekomponowana kabina frezarki [4]
Fig. 1. Decomposed cabin of the milling machine [4]

metalowego i lakierni – następuje po montażu całościowym obudowy. Na spotkaniu zostaje omówiony projekt i proces produkcyjny wraz z błędami, które wystąpiły podczas realizacji zlecenia. Na tej podstawie sporządza się sprawozdanie. Na rys. 1. przedstawiono dekompozycję Kabiny M10 składającej się z: 1 – kłapa, 2 – rama, 3 – dach, 4 – ściana tylna, 5 – dźwignia, 6 – ściany boczne, 7 – kosz, 8 – rama, 9 – słupki.

Analizowany proces planowania i wytwarzania Kabiny M10 w przedsiębiorstwie

W tab. I. zestawiono sekwencyjnie zadania częściowe, niezbędne do wytworzenia produktu. Trzecia kolumna odnosi się do skrótów zadań, które zastosowano w macierzy zależności. Kolejne dwie kolumny to czas realizacji zadań oraz ich koszt podany w jednostkach umownych. W ostatniej kolumnie wpisano dane wejściowe, wymagane do realizacji poszczególnego zadania.

Tabela I. Kolejność operacji dla realizacji analizowanego produktu (opracowanie własne)
Table I. The order of operations for implementation of the analyzed product (own study)

Lp.	Nazwa	Skrót	Czas [min]	Koszt [ju]	Wyjście informacji
1.	Zapytanie i wysyłka dokumentacji	ZO	120	120	2
2.	Tłumaczenie dokumentacji	TD	60	70	1,3,4
3.	Opracowanie konstrukcji	KO	12000	16000	2,4,5
4.	Kalkulacja i dane szczegółowe	KDS	1920	2240	3,5
5.	Oferta	O	60	70	4,6
6.	Negocjacje handlowe	NH	900	1050	3,4,5,7
7.	Zamówienie od klienta na prototyp	ZP	77760	0	8,9,10,11
8.	OZ – zlecenie handlowe	WZH	10	10	9,11,13
9.	OZ – zlecenie produkcyjne	WZP	10	10	8,10,13
10.	Lista pobrań – magazyn	LPM	5	5	9,11,13
11.	Lista pobrań – dział zakupów	LPZ	5	5	8,10,12,13,16,17
12.	Realizacja prototypu	RP	60	70	13
13.	Tworzenie drzewa materiałowego	TDM	60	60	10,11,14,15
14.	Tworzenie protokołu– operacje	OE	10	10	13,15
15.	Wykonanie detali	WD	4740	6320	11,13,16,18,21
16.	ZM – lista dostawców	ZMD	90	90	11,17
17.	ZM – lista kooperacji	ZMK	120	120	11,18
18.	Potwierdzenie terminu realizacji	PTR	60	60	19
19.	Wykonanie prototypu	WP	7860	10480	3,13,14,20
20.	Wykonanie instrukcji montażowych	ZIM	1440	1680	21
21.	Montaż zespołów	MZ	2220	2960	15,20,22
22.	Przekazanie na magazyn	PM	60	70	23
23.	Spotkanie działów	SD	60	60	3,14,24
24.	Protokół końcowy i karta technolog.	PKKT	60	70	25
25.	Dokumentacja do wysyłki	DW	60	60	26
26.	Zatwierdzenie prototypu przez klienta	ZPK	120	140	3,5,14,15,19,27
27.	Zamówienie transportu	ZT	60	60	28
28.	Załadunek i wysyłka	ZW	120	140	-

Zastosowanie macierzy zależności do racjonalizacji planowania produkcji modułu obudowy frezarki – Kabina M10

Na podstawie opracowanej wspólnie z pracownikami firmy tab. I przedstawiono realizowany obecnie przebieg procesu planowania i produkcji Kabiny M10. Na rys. 2 zaprezentowano macierz zależności stanu obecnego, zaś kolejnym krokiem było wykonanie optymalizacji macierzy wraz z jej analizą. Metoda macierzowa polega na zapisie zadań częściowych w postaci macierzy strukturalnej, w której zadania reprezentowane są przez numerowane pola mieszczące się na głównej przekątnej. Istniejące pomiędzy tymi zadaniami relacje informacyjne zapisuje się w postaci sprzężeń. Zadanie może generować dane lub je absorbować [2]. Przykład takiej macierzy pokazano na rys. 2.

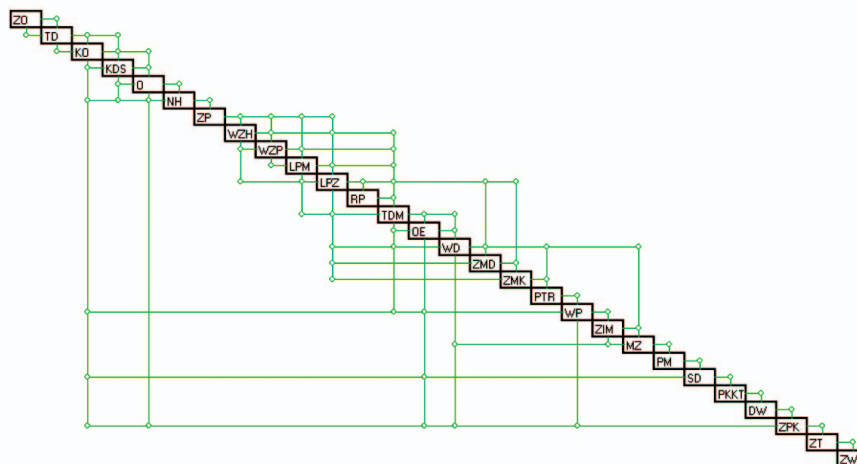
Analizowany proces rozpoczyna się od zadania w górnym lewym polu i postępuje do ostatniego zadania częściowego, w prawym dolnym polu. Połączenia zaznaczone są liniami: wyjście zadania (wynik) to linia pozioma, a wejście – linia pionowa. Zależności powyżej przekątnej przedstawiają sprzężenia progresywne, natomiast poniżej przekątnej – sprzężenia zwrotne. Szczegółową analizę macierzy zależności z podziałem na moduły realizacyjne (bloki iteracyjne) przedstawiono w pracach [2, 3].

Na macierzy sprzężeń można zidentyfikować wszystkie znane połączenia pomiędzy zadaniami, jak również ujawnić konfigurację sprzężeń zwrotnych, generujących dodatkowe koszty i zwiększających czas realizacji projektu. Z rys. 3 można odczytać całkowity koszt procesu

(„Total Cost”) z uwzględnieniem sprzężeń zwrotnych i skrzyżowań, który wynosi 242986 [ju], całkowity czas procesu („Total Time”) to 431741 [min]. Przy liczbie dwudziestu ośmiu komórek („tasks”) liczba sprzężeń zwrotnych („Feedbacks”) to 30, a liczba skrzyżowań („Feedback Crossovers”) – 31. Z powodu licznych skrzyżowań i sprzężeń zwrotnych generowany jest dodatkowy koszt („Feedbacks’Cost”) rzędu 200956 [ju] i czas („Feedbacks’Time”) 321691 [min].

Ze względu na fakt, iż konstrukcją, technologią oraz nadzorem nad procesem produkcyjnym zajmuje się jedna osoba (konstruktor), nie istnieje możliwość pominięcia komórki KO w żadnej fazie procesu. Dostarczenie informacji w celu zmiany projektu wiąże się ze stałym zaangażowaniem konstruktora. Tak liczne powiązania pomiędzy komórkami generują powstanie sprzężeń zwrotnych na macierzy, będących konsekwencją nielogicznego układu zadań. Wszelkie modyfikacje wynikające z negocjacji handlowych z klientem (NH) czy z kalkulacji kosztu (KDS) mogą wiązać się ze zmianami konstrukcyjnymi. Zastosowanie innych narzędzi podczas wykonywania prototypu (WP) czy zatwierdzenie protokołu końcowego (ZPK) zawierającego modyfikacje niezbędne do dalszej produkcji muszą być zaakceptowane i wprowadzone przez konstruktora. Nie istnieją odrębne komórki mogące przejąć część obowiązków wynikających z konieczności wprowadzania zmian.

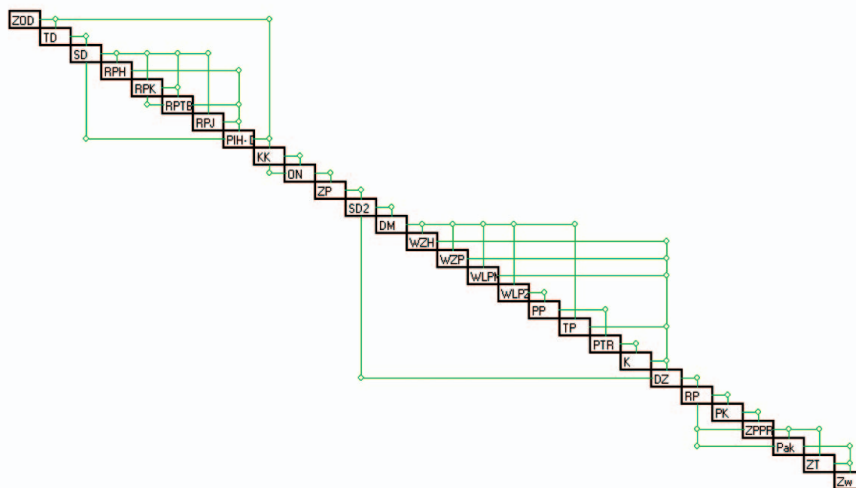
Kolejna bardzo ważna cecha macierzy to sekwencyjność realizacji zadań. Odpowiednie czynności muszą zostać wykonane po poprzedniej. W firmie nie uwzględnia się idei inżynierii współbieżnej, co znacznie wydłuża czas



Rys. 2. Macierz zależności procesu planowania przedsiębiorstwa przed racjonalizacją
Fig. 2. The matrix of the enterprise planning process prior to rationalization

Information/Statistic		Evolution - Result		Evolution - Progress		Communicator	
Project title:				No. of tasks:	28		
Total Cost:	242986	Total Time:	431741	Fitness:	1.3396E-023		
Feedbacks' Cost:	200956	Feedbacks' Time:	321691	Feedbacks:	30	Feedback Crossovers:	31

Rys. 3. Prezentacja wyników z programu Mag Project
Fig. 3. Presentation of the results from the Mag Project programme



Rys. 4. Propozycja zoptymalizowanego procesu planowania produkcji
 Fig. 4. Proposal of an optimized production planning process

Information/Statistic		Evolution - Result	Evolution - Progress	Communicator
Project title:				No. of tasks: 28
Total Cost: 61200	Total Time: 124914			Fitness: 1.3163E-019
Feedbacks' Cost: 29740	Feedbacks' Time: 22754			Feedbacks: 6
				Feedback Crossovers: 0

Rys. 5. Parametry programu Mag Project dla wynikowej macierzy (opracowanie własne)
 Fig. 5. Parameters of the Mag Project program for the resulting matrix (own study)

realizacji całego projektu [3]. Sekwencyjna realizacja zadań znacznie wydłuża wymianę informacji w zespołach multidyscyplinarnych. Dodatkowo istnieje możliwość powstawania konfliktów przez niejasne dedykowanie zadań i zakresu obowiązków [5]. Zbyt duża odpowiedzialność i obciążenie zadaniowe spoczywające na jednej komórce obarczone jest większym ryzykiem popełnienia błędu lub pominięcia istotnych szczegółów w ostateczności wpływających na jakość produktu. Firma opracowała proces planowania, który nie gwarantuje powodzenia realizacji projektu. Gdyby, ze względów losowych, zabrakło osoby odpowiadającej za konstrukcję, nastąpiłoby niepowodzenie projektu. Kolejną wadą omawianego procesu planowania jest duża liczba skrzyżowań, tj. linii pod przekątną przecinających się. Skrzyżowania w macierzy zależności skutkują tym, że czynność występująca na skrzyżowaniu musi zostać wykonana ponownie.

Omawiany proces planowania to jeden duży blok iteracyjny. Nie istnieje podział na mniejsze bloki, które umożliwiłyby sprawniejszą kontrolę. Gdyby istniało kilka mniejszych bloków – dodanie po każdym z nich komórki decyzyjnej nie stanowiłoby problemu. Zadaniem takiej komórki jest sprawdzenie wszystkich wykonanych zadań i podjęcie decyzji o zakończeniu prac w danym module, a następnie przekazanie informacji o możliwości rozpoczęcia pracy w kolejnym. Realizacja zadań w nowym bloku skutkowałaby skróceniem sprzężeń zwrotnych, gdyż nie byłoby konieczności powrotu do poprzedniego bloku iteracyjnego.

Zastosowanie macierzy zależności do racjonalizacji planowania analizowanego procesu

Metoda oparta na macierzy zależności zawiera wszystkie znane połączenia pomiędzy zadaniami realizacyjnymi, które powinny występować w analizowanym procesie. Jako jedna z nielicznych metod odwzorowuje zarówno sprzężenia progresywne jak i zwrotne oraz skrzyżowania biorące udział przy wyliczaniu całkowitego czasu i kosztu realizacji przedsięwzięcia.

Zoptymalizowany pod względem kosztu, czasu, sprzężeń zwrotnych i skrzyżowań proces planowania produkcji Kabiny M10 przedstawiono na rys. 4. Różni się od dotychczas realizowanej procedury kolejnością realizacji zadań oraz sposobem ich wykonywania. Dzięki zmianie kolejności oraz dodatkowym komórkom organizacyjnym uzyskano zmniejszenie liczby sprzężeń zwrotnych oraz ich znaczne skrócenie. Ponadto można zauważyć wyodrębnienie dwóch dużych modułów iteracyjnych. Moduły są zamkniętą częścią procesu, których działania kończą się wraz z podjęciem decyzji o otrzymaniu wszystkich informacji lub wykonaniu w pełni zadań, przez którą tego wyznaczoną. Wyjście z modułu zamyka możliwość powrotu do którejkolwiek komórki należącej do danego bloku. Zwiększa to odpowiedzialność komórki decyzyjnej, jednak dla całości procesu jest to korzystne rozwiązanie. Przy stosowaniu takiego procesu planowania każda komórka ma sprecyzowane zadania i cele konieczne do jej efektywnego wykonania.

W omawianej wynikowej macierzy zależności zachodzi równoległość, którą można zaobserwować na przykładzie komórek RPH oraz RPJ. Obie te komórki są niezależne od siebie i wykonywane zadania mogą być realizowane w tym samym czasie. Czas realizacji wszystkich wyznaczonych celów przez komórkę RPH wynosi 120 [min], a przez RPJ – 1920 [min]. Gdyby obie czynności były wykonywane szeregowo czas całości wyniósłby 2040 [min]. Dzięki zastosowaniu równoległości pod uwagę należy wziąć najdłuższy z dwóch czasów, czyli 1920 [min]. Przy rozwiązaniu równoległym tylko dla dwóch zadań zyskuje się 120 [min], a w macierzy będącej propozycją realizacji nowego procesu planowania występuje więcej czynności równoległych.

Kolejny przykład różniący dotychczasowe planowanie od nowej procedury to zastosowanie współbieżności, zapewniającej wymianę informacji, gwarantującą efektywną współpracę pomiędzy komórkami. Przykład współbieżności zachodzi między komórkami RPK oraz RPTB, podobnie jak w równoległości za czas wykonania przyjmuje się najdłuższy czas jednego z omawianych zadań. Zastosowanie w nowym procesie planowania dwóch opisanych wyżej rozwiązań – równoległości i współbieżności znacznie wpływa na skrócenie czasu realizacji i zmniejszenie kosztu procesu. W porównaniu z wynikiem macierzy planowania stosowanego w przedsiębiorstwie i przedstawionego na rys. 2, zauważono znaczne zmniejszenie liczby sprzężeń zwrotnych i skrzyżowań wpływających na czas i koszt realizacji zlecenia. Czas został zmniejszony o 306827 [min] a koszt całkowity zmalał o 181786 [ju].

Podsumowanie i wnioski

Macierze planowania procesu produkcyjnego zarówno przed jak i po optymalizacji należy przeanalizować pod względem realnego czasu i kosztu realizacji zlecenia.

Czas realizacji procesu planowania i produkcji po racjonalizacji wynosi 124914 [min]. W porównaniu z czasem dotychczas realizowanego procesu przed optymalizacją wynoszącym 431741 [min] zaoszczędzono zatem 306827 [min].

Rzeczywisty koszt realizacji procesu planowania po racjonalizacji wynosi 61200 [ju] – jednostek umownych podanych przez producenta. W porównaniu z kosztem aktualnie realizowanego procesu – 242986 [ju] oszczędza się 181786 [ju].

Cel główny – wdrożenie nowej metody macierzowej do planowania nowych przedsięwzięć w analizowanym przedsiębiorstwie został osiągnięty. Dowodzi temu macierz nowego procesu planowania produkcji, którą zbudowano na podstawie już istniejącego procesu i przedstawiono na rys. 4. Macierz zależności odzwierciedla przepływ informacji i kolejność wykonywania czynności przez poszczególne komórki zadaniowe. Nowe procedury są możliwe do zrealizowania, ponieważ ich budowa polegała na wykorzystaniu już istniejących i funkcjonujących stanowisk pracy. Nowy proces planowania ma zastosowanie uniwersalne, nie tylko do jednego realizowanego przedsięwzięcia. Większa część produktów wytwarzanych w firmie przechodzi przez fazę planowania i proces produkcji. Macierze zależności w programie MagProject można w dowolny sposób modyfikować, tj. dodawać lub usuwać poszczególne komórki zadaniowe. Przy pomocy takiej funkcji programu omawiane macierze procesu planowania zlecenia można dostosować do wielu produktów, bez konieczności budowy jej od podstaw. Dzięki modyfikacji istnieje możliwość doprowadzenia procesów planowania produkcji do racjonalnej i efektywnej realizacji.

LITERATURA

- [1] Durlik I. 2000. „Inżynieria zarządzania. Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych. Część I”. Warszawa: Wydawnictwo Placet.
- [2] Kielec R. 2013. “New method for engineering projects management with the use of evolutionary algorithm”. 7th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, CONFENIS 201, Prague.
- [3] Kielec R., M. Sasiadek. 2014. „Macierzowe planowanie procesów produkcyjnych w inżynierii współbieżnej”. Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego.
- [4] Materiały wewnętrzne firmy (niepublikowane).
- [5] Mazur L. 2005. “Project task-member assignment using design structure matrix and genetic algorithm in concurrent engineering: project management”. Wydawnictwo Montana State University, Bozeman.

dr inż. Roman Kielec – Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego, ul. Prof. Szafrana 4, 65-001 Zielona Góra, e-mail: r.kielec@iizp.uz.zgora.pl

dr hab. inż. Michał Sasiadek, prof. UZ – Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego, ul. Prof. Szafrana 4, 65-001 Zielona Góra, e-mail: m.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl

ANALIZA MOŻLIWOŚCI BUDOWY WYSOKOWYDAJNYCH ELASTYCZNYCH LINII PAKOWANIA W OPARCIU O KONSTRUKCJE MODUŁOWE

The analysis of the possibility of building the high-efficiency, modular elastic packing lines

Jacek DOMIŃCZUK

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę znaczenia stosowania zespołów modułowych w procesie projektowania elastycznych linii pakowania. Prezentowane w pracy przykłady rozwiązań modułowych posłużyły do wyodrębnienia i wskazania czynników decydujących o stosowaniu tego typu rozwiązań w konstrukcjach zautomatyzowanych, charakteryzujących się wysoką wydajnością. Rozwiązania te dzięki swojej konfiguracyjnej elastyczności pozwalają na znaczące skrócenie czasu wytworzenia systemów produkcyjnych, jak również wpływają na obniżenie kosztów ich budowy. W wyniku przeprowadzonych analiz wskazano na potrzebę stosowania w procesie projektowania zespołów modułowych, co bezpośrednio przekłada się na zwiększenie konkurencyjności maszyn i urządzeń budowanych w oparciu o te rozwiązania.

Słowa kluczowe: linie montażowe, zespoły modułowe, projektowanie

Abstract: The analysis of the importance of applying modular units in the process of designing the elastic packing lines was introduced in the article. The examples of modular solutions presented in the work were used to isolate and indicate factors explaining applying this type of solutions when designing high efficiency, automated designs. These solutions, due to their configurational elasticity, allow shortening time of building the productive systems as well as lowering costs of building. As the result of conducted analyses, it was pointed that applying modular units in the process of designing, directly increases the competitiveness of machines and devices built basing on these solutions.

Key words: assembly lines, modular systems, designing

Wprowadzenie

Systemy wytwarzania (w tym pakowania) stosowane w przedsiębiorstwach, muszą zapewniać im przewagę konkurencyjną. Wiąże się to z potrzebą uzyskania wysokich wydajności oraz możliwości szybkiego reagowania na zmieniający się asortyment czy wersję produktu. W dużej mierze wymagania te zapewniają elastyczne systemy wytwarzania [6]. Wymagania jakie muszą spełniać systemy wytwórcze, w tym linie pakowania, niejednokrotnie powodują, że osiągnięcie zadawalającego poziomu elastyczności wiąże się ze znacznymi kosztami jej wytworzenia. Ważne jest przy tym odpowiednie zaplanowanie układu wytwórczego tak, by optymalnie wykorzystać jego możliwości.

Oczekiwaniem wielu producentów maszyn przemysłowych jest taka standaryzacja elementów składowych maszyn, aby tworzenie gotowych wyrobów mogło odbywać się przez ich budowę ze standardowych modułów, które mogą być łączone ze sobą w różnych konfiguracjach, zapewniając przy tym różną funkcjonalność. Tego typu rozwiązania są znacznie tańsze niż konstruowanie jednej specjalizowanej maszyny, której konfiguracja musi być zmieniana pod kątem każdego indywidualnego zamówienia. Modułowy sposób budowy tych urządzeń ma wiele zalet, gdyż charakteryzuje się [3]:

- krótkim czasem projektowania robotów i urządzeń, których poszczególne funkcje realizują poszczególne moduły,

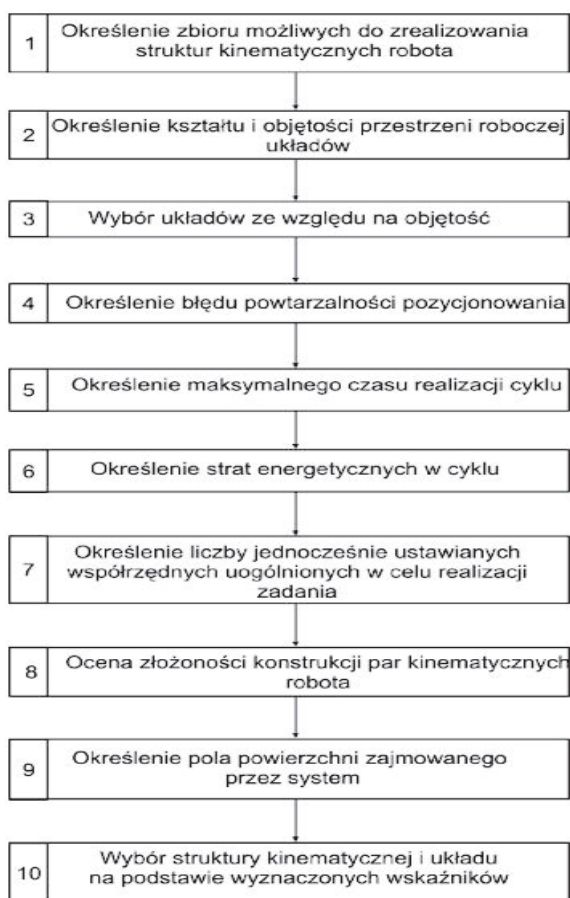
- skróceniem czasu przeznaczanego na testowanie i wdrażanie urządzenia do produkcji,
- szybkim, łatwym montażem i demontażem oraz szybkim usuwaniem skutków awarii,
- ponownym wykorzystaniem sprawnych modułów do budowy innych urządzeń.

Zalecane jest przy tym, aby dla osiągnięcia optymalnych parametrów pracy przy projektowaniu modułowego elastycznego stanowiska wytwórczego postąpić się algorytmem zaproponowanym przez autora pracy [2] (rys. 1).

Postęp w zakresie budowy współczesnych maszyn i urządzeń technologicznych pociąga za sobą rosnące wymagania wobec urządzeń składających się na podsystemy transportu i manipulacji, które wykorzystywane są szczególnie w liniach wytwórczych [4].

Autor pracy [3] stwierdza, że konkurencyjność produkcji można określić następującymi krytycznymi parametrami: czas produkcji, jakość, szybka reakcja na częste zmiany wymagań rynku, racjonalne koszty produkcji. W praktyce uzyskanie optymalnej wielkości każdego z tych parametrów jest trudne do uzyskania przy stosowaniu wyłącznie zrobotyzowanych systemów wytwórczych [4].

Autor pracy [5] stwierdza, że wysoka elastyczność produkcji nie zawsze jest więc pożądaną cechą systemu i w pewnych przypadkach może negatywnie wpływać na zysk firmy. Jednak w firmach, które chcą brać aktywny



Rys. 1. Algorytm wyboru układu kinematycznego robota w procesach [2]

Fig. 1. The algorithm for selecting the robot kinematic system in processes [2]

udział we współzawodnictwie na rynku, elastyczność produkcji może pełnić pozytywną rolę strategiczną. W przypadku projektowania większości maszyn i urządzeń istnieje potrzeba stosowania rozwiązań o poziomie elastyczności przystosowanym do bieżących zadań, a jednocześnie dających możliwość wykorzystania potencjału w zakresie innowacji również w przyszłości [7, 8]. Niewątpliwie takim rozwiązaniem jest stosowanie rozwiązań zmodularyzowanych. Należy przy tym pamiętać, że zmniejszenie elastyczności przynosi korzyści w sensie zmniejszenia kosztów inwestycyjnych, ale jednocześnie obciążone jest ryzykiem ewentualnego braku możliwości wykorzystania niektórych rozwiązań w przypadku konieczności zmiany produkcji. W celu uzyskania konkurencyjnego rozwiązania konieczne jest więc umiejętne wykorzystanie wiedzy z różnych dziedzin tak, aby stosowane rozwiązania można było w przyszłości adaptować do nowych zadań [1].

Wymagania stawiane nowoczesnym liniom pakowania

W obecnych warunkach rynkowych jednym z podstawowych kryteriów oceny skuteczności działania linii jest jej wydajność. Linia musi być tak zaprojektowana,

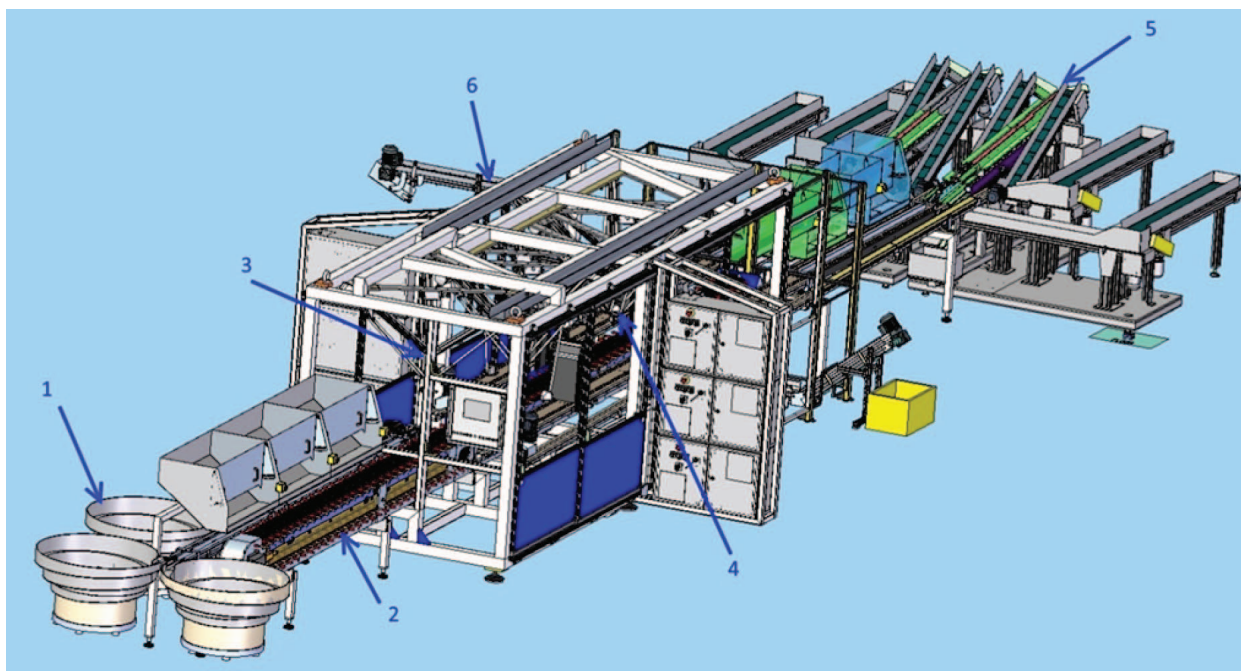
aby czas przepływu wyrobu był ściśle związany z innymi systemami wytwórczymi tak, aby minimalizować procesy składowania półwyrobów i wyrobów w magazynach. Istotnym celem jest tutaj optymalne wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa. Uwarunkowanie to determinuje wybór rozwiązań technicznych budowy linii szczególnie w obszarze doboru robotów, manipulatorów i napędów, jak również sposobie komunikacji między poszczególnymi modułami funkcjonalnymi. Z reguły krótsze czasy realizacji procesu powodują wzrost kosztów wytworzenia. Z uwagi na fakt, że linie pakowania są zbiorem powiązanych ze sobą i współpracujących mechanizmów, istnieje możliwość optymalizacji stosowanych rozwiązań z uwzględnieniem kryterium kosztów wytworzenia i eksploatacji [1].

Dużą zaletą stosowania systemów modułowych, w tym robotów przemysłowych, jest możliwość szybkiej oceny możliwości spełnienia przez wybrany zespół stawianych przed nim wymagań. Jeśli jest to wymagane, możliwe jest również przeprowadzenie testów potwierdzających realizowalność procesu na etapie planowania rozwiązania. Takie podejście nie jest możliwe w przypadku układów dedykowanych.

Jak wcześniej wskazano linia powinna pracować z wykorzystaniem całego swego potencjału. Powoduje to, że oczekuje się od niej wysokiego stopnia niezawodności. W przypadku awarii musi istnieć możliwość szybkiej jej naprawy gdyż z reguły przedsiębiorstwo nie dysponuje rozwiązaniami alternatywnymi jeśli chodzi o proces wytwórczy. W obecnie stosowanych liniach produkcyjnych użytkownicy z reguły ustalają czas w jakim linia powinna zostać uruchomiona w przypadku wykrycia usterki. To sprawia, że musi to być uwzględnione zarówno na etapie doboru elementów linii w celu osiągnięcia wysokiego stopnia niezawodności, ale również w zakresie stosowania rozwiązań konstrukcyjnych, dających możliwość dokonania naprawy w określonym czasie [1].

Obecnie coraz częściej w procesie projektowania linii montażowych brane jest pod uwagę kryterium czasu wytworzenia linii. Przedsiębiorstwa często decydują się na realizację określonego przedsięwzięcia inwestycyjnego w krótkim czasie, co z kolei wymusza na projektantach wybór rozwiązań które to zapewnią. To powoduje konieczność stosowania rozwiązań gotowych w zakresie napędów, transportu czy pozycjonowania. Z czasem wytworzenia linii ściśle związany jest czas projektowania. Projektanci często wybierają rozwiązania sprawdzone, gwarantujące realizowalność procesu bez ryzyka wprowadzania poprawek. To powoduje, że projektowanie staje się sztuką doboru rozwiązań i wymaga szerokiej wiedzy z zakresu stosowanych technologii oraz orientowania się w zakresie nowych rozwiązań oferowanych przez firmy z obszaru automatyki przemysłowej [1].

Wcześniej wymienione kryteria powodują, że obok systemów dedykowanych i elastycznych tworzone są rozwiązania zawierające moduły funkcjonalne które



Rys. 2. Modułowa elastyczna linia pakowania: 1 – zespół wydawania koszyczków, 2 – podajnik koszyczków, 3 – system pozycjonowania koszyczków, 4 – system pakowania kostek, 5 – podajniki wydające kostki, 6 – zespół podajników odbierających produkt
 Fig. 2. Modular flexible packaging line: 1 – unit releasing cartridges, 2 – cartridge feeder, 3 – cartridge positioning system, 4 – freshener bar packaging system, 5 – freshener bar feeder, 6 – group of end product receivers

mogą być wielokrotnie wykorzystywane, a jednocześnie zapewniają możliwość minimalizowania kosztów utrzymania technicznego linii. Dodatkowo to podejście daje możliwość skrócenia czasów wytworzenia systemu, gdyż oparte jest ono na znanych i stosowanych rozwiązaniach technicznych, które to rozwiązania są sprawdzone pod względem funkcjonalności i niezawodności.

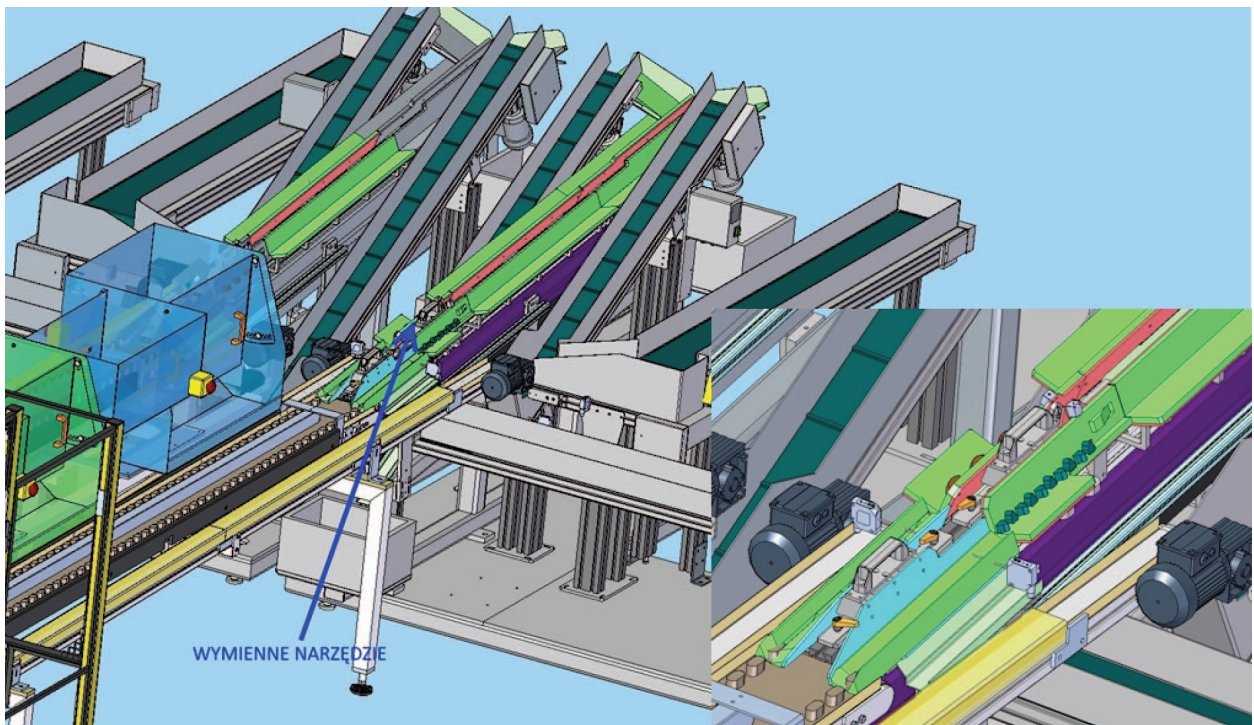
Zmodularyzowana wysokowydajna linia pakowania

Stosowanie systemów modułowych jest coraz częściej wykorzystywane w nowo projektowanych liniach pakowania. Modularyzacja dotyczy tu nie tylko napędowych ale również coraz częściej całych modułów wykonawczych. Dzięki stosowaniu takich rozwiązań możliwe jest posługiwanie się przez konstruktorów gotowymi i sprawdzonymi rozwiązaniami. Wpływa to nie tylko na brak potrzeby przeprowadzania testów układów funkcjonalnych pod względem niezawodności, ale również bezpośrednio wpływa na czas projektowania związanego ściśle z tworzeniem modeli mechanizmów które są już stworzone dla danych rozwiązań. Zadaniem projektanta jest jedynie wybór określonego rozwiązania i adaptacja go w tworzonej linii. Na rys. 2. przedstawiono zmodularyzowaną linię pakowania kostek toaletowych. Linia ta została zaprojektowana z uwzględnieniem potrzeby osiągnięcia wydajności nie mniejszej niż wyrób na 1 s. Przy tym linia zapewnia możliwość pakowania kostek o różnych wymiarach geometrycznych jak również możliwość częściowej obsługi ręcznej w przypadku wystąpienia produktów dla których pełna automatyzacja

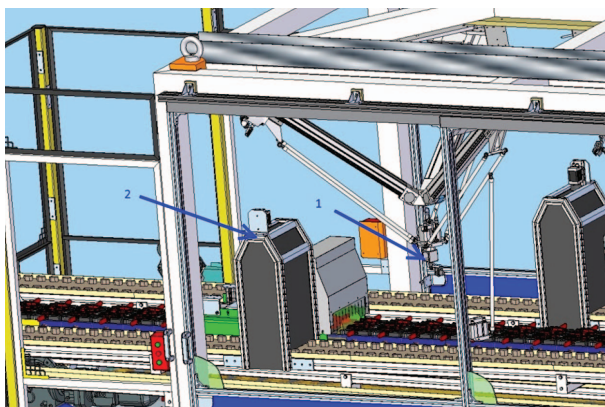
procesu byłaby nieopłacalna. Przy projektowaniu linii zwrócono szczególną uwagę na możliwość zapewnienia poprawnego przebiegu procesu przy wykorzystaniu dostępnych modułów handlowych. Należą do nich podajniki wibracyjne, wysokowydajne roboty przemysłowe, przenośniki taśmowe, przenośnik łańcuchowy, optyczne systemy detekcji. Zastosowanie zespołów modułowych daje również korzyści związane ze skróceniem czasu wytworzenia linii. Gotowe podzespoły dostarczane są już zmontowane przez ich producentów, na których również spoczywa odpowiedzialność za prawidłowość ich działania.

Na rys. 3 przedstawiono podajnik wibracyjny wydający kostki. Jest on w stanie wydawać kostki o różnych wymiarach geometrycznych, a zmiana jego konfiguracji polega na wymianie jedynie zespołu wydającego w czasie krótszym niż 5 min. Roboty pakujące są zaopatrzone w narzędzie uniwersalne podciśnieniowe, pozwalające na pobieranie kostek o prawie dowolnym kształcie zawierającym powierzchnię odpowiadającą wymiarowi narzędzia. Robot może je dowolnie orientować i umieszcza w koszyczkach.

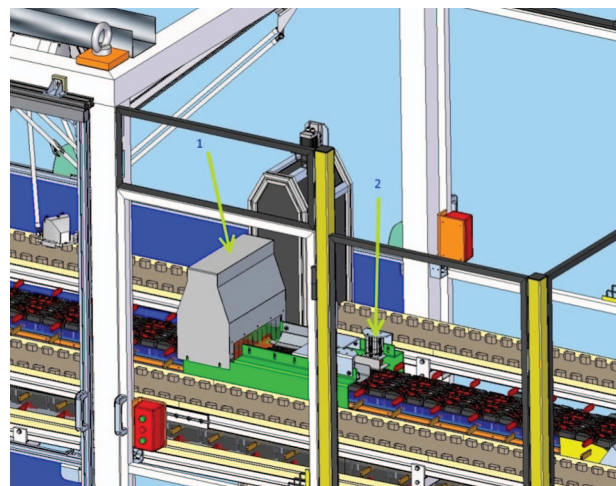
Informacja o orientacji podawanej do robota kostki jest zapewniona przez zespół identyfikacji, oparty na czujniku wizyjnym zamocowanym nad podajnikiem taśmowym (rys. 4). Koszyczki do umieszczenia kostek są wydawane przez podajniki wibracyjne, a następnie za pomocą robota umieszczane w gniazdach podajnika (rys. 5). Sposób chwytania i przenoszenia koszyczków jest wspólny dla wszystkich typów. Gniazda podajnika łańcuchowego są rekonfigurowane, a dodatkowo istnieje



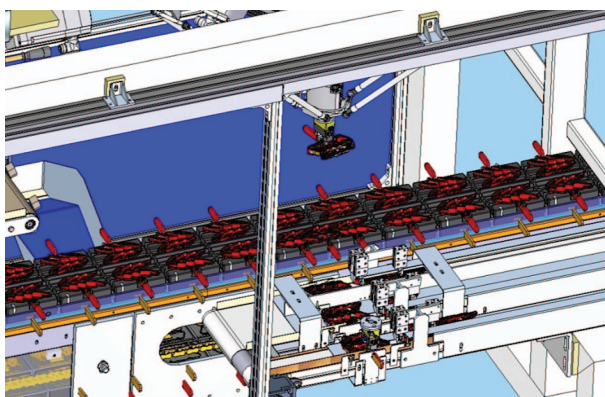
Rys. 3. Zespół podajników wibracyjnych wydających kostki
Fig. 3. The group of vibrational feeders releasing freshener bar



Rys. 4. 1 – robot pakujący kostki, 2 – system detekcji
Fig. 4. 1 – freshener bar packaging robot, 2 – detection system



Rys. 6. Modułowy system zamykania i kontroli: 1 – moduł kontroli, 2 – moduł zamykania
Fig. 6. Modular system of closing and control: 1 – control module, 2 – closing module



Rys. 5. System wydawania koszyków do przenośnika łańcuchowego
Fig. 5. System for relasing cartridge to chain conveyor

możliwość ich szybkiej wymiany w czasie nieprzekraczającym 10 minut. Koszyki są zamykane przez modułowy system zamykania i kontroli, sprawdzający poprawność realizacji procesu z wykorzystaniem systemu wizyjnego (rys. 6).

Budowa modułowa, a tym samym duża powtarzalność stosowanych rozwiązań, głównie z obszaru napędów sprawia, że znacząco zmniejsza się liczba magazynowanych części zamiennych. Niewątpliwą korzyścią jest również skrócenie czasu programowania linii. Dla stosowanych modułów możliwe jest bowiem stworzenie

bloków funkcjonalnych, a następnie w trakcie programowania określenie wyłącznie parametrów ich pracy. Działanie to minimalizuje możliwość popełnienia błędów i znacząco skraca czas uruchomienia linii.

Zastosowany system modułowy pozwala na dalszą rozbudowę linii w celu osiągnięcia jak największego stopnia automatyzacji procesu z zachowaniem dużej elastyczności w zakresie pakowanych produktów.

Podsumowanie

Zaprezentowane w pracy rozwiązanie, polegające na stosowaniu modularyzacji w projektowaniu linii pakowania, pozwala na osiągnięcie szeregu korzyści zarówno w obszarze projektowania jak i eksploatacji linii wytwórczej. Stanowi ono połączenie systemu zrobotyzowanego z prostymi podajnikami modułowymi, co w konsekwencji pozwala na osiągnięcie dużej elastyczności układu. Możliwość obsługi ręcznej w zakresie wydawania koszyków i kostek dodatkowo powiększa jej możliwości produkcyjne jeśli chodzi o pakowany asortyment. Prezentowane rozwiązanie łączy w sobie najnowsze rozwiązania z zakresu robotyki, automatyki i detekcji rozumianej tutaj jako kontrola wizyjna. W prezentowanym rozwiązaniu robot traktowany jest jako jeden z wielu modułów funkcjonalnych linii. Ogólna zasada pozwalająca na optymalne wykorzystanie modularyzacji przy wytwarzaniu linii zakłada stosowanie takich samych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów funkcjonalnych wszędzie tam gdzie jest to możliwe i ekonomicznie uzasadnione. Wszystkie te działania sprawiają, że moduły budowanych linii w oparciu o prezentowaną koncepcję mogą być po zakończeniu ich użytkowania wykorzystywane w nowo budowanych liniach, jak również zapewniają możliwość ciągłego doskonalenia istniejącego rozwiązania. Wykorzystanie konstrukcji modułowych zapewnia możliwość: szybkiego zaprojektowania nowych linii, zapewnienia ich prawidłowości działania bez konieczności wykonywania prototypów, skraca czas wytwarzania i montażu. Dzięki stworzeniu oprogramowania dla

poszczególnych modułów maszyny istnieje możliwość zapisania ich w postaci bibliotek, można później je łatwo wykorzystywać przy tworzeniu oprogramowania sterownika dla całej linii. Dzięki wspólnemu mechanizmowi komunikacji, podczas opracowywania programu kompletnej maszyny, istnieje jedynie potrzeba skonfigurowania zależności funkcjonalnych pomiędzy obiektami.

LITERATURA

- [1] Domińczuk J. 2015. „Znaczenie modularyzacji w procesie projektowania i użytkowania linii montażowych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 9–12.
- [2] Honczarenko J., A. Berliński. 2006. „Zastosowanie komponentów mechatronicznych w budowie zrobotyzowanych systemów produkcyjnych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 5–8.
- [3] Kluz R. 2012. „Projektowanie modułowego stanowiska montażowego”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (1): 9–13.
- [4] Koch T. 2006. „Systemy zrobotyzowanego montażu”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [5] Matta A., Q. Semeraro. 2005. “Design advanced manufacturing systems – models for capacity planning in advanced manufacturing systems”. New York: Springer.
- [6] Świć A., W. Taranienko. 2003. „Projektowanie technologiczne elastycznych systemów produkcyjnych”. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.
- [7] Palchevskiy B. 2013. “Information aspects of optimization synthesis of functional-modular structure of technological equipment”. *Applied Computer Science* vol. 9.
- [8] Stamirowski J. 2012. „Wprowadzenie do projektowania elastycznych systemów produkcyjnych w kontekście zmienności produkcji”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (1): 37–40.

dr inż. Jacek Domińczuk – Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: j.dominczuk@pollub.pl

Elastyczne procesy logistyczne z wykorzystaniem modułowych jednostek ładunkowych

Bogusz WIŚNICKI, Tygran DZHUGURYAN

Abstract: The aim of the article is to present an innovative concept of modular load units which increase the efficiency of production processes as well as transport and logistics. The characteristic of the original concept of modular load units are presented, with their technical and technological description and assembly. The article ends with a synthetic analysis of the effectiveness of the proposed solutions. The applications contain a description of the possibilities of further implementation and development of the technology under study.

Keywords: flexible logistic, modular loading units, collapsible container

Streszczenie: Celem artykułu jest przedstawienie innowacyjnej koncepcji modułowych jednostek ładunkowych, zwiększających efektywność procesów produkcyjnych i transportowo-logistycznych. Przedstawiono charakterystykę autorskiej koncepcji modułowych jednostek ładunkowych, z ich opisem techniczno-technologicznym i montażowym. Artykuł kończy się syntetyczną analizą efektywności proponowanego rozwiązania. Wnioski zaś zawierają opis możliwości dalszej implementacji i rozwoju badanej technologii.

Kluczowe słowa: logistyka elastyczna, modułowe jednostki ładunkowe, kontener składany

Introduction

Application of loading units in production and transport allows to achieve the benefits by increasing security and reducing logistics costs. Loading unit is understood in this case, as the consolidated packaging adapted to mechanization of internal and external transport processes. The condition for the benefit is an appropriate choice of units, so as to meet the matching requirements for cargo carried as well as means of transport and handling equipment. A chosen loading unit should have sufficient cargo capacity, taking into account the volume and the weight, should be resistant to the transportation forces [1]. With this in mind, the most common choice are the standard units: containers (ISO standard) or swap bodies (CEN standard) that allow transloading between different modes of transport [2]. Containers are designed primarily for maritime transport and swap bodies work well in rail-road transport. Standardization of these units is an advantage but also an important constraint. These restrictions are as the following [3, 4]:

- 1) inability to use units other than the standard dimensions (e.g. 20', 30', 40' or 45' of length for containers);
- 2) impossibility of folding and unfolding units (except for very niche types of containers that are several times more expensive than the standard ones);
- 3) no possible flexible changes in units' parameters according to the current demand;
- 4) lack of the possibility to change the strength factor or core functionality of the units.

The concept of modular loading unit meets these needs. They create a solution fully flexible and easy to

assemble. The essence of this solution are standard modules which form the basis of the structure of units instead of standard loading units. This approach is accompanied by the author's versatile and easy-to-implement the system of combining individual modules.

The following chapters are dedicated to description of the construction of modular loading containers along with their assembling system. Further, the effectiveness analysis of the proposed solution of the benefits is formulated and the potential applications in logistic systems are determined.

Design of modular container

The collapsible modular container consists of two types of unified frame modular loading units fulfilling the value of the load-carrying structure (Figure 1, a) and the functional structure (Figure 1, b). The load-carrying structure of the modular loading units is ensuring the stiffness and strength of the container structure, allows strengthening its structure in the most loaded places. The functional structure of the modular loading units is providing the sufficient strength and rigidity of the container structure along with the possibility of convenient access to the transported goods at the loading and unloading stage. The internal sizes of the functional modular loading units are determined by the sizes of the loading pallets with the outgoing freight. Four standard sizes of the modular loading units of both types are proposed: the largest standard size is 1500x1500 mm overall, two intermediate standard sizes are 1000x1500 mm and 1000x1000 mm overall, and the smallest standard size is 700x1000 mm overall. The choice of

standard size of the module loading units is depended on the goods carried and their dimensions, as well as on the loading and unloading mechanisms and vehicles used.

The modular loading units of load-carrying and functional structure can form various configurations of collapsible modular containers depending on the type and parameters of the outgoing freight. Figure 2 shows the schemes of possible layout of the modular loading units with load-carrying and functional structure in the collapsible container. The schemes for layouts of the modular loading units with load-carrying structure in the collapsible container can be conditionally designated as the "X" scheme (Figure 2, a) and the "O" scheme (Figure 2, b). The choice of a rational scheme for the modular loading units' layout is determined on the basis of the container structure for stresses and strains analysis, considering the transported freight.

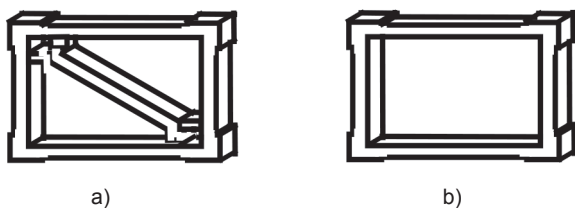


Fig. 1. The unified frame modular loading units with load-carrying structure (a) and with functional structure (b)
Rys. 1. Standardowe profile konstrukcyjne modułowych jednostek ładunkowych: a) o zwiększonej wytrzymałości, b) o zwykłej wytrzymałości

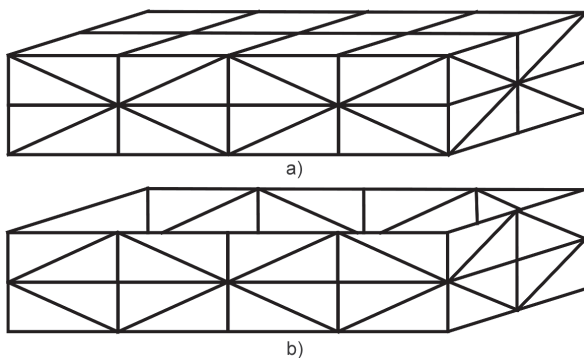


Fig. 2. Schemes of possible layout of the modular loading units with load-carrying and functional structure in the collapsible container: a) scheme "X" b) scheme "O"
Rys. 2. Schematy budowy modułowych jednostek ładunkowych, złożonych z profili o zwykłej i zwiększonej wytrzymałości: a) wzorzec „X”, b) wzorzec „O”

For the freight transportation are used two types of containers: heavy containers with a carrying capacity up to 30 tons and light containers for carriage high volume cargoes.

The heavy container is assembled on a loads-carrying platform with fittings, by means of which a crane carries out its loading on a vehicle. The lower row of the

container along its perimeter is made of the load-carrying modular loading units. The functional modular loading units are partly used in the upper row to support a protective cover made of tarpaulins or plastic material. Standard overall dimensions of container with the platform: length up to 12000 mm, width up to 2500 mm, height without freight up to 1700 mm, however with freight of up to 3000 mm.

The lightweight container for bulk freight is made of load-carrying modular loading units that can be mounted in two rows on a separate load-carrying platform or on a frame of longitudinal and transverse beams. The windows in the modular loading units are covered with protective metal or plastic sheets to prevent the self-emptying of the freight from the container. A feature of the container for bulk freight is the possibility of its self-unloading as a result of its tilt by the lifting mechanism of the vehicle with the subsequent return to its original position. For this, one of the walls (usually the end wall) is fixed in the upper part on hinges and is locked in the closed position using locking devices and finger fasteners.

For transportation of liquid freight, a frame or cellular frame container is used. The frame container for liquid freight is assembled from the load-carrying modular loading units. A metal or plastic tank is permanently installed inside it. The cellular frame container for liquid freight is assembled from load-carrying and functional modular loading units, in the cells of which there are removable tanks. Loading and unloading of the tanks takes place through the windows of functional modules loading units. Like a cellular frame container for liquid freight, a container for transportation freight in packaging is designed with the only difference that instead of tanks with liquid the freight on pallets inside the cells are placed (Figure 3).

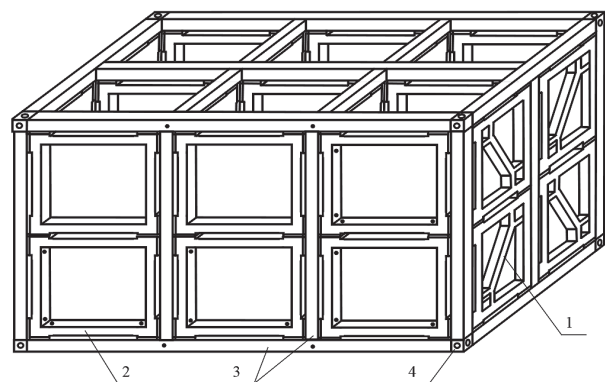


Fig. 3. Scheme of the cellular frame container for transportation freight in packaging: 1) load-carrying modular loading units, 2) functional modular loading units, 3) beams of the container frame, 4) fittings

Rys. 3. Schemat budowy kontenera z profili do przewozu ładunków drobnicowych: 1) profile o zwiększonej wytrzymałości, 2) profile o zwykłej wytrzymałości, 3) belki ramy kontenerowej, 4) naroża

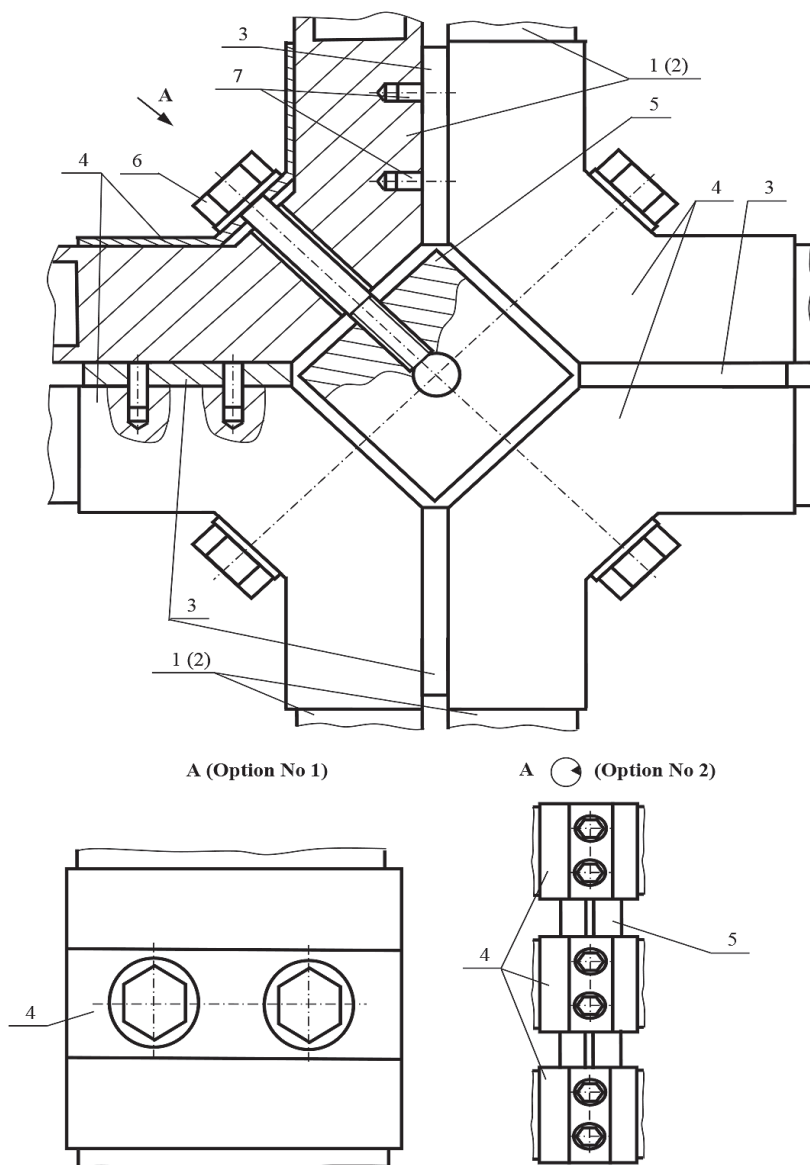


Fig. 4. Scheme of connection the load-carrying or functional modular loading units among themselves without an intermediate frame of the container: 1 (2) – load-carrying (functional) modular loading units, 3 – wiring strip, 4 – clamps, 5 – mounting foot, 6 – bolts with lock washers, 7 – stop pins

Rys. 4. Schemat połączenia profili o zwiększonej i zwykłej wytrzymałości bez użycia ramy kontenera: 1 (2) – profil o zwiększonej (zwykłej) wytrzymałości, 3 – przekładka kompensacyjna, 4 – nakładka zaciskowa, 5 – stopka montażowa, 6 – śruby z podkładkami, 7 – pin mocujący

Assembling process

The containers of the load-carrying and functional modular loading units are assembled using bolted connections. Figure 4 shows example of the load-carrying or functional modular loading units connected without an intermediate frame of the container.

Figure 5 shows examples of the load-carrying or functional modular loading units connecting with intermediate beams of the container frame or the supporting platform of the container.

The choice the module loading units' material and the technology of their manufacturing depends on the weight

of the transported freight, the overall dimensions of the container and the standard size of the module loading units. For example, the module loading units of the heavy containers of large overall dimensions are made of steel. The module loading units of light containers can be manufactured from light metal alloys, for example, aluminium alloys, as well as from plastics or carbon plastics materials. The choice of manufacturing technology for the module loading units is depending by their standard sizes. Large standard size of the metal module loading units is expedient to manufacture by a method of casting, and for the manufacture of small standard size of the module loading units it is possible to use additive technologies.

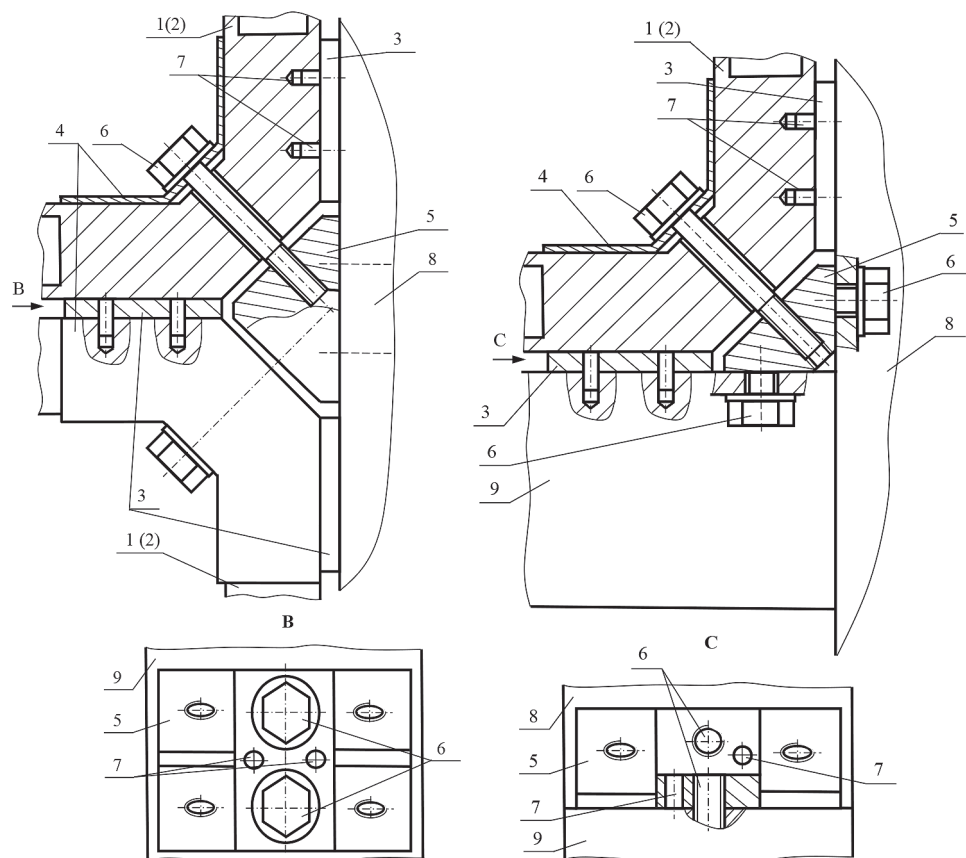


Fig. 5. Scheme of connection the load-carrying or functional modular loading units with intermediate beams of the container frame or the supporting platform of the container: 1 (2) – load-carrying (functional) modular loading units, 3 – wiring strip, 4 – clamps, 5 – mounting foot, 6 – bolts with lock washers, 7 – stop pins, 8 – vertical beam of the container frame, 9 – horizontal beam of the container frame or the supporting platform of the container

Rys. 5. Schemat połączenia profili o zwiększonej i zwykłej wytrzymałości z użyciem ramy kontenera: 1 (2) – profil o zwiększonej (zwykłej) wytrzymałości, 3 – przekładka, 4 – klamra, 5 – stopka montażowa, 6 – śruby z podkładkami, 7 – bolec mocujący, 8 – belka pionowa ramy kontenera, 9 – belka pozioma ramy kontenera lub platforma podłogi kontenera

Table 1. Comparative analysis of standard and non-standard loading units

Tabela 1. Analiza porównawcza standardowych i niestandardowych jednostek ładunkowych

Category	Loading unit				
	Container	Collapsible containers	Swap body	Logistics units	Modular container
Standard	ISO	ISO	CEN	no	no
Parameters	20', 30', 40', 45'	20', 30', 40', 45'	2 types: long and short	any	any
Loading capacity	up to 35t	less than 35t	30t	any	any
Types of constructions	many types adjusted to cargo type	1-2 types	1-5 types	adjusted to needs	adjusted to needs
Stackable	yes	yes (limited)	strengthen types	possible	possible
Flexibility in construction	no	option to fold down	no	no	many options, tailor mad solutions
Implementation	sea transport, intermodal transport	sea transport, intermodal transport	intermodal transport	warehouse or dedicated transport	warehouse or dedicated transport
Coverage	global	niche connections	Europe	niche connections	not determined

Analysis of functional efficiency

Determination of the efficiency of the described technology solution at the present stage of its implementation is very difficult. One must first perform a prototype and test it in real operating conditions [5]. Even though a comparative analysis of modular container with existing on the market standard and custom loading units (Table 1).

Table 1 shows the advantages and disadvantages of the various loading units in terms of technical and exploitation features. It allows determining their relative functional efficiency. Flexibility and the variety of applications features the modular containers. Unknown is currently demand for this technical solution, but it can be assumed that it will be a complementary solution to standard loading units.

Conclusions

The use of the modular loading units for the manufacturing of collapsible containers can reduce the time and costs for: their design, installation, dismantling, re-equipment and disposal, enabling efficient in-house logistics. The process of assembling the container does not require special equipment and can be carried out on allocated for these purposes assembly areas, and on any free areas in the manufacturing or warehousing locations. This contributes to the formation of flexible logistics processes in the organization of transport and warehouse systems by increasing the efficiency of creating or re-equipping the required types, overall dimensions and configurations of containers. The framework of the proposed modular loading units can be much wider and not limited to collapsible containers. For example, the proposed modular loading units can be used in building structures, in the machine tool industry, in the manufacture of flexible manufacturing modules in frame construction [6], in the multi-floor manufacturing systems as the load-carrying and functional modular units of trolleys intended for the transport and storage of components and finished products [7, 8 and 9].

REFERENCES

[1] Rzczycki A., B. Wiśnicki. 2016. "Strength Analysis of Shipping Container Floor with Gooseneck Tunnel

under Heavy Cargo Load". *Solid State Phenomena*, Vol. 252, 2016, p. 81–90.

- [2] Wiśnicki B., A. Dyrda. 2016. "Analysis of the intermodal transport efficiency in the Central and Eastern Europe, Naše More". *International Journal of Maritime Science & Technology*, 63 (2) p. 43–47.
- [3] Vademecum konteneryzacji – Formowanie kontenerowej jednostki ładunkowej, monografia pod redakcją Bogusza Wiśnickiego, Wydawnictwo Link I, Szczecin 2006, p. 392.
- [4] Chwesiuk K., I. Kotowska, B. Wiśnicki. 2008. „Perspektywy przewozów intermodalnych w Polsce”. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie.
- [5] Wiśnicki B. 2010. "Uwarunkowania obsługi kontenerów 45-stopowych w portach europejskich" [w:] *Polska gospodarka morska – Restrukturyzacja. Konkurencyjność. Funkcjonowanie. Rozwój*, redakcja naukowa Henryka Salmonowicza, Wydawnictwo Kreos, Szczecin, s. 385–395.
- [6] Dzhuguryan T. 2012. "Design Features of Flexible Manufacturing Modules in Frame Construction". *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, z. 84 [284] (1): 21–25.
- [7] Dzhuguryan T., Z. Józwiak. 2016. "Infrastructure for multi-floor virtual enterprises system". *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji*, P.A. Nowa S.A. Gliwice, 3 (15): 70–78.
- [8] Dzhuguryan T., Z. Józwiak. 2017. "Specific approach to assessment of technologies for multi-floor manufacturing system". *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* (6): 1656–1659.
- [9] Dzhuguryan T., Z. Józwiak. 2016. "Improving the logistics of the multi-floor assembly manufacturing". *Technologia i Automatyzacja Montażu* (2): 16–20.

The research was carried out under a grant of the Ministry of Science and Higher Education of Poland at the Faculty of Transport Engineering and Economics of the Maritime University of Szczecin

dr inż. Bogusz Wiśnicki – Akademia Morska w Szczecinie, ul Wały Chrobrego 1-2 Szczecin, e-mail: b.wsnicki@am.szczecin.pl

prof. dr hab. inż. Tygran Dzhuguryan – Akademia Morska w Szczecinie, ul Wały Chrobrego 1-2 Szczecin, e-mail: t.dzhuguryan@am.szczecin.pl

ANALIZA PORÓWNAWCZA STOSOWANIA PRZEDMIOTOWYCH UCHWYTÓW MODUŁOWYCH I SPECJALNYCH

Comparative analysis of the application of the modular and special object handles

Adam BARYLSKI

S t r e s z c z e n i e: W artykule dokonano próby ilościowej oceny technologiczności konstrukcji metodą wskaźnikową zaprojektowanych uchwytów specjalnych i modułowych. Analizowano uchwyty dla wybranych operacji obróbki dźwigni i korpusu jednolitego. Zastosowana metodyka może być stosowana m.in. w procesie kształcenia inżynierskiego mechaników technologów.

S ł o w a k l u c z o w e: uchwyt specjalny, uchwyt modułowy, konstrukcja, analiza

A b s t r a c t: In the article, an attempt was made to quantify the technological structure performance of designed special and modular handles, using the indicator method. Handles for selected operations of lever machining and uniform body were analyzed. The applied methodology can be used, inter alia, in the process of engineering education of technologists mechanics.

K e y w o r d s: special handle, modular handle, design, assessment

Wprowadzenie

Wchodzące w skład pomocy warsztatowych uchwyty przedmiotowe są szeroko stosowane w operacjach obróbkowych, montażowych i kontrolnych, a także w transporcie międzystanowiskowym. Koszty projektowania i wykonania oprzyrządowania obróbkowego mogą wynosić od 10 do 20% ogólnych kosztów systemów wytwarzania wyrobu [5]. O ile w produkcji wielkoseryjnej pewną przewagę miało dotąd oprzyrządowanie specjalne, projektowane i wykonywane każdorazowo do konkretnego obrabianego przedmiotu i operacji, to w przypadku wytwarzania mniej licznych serii wyrobów wykorzystywane są bardzo często uchwyty składane, budowane w oparciu o istniejące zestawy elementów uniwersalnych – produkowanych przez wyspecjalizowane firmy [13-25]. Wraz ze wzrostem zapotrzebowania w praktyce na elastyczne wytwarzanie komponentów wykorzystanie oprzyrządowania modułowego znacząco wzrosło [4, 7, 9, 10]. Bardzo pomocne jest tu wykorzystanie wspomaganego komputerowo projektowania i wytwarzania elementów modułowych, jak również analiza ogólna systemu obróbkowego [6, 12, 26-28]. Obecnie na rynku dostępne są obszerne zestawy elementów, z których w zależności od potrzeb konfigurowane są indywidualne uchwyty obróbkowe. Ich konkurencyjność w stosunku do oprzyrządowania specjalnego wzrasta, często niezależnie od wielkości produkcji wyrobów. Problem wyboru rodzaju oprzyrządowania ma też istotny aspekt dydaktyczny w procesie kształcenia technologów [1-3].

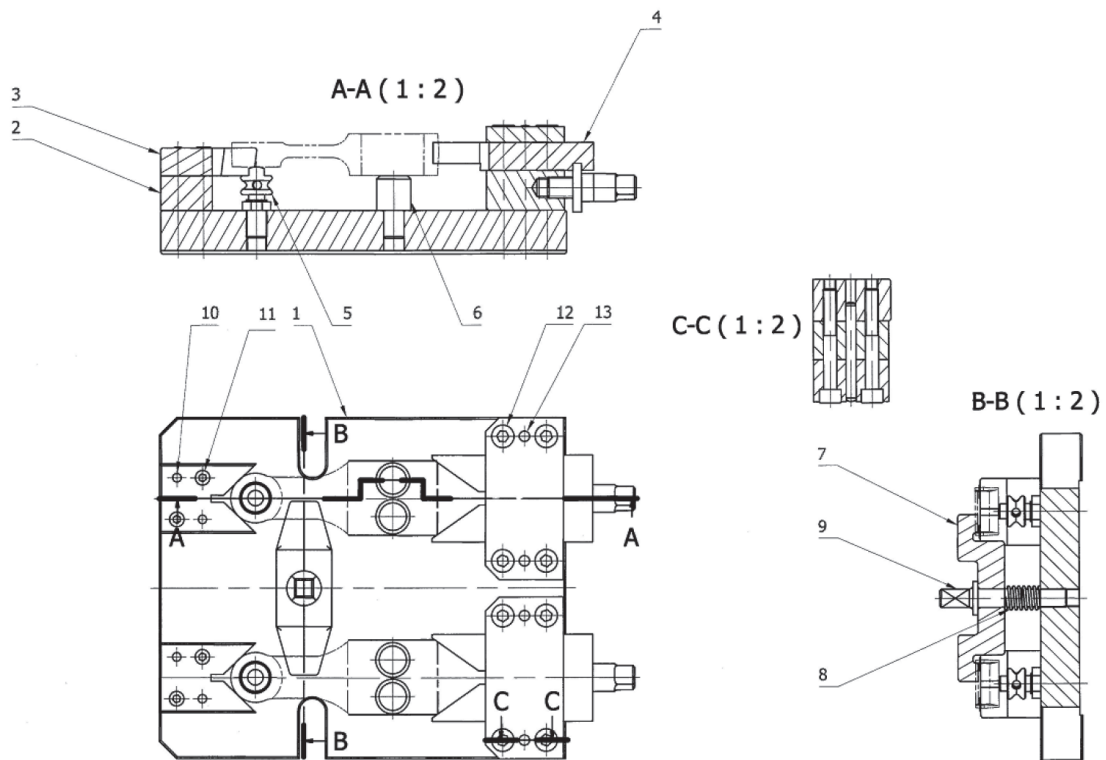
Porównanie konstrukcji uchwytów specjalnych i modułowych dla wybranych operacji obróbkowych było podstawowym celem pracy. Przy konfigurowaniu oprzyrządowania składanego wykorzystano elementy produkowane przez firmę Erwin Halder KG [16] oraz AMf [14].

Konstrukcja uchwytów i ich ocena

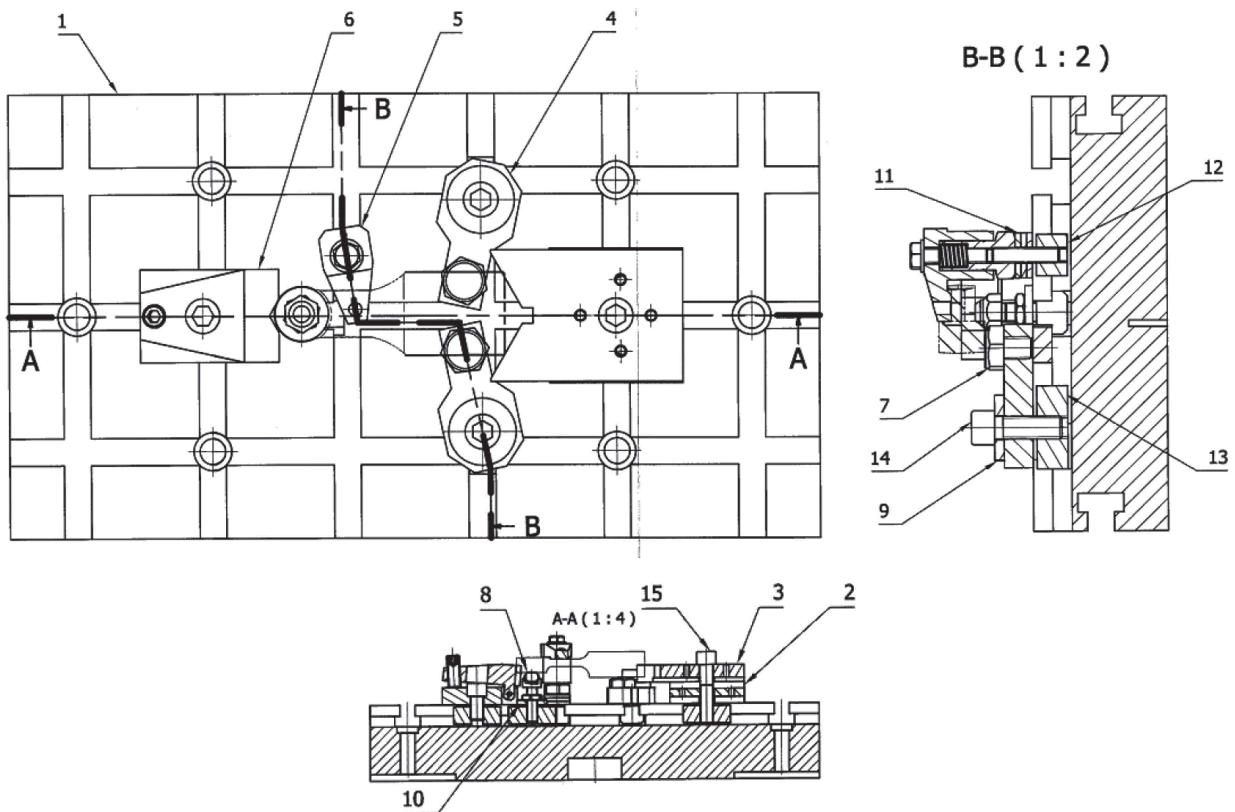
Przykład mocowania dźwigni

Zaprojektowane uchwyty przedmiotowe dotyczą operacji frezarskich odlewanej dźwigni z żeliwa GJL-200 [11] i obejmują obróbkę powierzchni czołowych (rys. 1 i 2) oraz frezowanie wcięcia o szerokości 20 mm (rys. 3 i 4). Uchwyt Ia (rys. 1) umożliwia frezowanie dwóch przedmiotów jednocześnie – w dwóch zamocowaniach. Przedmiot obrabiany ustalony jest na dwóch kołkach z łbem płaskim 6, kołku nastawnym 5 (osadzonym w korpusie 1 uchwytu) oraz oparty o pryzmę 3 (ustaloną kołkami 10 i zamocowaną śrubami 11 do podstawy 2 i korpusu 1). Mocowanie (wstępne) dźwigni odbywa się pryzmą 4 (przesuwaną w objęciu, ustaloną kołkami 13 i zamocowaną śrubami 12 do korpusu 1) i łapą korytkową 7 za pomocą śruby 9 (sprężyna 8 podnosi łapę podczas odmocowywania przedmiotów). Dla śruby ustalacza pryzmowego 4 i łapy 7 stosowany jest przez operatora taki sam klucz.

Konstrukcja uchwytu modułowego Ib (rys. 2), dla tej samej operacji frezarskiej, zawiera rowkowaną płytę 1 (V-70) – odstęp pomiędzy sąsiadującymi rowkami teowymi wynosi 70 mm (EH1100.300). Obrabiana dźwignia oparta jest na dwóch kołkach stałych z łbem wypukłym 7 (EH22690.0001) – położonych na płycie 4 (EH1147.900) mocowanej śrubą 14 (DIN912, M12x35) przez podkładkę 9 (EH23060.0012) do nakrętki teowej 13 (EU23020.0140) oraz jednym kołku wahliwym 8 (EH22740.0016), umieszczonym na podkładce 10 (EH23060.0010). Mocowanie przedmiotu obrabianego odbywa się napinaczem 6 (EH23310.0522), dociskając do pryzmy stałej 3 (EH1148.100) – mocowaną śrubą 15 (DIN912, M12x55) położoną na płycie pośredniej 2 (EH1111.700) oraz łapą 5 (EH23310.0025)



Rys. 1. Uchwyt specjalny Ia
Fig. 1. Special handle Ia

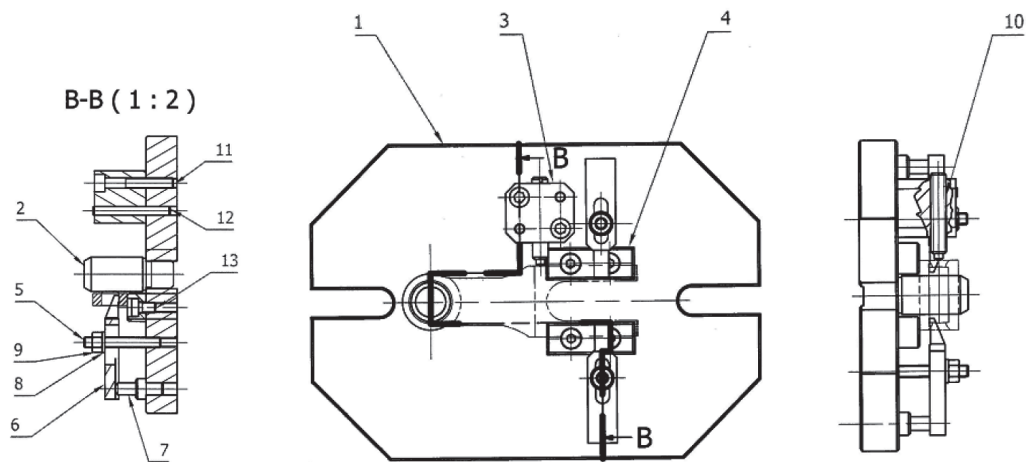


Rys. 2. Uchwyt modułowy Ib
Fig. 2. Modular chuck Ib

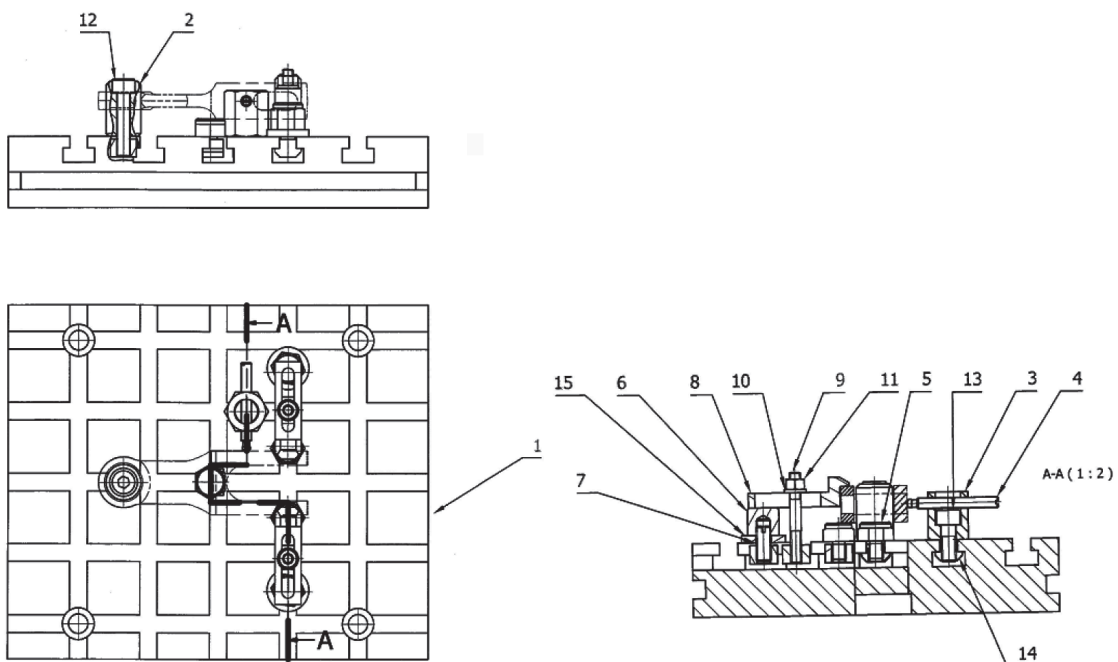
– umieszczoną na podkładce 11 (EH1007.400) i zamocowaną nakrętką 12 (EH23010.0145).

W przypadku uchwytu IIa (rys. 3) obrabiana dźwignia ustalona jest w otworze na kołku pełnym 2, dwóch płytkach oporowych 4 (zamocowanych śrubami 13 do podstawy 1) oraz bocznie regulowanym elementem 10 (wkręconym w kostkę 3, ustaloną kołkami 12 i zamocowaną śrubami 11 do podstawy uchwytu 1). Zespołami mocującymi są dwie odsuwane łapy 6 (składające się także z kołka 7, podkładki 8, nakrętki 9 i śruby dwustronnej 5). Konstrukcja uchwytu składanego IIb (rys. 4) do tej operacji (frezowania wcięcia) składa się z płyty 1 (V-40) (EH1000.400). Obrabiany przedmiot oparty jest na trzech

kołkach z łbem płaskim 5 (EH22690.0021) oraz ustalony na kołku centrującym 2 (EH2311.0510) zamocowanym śrubą 12 (DIN912, M8x35) i oparty bocznie o regulowany wkret 4 (EH22540.0062) – wkręcony w ogranicznik 3 (EH1014.500) – zamocowany do stołu 1 śrubą 13 (DIN912, M8x20) i nakrętką 14 (EH23010.0101). Podobnie jak w uchwycie IIa, mocowanie dźwigni odbywa się dwiema odsuwanymi łapami 8 (EH23160.0107), przy czym ich elementy składowe to: śruba dwustronna 9 (DIN835, M6x40), nakrętka 11 (ANSI B18.2.4.2M, M6x1), podkładka 10 (DIN125-1, A6,4), kołek płaski 6 (EH22690.0321), wkret 7 (DIN438, M8x20) i nakrętka 15 (EH23020.0100).

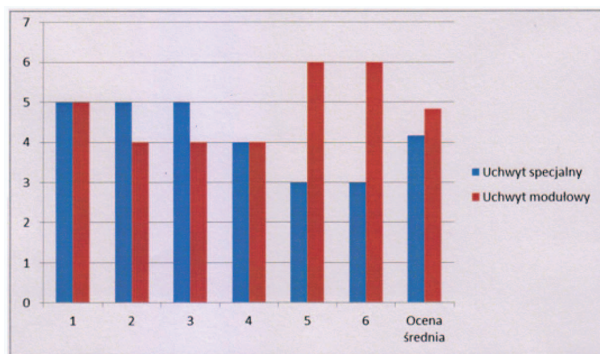


Rys. 3. Uchwyt specjalny IIa
Fig. 3. Special handle IIa



Rys. 4. Uchwyt modułowy IIb
Fig. 4. Modular chuck IIb

Ocena



Kryterium

Rys. 5. Ocena uchwytów 1a i 1b

Fig. 5. Assessment of fixtures 1a and 1b

W ocenie uchwytów specjalnych i modułowych przyjęto następujące kryteria:

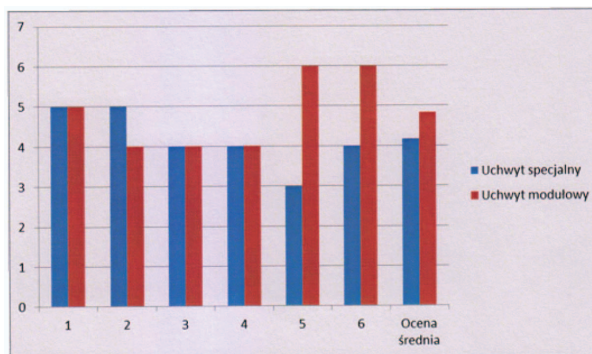
1 – ogólna złożoność konstrukcji, 2 – wymiary gabarytowe, 3 – czas mocowania obrabianych przedmiotów, 4 – łatwość obsługi uchwytu przez operatora, 5 – czas przygotowania uchwytu do użycia, 6 – uniwersalność wykorzystania.

Poszczególne kryteria oceniano w skali 6-punktowej: 6 – ocena bardzo dobra, 5 – dobra, 4 – zadowalająca, 3 – zła, 2 – bardzo zła, 1 – dyskwalifikująca [11]. Wyniki przeprowadzonej analizy podano na rys. 5 i 6. W przypadku uchwytów 1a i 1b, nie różnią się one istotnie ze względu na złożoność konstrukcji i łatwości obsługi, gdyż mają zbliżoną liczbę części składowych. W przypadku uchwytu specjalnego 1a ma on mniejsze wymiary gabarytowe, a zastosowana łapa korytkowa umożliwia zamocowanie dwóch przedmiotów jedną śrubą. Uchwyt modułowy 1b, co oczywiste, umożliwia wielokrotne użycie elementów składowych dla innych obrabianych przedmiotów i operacji. W uchwycie specjalnym 1a zastosowane rozwiązanie mocowania dźwigni jest poprawniejsze, gdyż m.in. ogranicza możliwość powstania naprężeń w obrabianym materiale. Zaletą są też mniejsze wymiary gabarytowe. Złożoność obsługi obu uchwytów (specjalnego 1a i modułowego 1b) jest bardzo zbliżona. W każdym z analizowanych przypadków nieco korzystniejsze oceny średnie uzyskały uchwyt modułowe.

Przykład mocowania korpusu

W tym przypadku analizowanym elementem jest kostka (korpus ze stali C45) obrabiana na centrum DMC8021 [8]. Frezowane są zewnętrzne powierzchnie płaskie oraz wykonywane otwory przelotowe i nieprzelotowe. Zaprojektowany uchwyt 11a (rys. 7) składa się z 29 elementów. Przedmiot obrabiany ustalony jest na trzech przeszlifowanych kołkach z łbem płaskim 6 oraz oparty o dwa kołki nastawne 5 (osadzone w korpusie 3 zamocowanym śrubami przez podkładkę sprężystą

Ocena



Kryterium

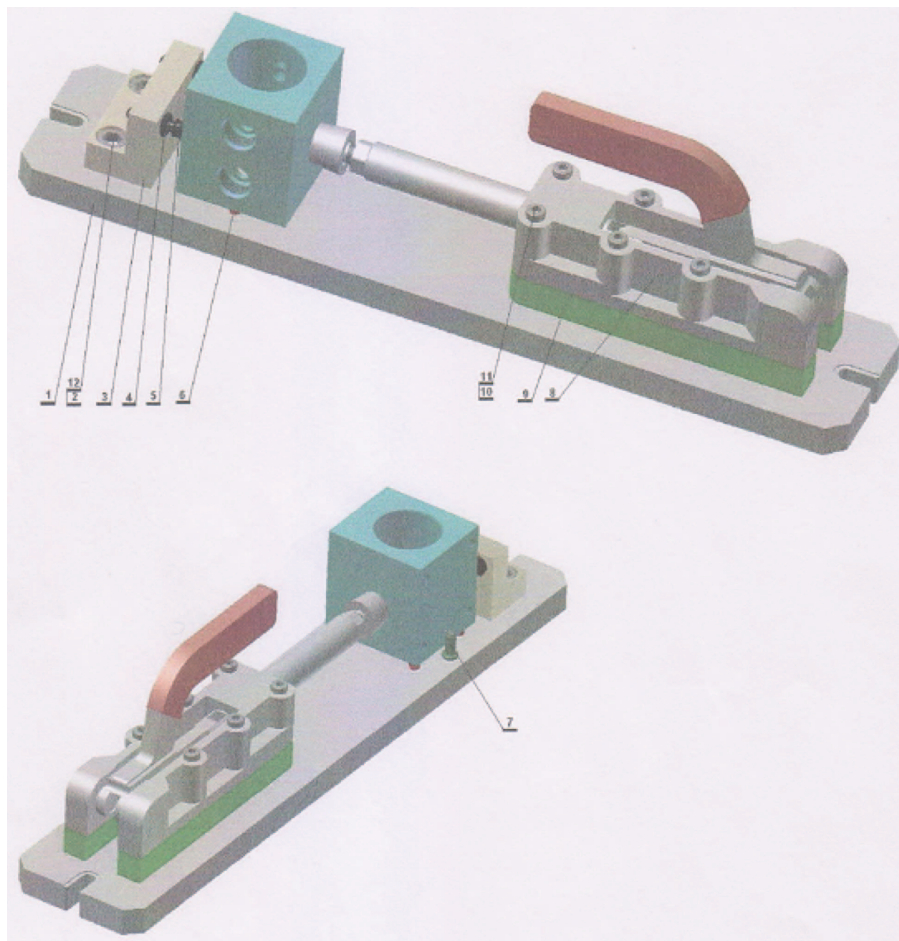
Rys. 6. Ocena uchwytów 1a i 1b

Fig. 6. Assessment of fixtures 1a and 1b

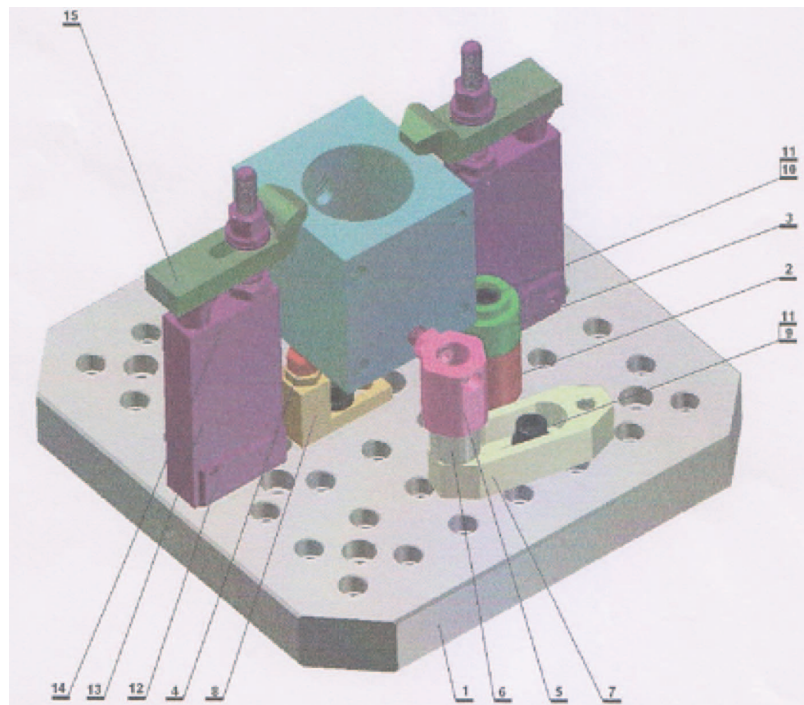
12 do płyty głównej 1 i blokowane nakrętkami 4) i kołek stały z kołnierzem 7 (o wysokości 36 mm). Mocowanie przedmiotu z siłą ok. 45 kN (na wysokości kołków nastawnych 5) odbywa się z wykorzystaniem poziomego docisku przegubowego 8 (ozn. 92601, firmy AMf) zamocowanego śrubami 10 przez podkładkę 11 do korpusu 9. Masa uchwytu, mocowanego do stołu obrabiarki śrubami M12 do rowków teowych, wynosi ok. 31 kg. Czas zamocowania (odmocowania) przedmiotu obrabianego to 0,2 min, a czas przygotowawczo-zakończeniowy operacji wynosi 12 min.

W konfiguracji uchwytu modułowego 11b (rys. 8) dla tego samego obrabianego korpusu, wykorzystano elementy firmy AMf. Płyta podstawowa 1 o wysokości 38 mm (6361D-320x320-1) zawiera 48 otworów mocujących M12 (rozstaw osi otworów 400 mm). Przedmiot obrabiany podparty jest na dwóch tulejkach 3 (6363-12-071) umieszczonych na tulejach dystansowych 2 (6363-16-003-2) i zamocowanych śrubą 10 przez podkładkę 11 (6363-017-12) oraz wahliwym kołku nastawnym 4 (7110D1-12xM16) osadzonym w elemencie 8 (7110AS-16-1). Dodatkowo oparty jest o element bazowy 5 (6363-12-037-2) osadzony przez tuleję dystansową 6 (6363-12-046-1) w elemencie oporowym 7 (6363-12-010) – zamocowany śrubą 9 (DIN13 ark.43, klasa wytrzymałości 10,9) przez podkładkę 11 (6363-017-12) do płyty 1. Obrabiamy korpus mocując dwie łapy 15 (DIN6316) umieszczone na podstawie 14 (7110M-12-1) przez przedłużacz 13 (7110Z-16-3) i element bazujący 12 (7110FS-12-3). Siła docisku łapy wynosi ok. 53 kN. Czas zamocowania (odmocowania) przedmiotu obrabianego to 2 min, zaś czas przygotowawczo-zakończeniowy wynosi 30 min.

W tym przykładzie przyjęto 11 kryteriów oceny punktowej uchwytów (5 – ocena bardzo dobra, 4 – dobra, 3 – zadowalająca, 2 – zła, 1 – bardzo zła, 0 – dyskwalifikująca konstrukcję) oraz wskaźniki ich ważności ($w=0,75$; 0,5 lub 0,25 – dla kryteriów o odpowiednio mniejszym znaczeniu). W tym analizowanym przypadku (tab. I) uchwyt specjalny otrzymał korzystniejszą ocenę.



Rys. 7. Uchwyt specjalny IIIa
 Fig. 7. Special handle IIIa



Rys. 8. Uchwyt modułowy IIIb
 Fig. 8. Modular chuck IIIb

Tabela I. Ocena uchwytów IIIa i IIIb
Table I. Assessment of fixtures IIIa and IIIb

Cecha konstrukcyjna lub użytkowa uchwytu	Wskaźnik ważności	Ocena uchwytu specjalnego	Ocena uchwytu modułowego
Wymiary gabarytowe (zajmowana powierzchnia i wysokość)	0,25	2	4
Masa	0,25	5	2
Ogólny stopień złożoności konstrukcji	0,25	5	2
Łatwość wytworzenia	0,75	3	5
Dostępność zastosowanych materiałów	0,25	5	5
Udział części znormalizowanych	0,5	5	4
Spełnienie wymagań ergonomicznych	0,75	4	3
Niezawodność i trwałość	1	5	4
Dogodność obsługi	0,75	5	3
Łatwość zamocowania na obrabiarce	0,25	4	5
Łatwość konserwacji	0,5	3	5
Wskaźnik sumaryczny		4,23	3,86

Podsumowanie

Skuteczność stosowania, w pewnym zakresie, subiektywnej oceny punktowej opracowanych konstrukcji zależy nie tylko od rodzaju kryteriów szczegółowych, ale co oczywiste, również od przyjętych wartości ich wskaźników ważności. Z jednej strony wymaga to doświadczenia projektowego i technologicznego, z drugiej zaś umożliwia szybką ocenę i wybór koncepcji końcowej. Metodę tę można też zalecić na etapie kształcenia inżynierskiego mechaników technologów, gdyż sprecyzowanie przyjętych kryteriów oceny przez zespoły projektowe ułatwia nabycie wiedzy i umiejętności technologicznego kształtowania konstrukcji, nie tylko w aspekcie minimalizacji części, a więc kosztów, ale i racjonalizacji obsługi przez potencjalnego operatora na stanowisku obróbkowym.

Pomimo względnie dużych kosztów elementów modułowych, tego rodzaju oprzyrządowanie zalecić należy przede wszystkim w obróbce przedmiotów o skomplikowanych kształtach, gdyż najczęściej występuje konieczność ich podparcia w wielu miejscach konstrukcji. Podobnie jest w przypadku możliwości obróbki wielu elementów jednocześnie. Obszerne spektrum elementów ustalających, mocujących i innych, proponowanych przez wiele firm na rynku, a także zwiększenie liczby palet w systemach obrabiarkowych, znacząco zwiększa zakres zastosowania uchwytów modułowych, szczególnie gdy nie można wykorzystać zespolonego oprzyrządowania uniwersalnego.

LITERATURA

- [1] Barylski A. 2017. „Analiza konstrukcji uchwytów obróbkowych w aspekcie montażu”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 37–41.
- [2] Barylski A. 2017. „Ilościowa ocena technologiczności konstrukcji uchwytów obróbkowych”. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji* (5): 21–32.
- [3] Barylski A. 2017. „Ocena technologiczności konstrukcji uchwytów obróbkowych w aspekcie montażu i cech użytkowych”. *Przegląd Mechaniczny* (3): 31–37.
- [4] Benhabib B., K.C. Chan, M.Q. Dai. 1991. “A Modular Programmable Fixturing System”. *Journal of Engineering for Industry* (113): 93–100.

- [5] Bi Z.M., W.J. Zhang. 2001. “Flexible fixture design and automation: Review, issues and future directions”. *International Journal of Production Research* (13): 2867–2894.
- [6] Boyle M.I., Y. Rong, D.C Brown. 2011. “A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches”. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* (27): 1–12.
- [7] Brukszta A. 2000. „Sposoby zwiększania sztywności modułowych uchwytów składanych”. *Technologia Automatykacja Montażu* (4): 29–31.
- [8] Dudicz P. 2013. „Projekt oprzyrządowania do obróbki części klasy korpus”. Prowadz. pracę A. Barylski. Gdańsk: Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.
- [9] Feld M. 2002. „Uchwyty obróbkowe”. Warszawa: WNT.
- [10] Hoffman E.D. 1987. „Modular Fixturing”. Manufacturing Technology Press, Inc., Wisconsin.
- [11] Januszewski M. 2010. „Opracowanie konstrukcji uchwytów przedmiotowych”. Prowadz. pracę A. Barylski. Gdańsk: Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej.
- [12] Karpiuk M., K. Sieczka, K. Głaz. 2018. „Biblioteka 3D CAD modeli elementów uniwersalnych przyrządów składanych”. *Mechanik* (1): 64–66.
- [13] Materiały informacyjne firmy Kipp Modular FFS.
- [14] Materiały informacyjne firmy Amf.
- [15] Materiały informacyjne firmy Carr Lane.
- [16] Materiały informacyjne firmy Erwin Halder KG.
- [17] Materiały informacyjne firmy Venlic Block Jig System.
- [18] Materiały informacyjne firmy Yuasa Modular Flex System.
- [19] Materiały informacyjne firmy Warlton Unitool.
- [20] Materiały informacyjne firmy CATIC System.
- [21] Materiały informacyjne firmy Gridmaster System.
- [22] Materiały informacyjne firmy Bluco Technik.
- [23] Materiały informacyjne firmy MITEE-BITE Clamp.
- [24] Materiały informacyjne firmy SAFE Fixture System.
- [25] Materiały informacyjne firmy Write Alufix System.
- [26] Mihaylov O., G. Nikolcheva. 2017. “An integrated RBR fixture design system”. CBU International Conference on Innovations in Science and Education. March 22–24, Prague: 1175–1180.
- [27] Tanji S., S. Raiker, A.T. Mathew. 2017. “Computer aided fixture design – A case based approach”. 14th ICSET. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (263): 1–9.
- [28] Zhu Y., S. Zang. 1990. “Modular Fixturing Systems: Theory and Application”. Machinery Press, Beijing.

prof. dr hab. inż. Adam Barylski, prof. zw. PG – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: abarylsk@pg.edu.pl

NITOWNICA Z MODUŁOWĄ GŁOWICĄ NARZĘDZIOWĄ

Riveting machine with modular tools head

Mirosław CHŁOSTA, Konrad KLUSEK, Janusz KOBIAŁKA, Marcin WELC

Streszczenie: Nitowanie obwiedniowe i radialne jest jednym z głównych procesów wykorzystywanych podczas formowania połączeń nierozłącznych na zimno. W artykule opisano nitownicę o budowie modułowej umożliwiającą w łatwy sposób wymianę głowicy radialnej na obwiedniową. Przedstawiono również układ walidacji procesu nitowania poprzez jednoczesny pomiar siły i przemieszczenia oraz porównania ich przebiegu ze wzorcem.

Słowa kluczowe: nitowanie, nitownice radialne, nitownice obwiedniowe

Abstract: The orbital and radial riveting is one of the metal forming processes which enables the manufacture of products through cold working. The riveting machine with modular shape of structure was presented. The main parts of it were shown. On the end the riveting process validating criteria and subsystem used to force and displacement measurements were described

Key words: Forming process, radial and orbital riveting machinery

Wstęp

Według słownika języka polskiego pod red. W. Doroszewskiego „moduł” to „element pełniący ustaloną funkcję, łatwy do wykorzystania, jako część różnych większych całości”. W maszynach i urządzeniach montażowych projektanci, konstruktorzy i producenci starają się stosować jak najwięcej rozwiązań modułowych. Takie podejście do budowania maszyn pozwala na standaryzację podzespołów, a w konsekwencji krótszy proces wytwórczy i ograniczenie kosztów produkcji.

Koncepcja ta doprowadziła do opracowania projektu modułu do nitowania wyposażonego w wymienną głowicę narzędziową do nitowania radialnego lub obwiedniowego.

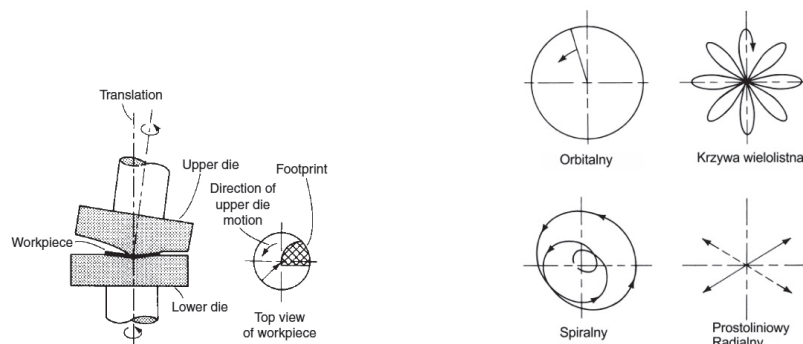
Proces nitowania

Trwałe, nierozłączne połączenie dwóch lub kilku elementów metalowych w wyniku ich odkształceń plastycznych znane jest od stuleci. Obecnie udział tej technologii w globalnej liczbie połączeń nierozłącznych wzrasta

wraz z rozwojem technicznym i materiałowym. W 1999 r. udział montażu w technikach wytwarzania w przemyśle krajowym wynosił ok. 35%, w tym procesu nitowania 8%. Obserwowana jest tendencja wzrostowa. Jednocześnie da się zauważyć, że ok. 80% operacji montażowych to operacje ręczne, 17,5% – częściowo zmechanizowane, 2% – zmechanizowane, a tylko 0,5% – zautomatyzowane. Jednak z upływem czasu statystyki dotyczące sposobów wykonywania operacji montażowych poprawiają się na korzyść mechanizacji i automatyzacji.

W przypadku procesu nitowania wprowadzane zmiany idą w kierunku zmniejszenia siły potrzebnej do wykonania połączenia – zmniejszenie energochłonności oraz poprawy rozkładu naprężeń w połączeniu.

Efektom tych działań było pojawienie się na początku XX w. narzędzi z wahającym się narzędziem roboczym. W angielskojęzycznej literaturze technicznej procesy te określone są nazwą wspólną nazwą *rotary forging*. Obejmują prasowanie obwiedniowe (orbitalne), z wahającą się matrycą, prasowanie radialne itp. Ich wspólną cechą jest to, iż narzędzie robocze jest w stałym kontakcie z przedmiotem



Rys. 1. Schemat ilustrujący zasadę kształtowania części wahlowej matrycy oraz jej możliwe trajektorie ruchu [4]
Fig. 1. Scheme of rotary forging and feasibility trajectories [4]

obrabanym na znacznie mniejszej powierzchni niż w klasycznych procesach kształtowania. Dodatkowo, narzędzie kształtujące wykonuje ruch o złożonej kinematyce. Istotą procesu jest zatem uzyskanie odkształceń plastycznych na stosunkowo małym obszarze, który przemieszcza się w wraz z ruchem narzędzia (np. stempla).

Metody rotacyjnego nitowania można podzielić na następujące trzy podstawowe grupy:

- nitowanie rolkami,
- nitowanie obwiedniowe (orbitalne),
- nitowanie radialne.

Nitowanie rolkami ze względu na niską jakość uzyskiwanego połączenia oraz szybkie zużywanie się narzędzi i duże gabaryty głowicy nitującej jest w stadium zaniku. Z kolei dwie pozostałe są stosowane szeroko i rozwijane. Podstawową zasadą wykorzystywaną w tej technologii jest niewspółosiowe ustawienie głowicy w stosunku do spęczki (rys. 1).

Matryce mogą wykonywać, względem spęczki, ruch o zróżnicowanej trajektorii. Stosowany jest ruch orbitalny, po obwiedni łba nitu, ruch spiralny, prostoliniowy – radialny oraz po tzw. krzywej wielolistnej.

Sposób poruszania się głowicy górnej nitownicy względem dolnej ma wpływ na jakość, strukturę materiału nitu i elementów łączonych.

Zestawienie tych cech przedstawiono na rys. 2.

Z przedstawionych na rys. 2 przekrojów połączeń nitowanych wynikają następujące spostrzeżenia:

a) Nitowanie przez prasowanie lub młotkowanie

Podczas prasowania wywierany jest jednorazowy nacisk, przez młotkowanie – wielokrotne uderzenie w osi nitu. Wadą takiej obróbki jest wstępowanie dużych sił oraz hałas w trakcie procesu obróbki. W przekroju widoczne bardzo silne utwardzenie struktury,

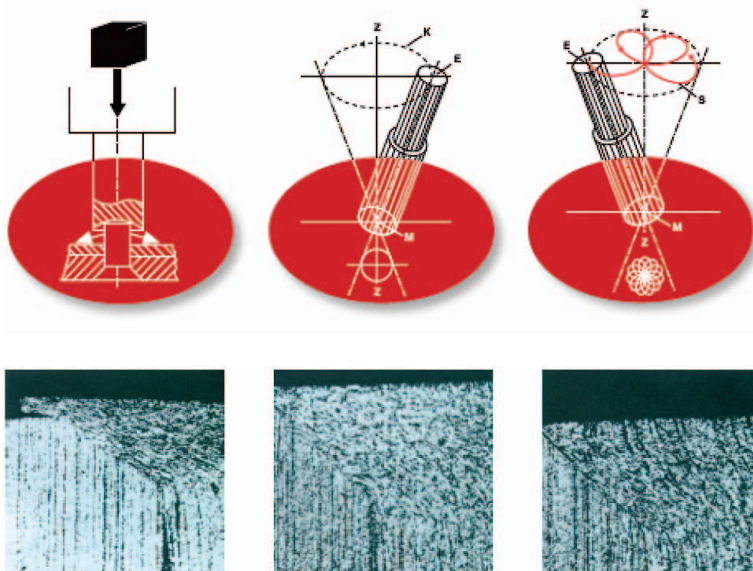
b) Nitowanie obwiedniowe

Koniec trzpienia nitującego E porusza się po torze kulistym K wokół osi środkowej Z stempla nitującego. Oś trzpienia nitu przecina osi stempla w punkcie M. Odkształcenie nitu następuje na linii styku równej promieniowi główki nitu. Dobrze widoczne utwardzenie,

c) Nitowanie radialno-punktowe

Tor kulisty K został zastąpiony torem w postaci pętli S. Oś wzdłużna trzpienia nitu przecina również osi stempla w punkcie M. Końcówka wrzeciona E przebiega przez osi środkową Z. Odkształcenie nitu dokonuje się przez zetknięcie punktowe pomiędzy stemplem nitującym a nitem. Nieznaczna zmiana struktury materiału nitu.

Stempel w nitownicy radialnej oprócz ruchu linowego wzdłuż osi nitu, wykonuje również ruch wahliwy listkowy obtaczania promieniowego po krzywej zwanej rozetą. Stempel ma wówczas niewielki, w przybliżeniu punktowy, styk z materiałem formowanym, dzięki czemu siły konieczne do plastycznego formowania materiału są mniejsze niż przy tradycyjnym nitowaniu. Rozkład naprężeń materiału deformowanego jest bardziej korzystny niż przy tradycyjnym prasowaniu, a jakość powierzchni jest wyjątkowo gładka, porównywalna do polerowanej. Materiał na powierzchni nitu przemieszcza się radialnie ku obwodowi, przez co jego struktura zmienia się nieznacznie w porównaniu do nitowania tradycyjnego. Metoda ta generuje niski poziom hałasu i pozwala uzyskać pewne i estetyczne połączenia, dzięki minimalnemu tarcia na styku nitu oraz stempla wydzielanie ciepła jest minimalne. Nitowanie metodą radialną ma szerokie zastosowanie również w wielu operacjach bez udziału łączników np. przy deformowaniu i kształtowaniu zakończeń prętów i rurek.



Rys. 2. Porównanie sposobu wykonywania połączenia nitowego oraz struktury przekroju nitu [5]

a) prasowanie lub młotkowanie b) nitowanie obwiedniowe c) nitowanie radialno-punktowe

Fig. 2. Comparison of the different ways of rivet forming and its rivets cross-sections [5]

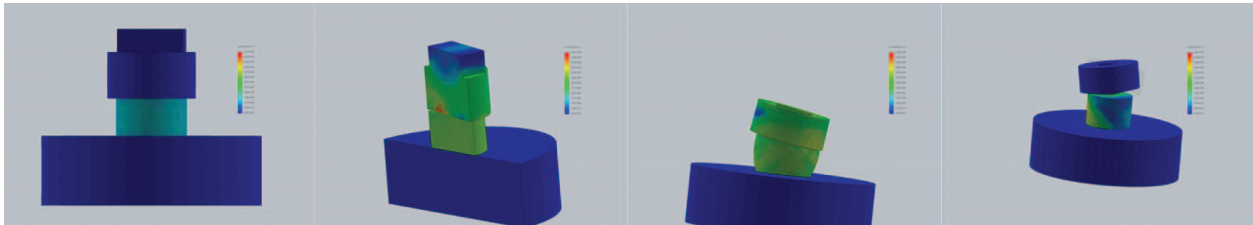
a) pressing and hammering b) orbital riveting c) radial riveting

Projektowanie modułu nitownicy z wymiennymi głowicami narzędziowymi

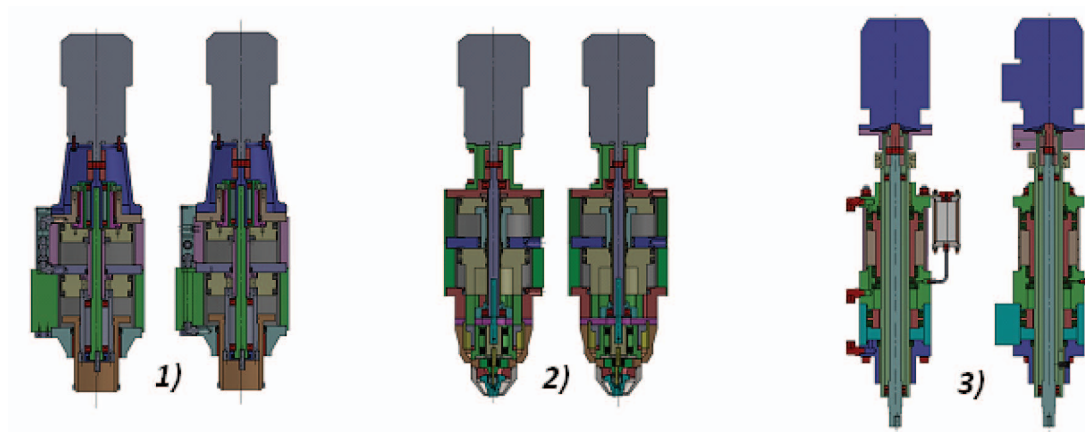
W pierwszym kroku projektowania modułu nitownicy wykonano analizę rozwiązań patentowych oraz dokonano przeglądu nitownic dostępnych na rynku. Z analizy uzyskano informację o chronionych prawnie rozwiązaniach

konstrukcyjnych oraz o parametrach użytkowych urządzeń dostępnych na rynku. Następnie wykonano analizę MES procesu formowania spęczki przy różnych warunkach brzegowych (rys. 3).

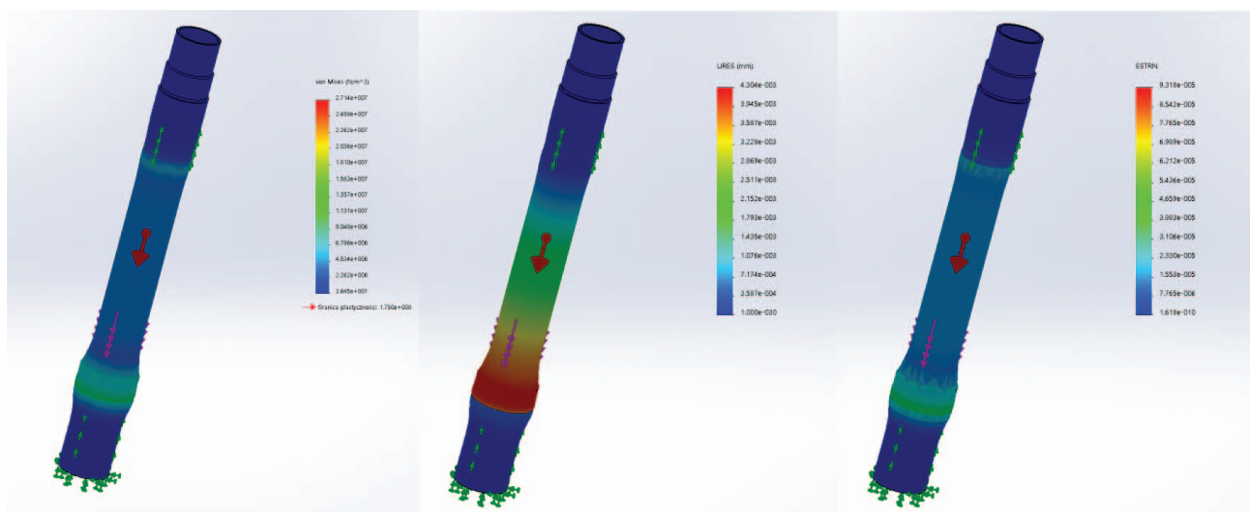
Analizy MES pozwoliły na ustalenie wartości siły, która pozwoli na spęczanie nita pełnego o średnicy $\varnothing 12$ [mm].



Rys. 3. Symulacje procesu formowania spęczki – poszczególne fazy
Fig. 3. Workpiece forming in steps



Rys. 4. Koncepty modułu głowicy do nitowania
1) Konceptcja nr I 2) Konceptcja nr II 3) Konceptcja nr III
Fig. 4. Modular riveter concepts
1) # I Concept 2) # II Concept 3) # III Concept



Rys. 5. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń dla tloczyska w pozycji skrajnej dolnej
Fig. 5. Stress, displacement and strain diagrams for the rod lower position

Następnie opracowano trzy koncepcje modułu głowicy do nitowania (rys. 4).

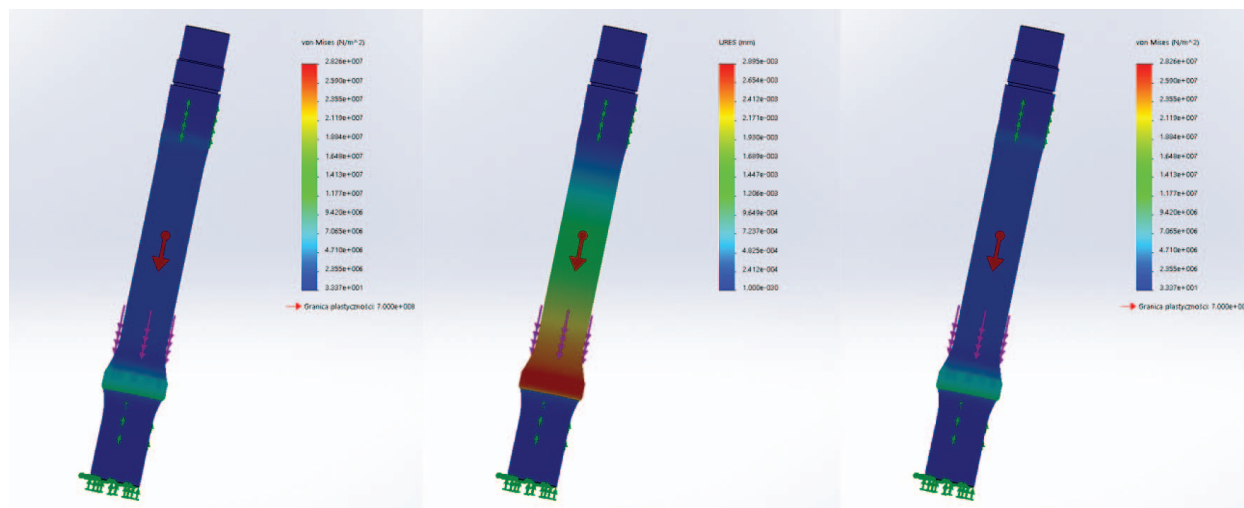
W kolejnym kroku poddano analizie wszystkie koncepcje modułu nitownicy, biorąc pod uwagę parametry techniczne, użytkowe oraz ekonomiczne.

Do dalszych prac wybrano trzecie rozwiązanie. Następnie istotne elementy wybranej nitownicy zostały przebadane metodą elementów skończonych. Uwzględniono warunki pracy, przenoszone obciążenia

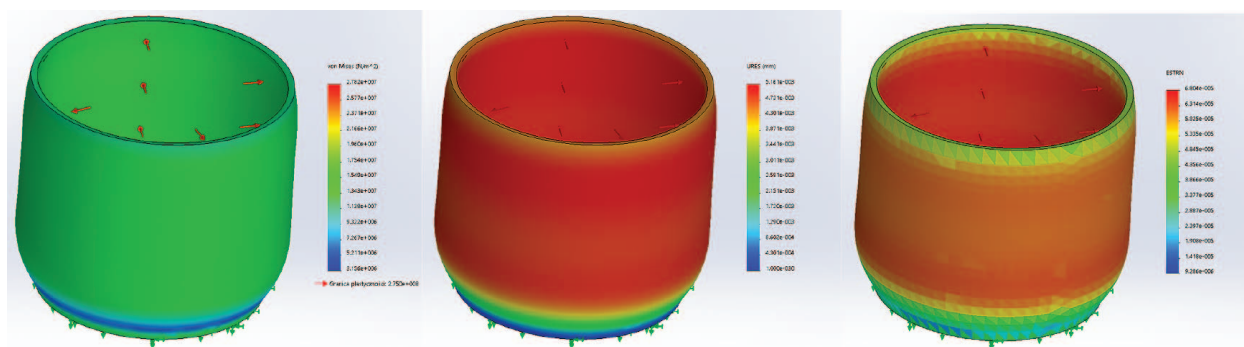
i współczynnik bezpieczeństwa. Analizy MES (rys. 5-8) pozwoliły zweryfikować modele i opracować na ich podstawie dokumentację wykonawczą modułu nitownicy.

Moduł do nitowania z wymienną głowicą narzędziową

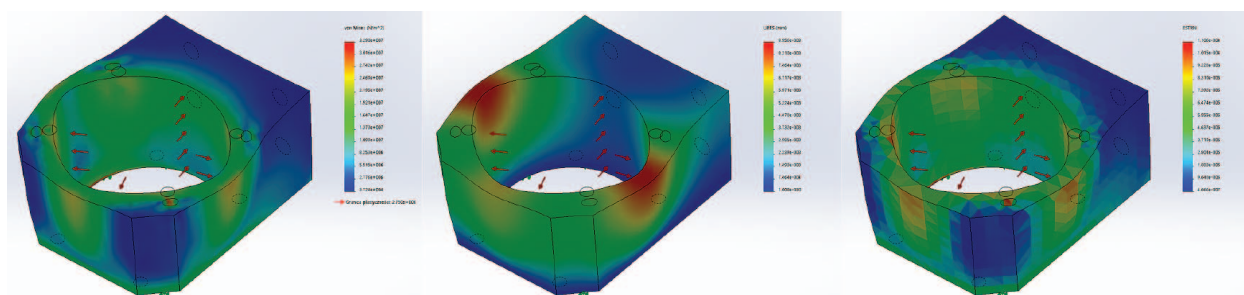
Na rysunkach poniżej przedstawiono: moduł (rys. 9) oraz głowice narzędziowe: radialną (rys. 10) i obwiedniową (rys. 11).



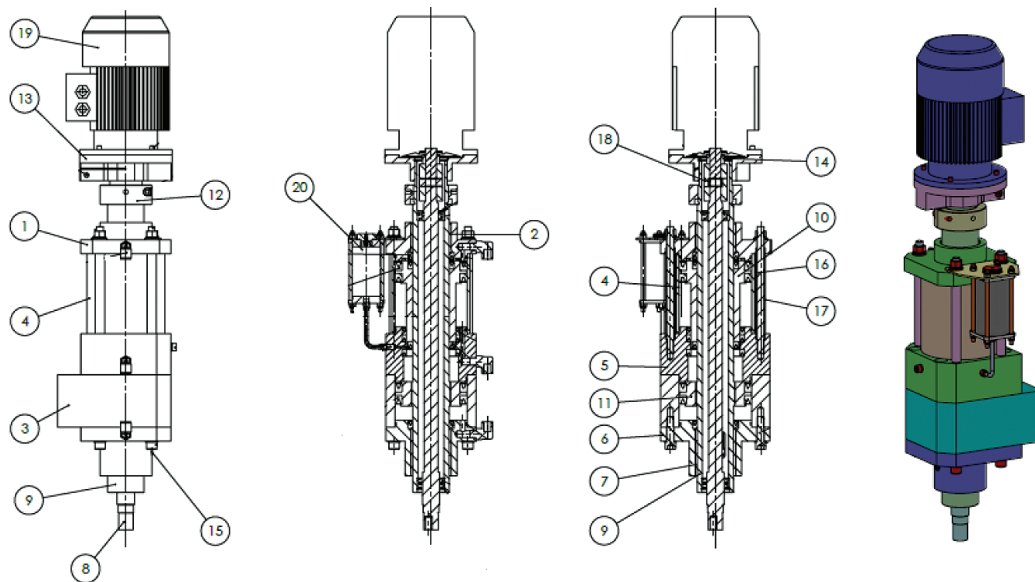
Rys. 6. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń dla tloczyska w pozycji skrajnej górnej
Fig. 6. Stress, displacement and strain diagrams for the rod upper position



Rys. 7. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń cylindra górnego
Fig. 7. Upper cylinder stress, displacement and strain diagrams

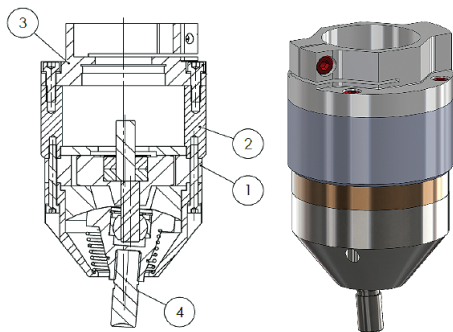


Rys. 8. Wykres naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń cylindra dolnego
Fig. 8. Bottom cylinder stress, displacement and strain diagrams



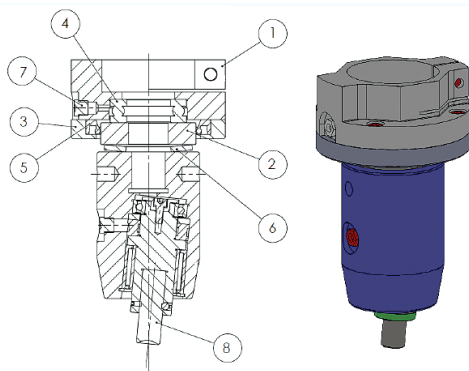
Rys. 9. Moduł do nitowania z wymienną głowicą narzędziową: 1) pokrywa górna, 2) prowadnica górna, 3) korpus główny, 4) cylinder pneumatyczny, 5) korpus nurnika, 6) pokrywa dolna, 7) prowadnica dolna, 8) wał napędowy, 9) tłoczek, 10) nurnik, 11) tłok, 12) ogranicznik skoku, 13) zacisk silnika, 14) podkładka

Fig. 9. Riveter with changeable tool head: 1) upper cover, 2) upper gateway, 3) main body, 4) pneumatic cylinder, 5) plunger body, 6) bottom cover, 7) bottom gateway, 8) driver shaft, 9) rod, 10) plunger, 11) rod, 12) stroke limiter, 13) motor clamp, 14) washer



Rys. 10. Głowica narzędzia do nitowania radialnego: 1) korpus, 2) tuleja, 3) zacisk, 4) stempel

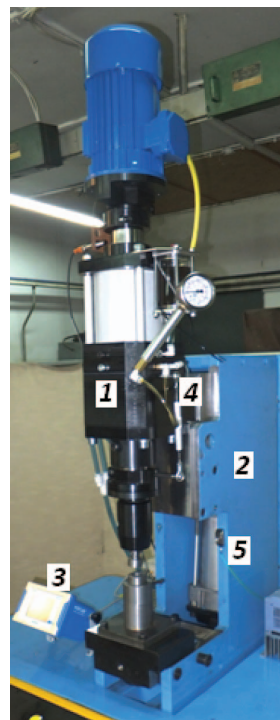
Fig.10. Radial riveter head: 1) Frome (body), 2) sleeve, 3) clamp, 4) punch



Rys. 11. Głowica narzędzia do nitowania obwiedniowego: 1) Zacisk, 2) Dystans, 3) Tuleja, 4) Łożysko, 5) Simmering, 6) Sprężyna, 7) Smarownicza, 8) Stempel

Fig. 11. Orbital riveter head: 1) clamp, 2) spacer, 3) sleeve, 4) bearing, 5) snap ring, 6) spring, 7) grease nipple, 8) punch

Następnie wykonano prototyp modułu i poddano go badaniom weryfikującym założenia teoretyczne (rys. 12).



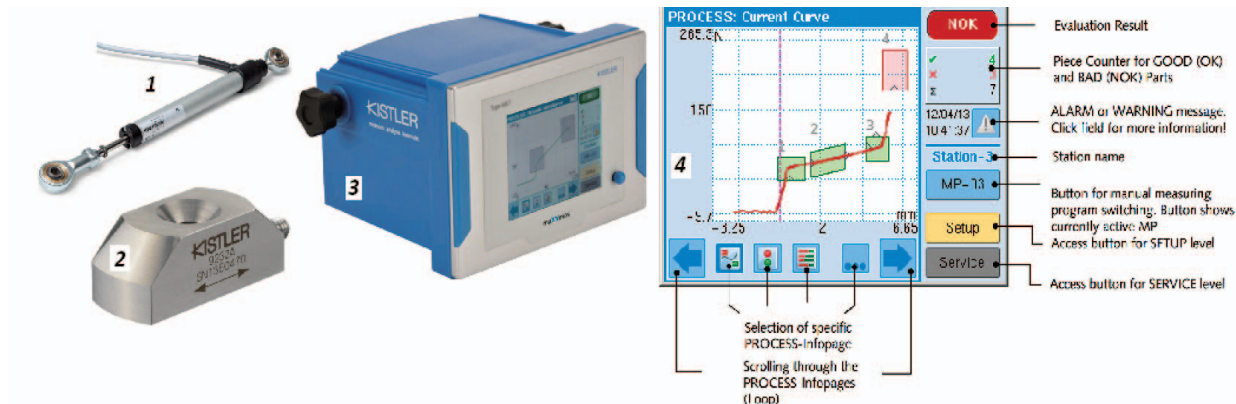
Rys. 12. Próby nitowania na module do nitowania: 1) Moduł do nitowania, 2) Wspornik, do którego został zamontowany moduł do nitowania, 3) Elektroniczny kontroler procesu nitowania, 4) Przetwornik przemieszczenia (drogi) głowicy narzędziowej, 5) Przetwornik naprężenia służący do pomiaru siły nitowania

Fig. 12. Riveter testing
1) riveting section, 2) frame, 3) Riveting process controller, 4) displacement transducer, 5) Force transducer

Układ walidacji procesu nitowania

Istotnym zagadnieniem pojawiającym się podczas każdego procesu technologicznego jest ocena prawidłowości jego przebiegu. Konieczne jest zatem monitorowanie wartości wybranych parametrów procesu w funkcji czasu. Dla

nitowania tymi parametrami są siła i przemieszczenie głowicy. Zastosowany układ kontroli (rys. 13) pozwala na wizualizację zmienności wartości tych parametrów w dowolnie określonej dziedzinie (czasu, siły, przemieszczenia). Umożliwia to jednoznaczne oddzielenie procesów o przebiegach prawidłowych (rys. 14) od nieprawidłowych (rys. 15).

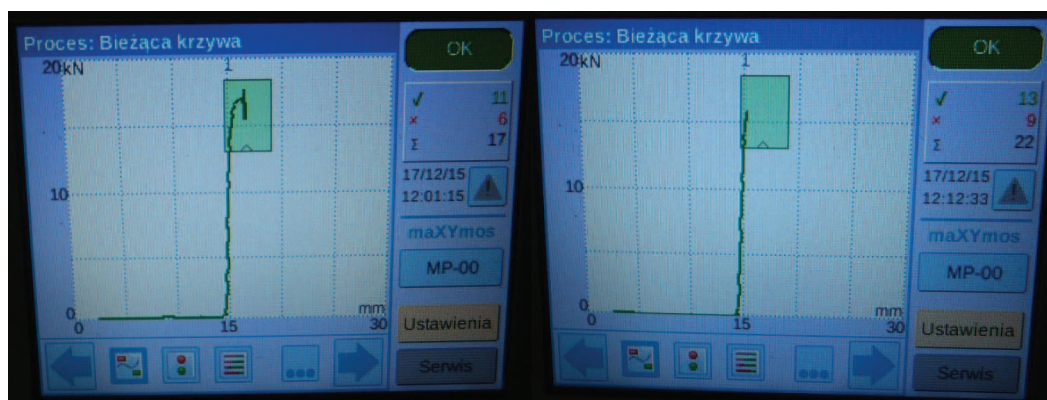


Rys. 13. Schemat kształtowania połączenia nitowego dwustronnego

1) Przetwornik przemieszczenia (drogi) głowicy narzędziowej radialnej lub obwodniowej modułu do nitowania, 2) Przetwornik naprężeń służący do pomiaru siły nitowania, 3) Elektroniczny kontroler procesu nitowania rejestrujący przebiegi siły w funkcji przemieszczenia, 4) Przykładowy widok ekranu na kontrolerze

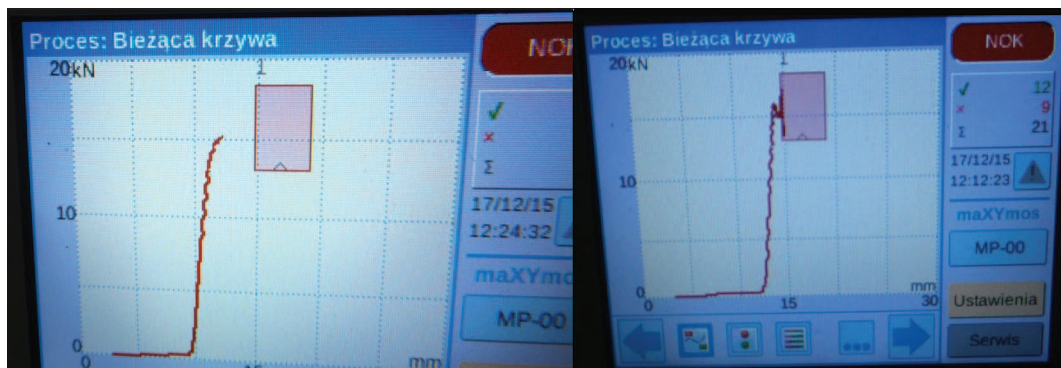
Fig. 13. Diagram of the double sided riveting process

1) modular riveting head displacement transducer, 2) force transducer, 3) PLC with HDI for force and displacement acquisition, 4) Sample of the HDI screenshot,



Rys. 14. Prawidłowe przebiegi siły w funkcji przemieszczenia uzyskane podczas prób nitowania na module do nitowania

Fig. 14. Correct history of the force vs displacement during the riveting process



Rys. 15. Nieprawidłowy przebieg siły w funkcji przemieszczenia w procesie nitowania – nity zbyt długie

Fig. 15. Incorrect history of the force vs displacement during the riveting process – the rivets were too long

Realizacja walidacji odbywa się na zasadzie porównania ze wzorcem. Wymagane jest zatem wprowadzenia do systemu wzorca prawidłowego procesu w postaci tzw. okien oceny. Generowany wykres siły w funkcji przemieszczenia daje operatorowi informację o poprawności przebiegu procesu po powrocie głowicy do pozycji początkowej (rys. 14 i 15).

Możliwość akwizycji danych z wielu powtarzających się pomiarów pozwalają ocenić statystycznie całą partię produkcyjną.

Układ kontroli procesu nitowania może być traktowany jako samodzielny moduł pomiarowy z niezależnym zasilaniem elektrycznym. Można zatem wykorzystać go do współpracy z wieloma starszymi nitownicami, które działają już w liniach produkcyjnych.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku wyżej opisanych prac stworzono moduł do nitowania. Po badaniach prototypu stwierdzono, że zapewnia on nacisk ok. 16 [kN] przy ciśnieniu 0,6 [MPa] i ok. 19 [kN] przy ciśnieniu 0,7 [MPa]. Umożliwia to formowanie nitów o średnicy do $\varnothing 12$ [mm]. Moduł ma nieskomplikowaną budowę, a użyte detale niemal w całości mogą być wykonane na tokarkach. Nie wymagają bowiem skomplikowanych procesów obróbkowych. Moduł może być wyposażony wymiennie w głowicę narzędziową obwiedniową lub radialną. Stanowi to pewnego rodzaju innowację na rynku. Z punktu widzenia wytwarzania takie rozwiązanie znacznie obniża koszty, gdyż elementy głowicy są uniwersalne, różnica tkwi tylko w rodzaju zastosowanego narzędzia. Głowice radialne są droższe w wykonaniu od obwiedniowych, ale jak się okazuje, ich zastosowanie nie jest konieczne we wszystkich aplikacjach. Głowice obwiedniowe lepiej niż radialne sprawdzają się przy formowaniu nitów rurkowych, zwłaszcza przy cieńszych ściankach. Nie powodują bowiem niezamierzonej deformacji kształtu nitu. Inną dużą zaletą głowic obwiedniowych to małe koszty utrzymania, gdyż cyklicznie wymieniane są tylko łożyska i ewentualnie stempel,

a więc elementy tanie i łatwo dostępne. W przypadku głowic radialnych, oprócz stempla, po dłuższym odstępie czasu konieczna jest wymiana czaszy współpracującej z tuleją narzędzia, a jeszcze rzadziej wymiany wymaga zespół kół zębatach. Są to podzespoły dedykowane, dużo droższe i mniej dostępne od łożysk.

LITERATURA

- [1] Łunarski J., F. Stachowicz. 1999. „Prasowanie radialne w procesach kształtowania i łączenia małych elementów maszyn”. OWPR Rzeszów.
- [2] Kowalski T., G. Lis, W. Szenajch. 2000, „Technologia i automatyzacja montażu maszyn”. OWPW Warszawa.
- [3] Sadowski T., J. Sęp, P. Lacki. 2016. „Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych”. Nr zadania – ZB 15, <http://slideplayer.pl/slide/409754/>, dostęp 06.12.2016.
- [4] Semiatin S. L. (red). 2005. “ASM Handbook. Rotary Forging”. Volume 14A, p. 179-182: Metalworking: Bulk Forming, www.asminternational.org, dostęp 06.12.2016.
- [5] Katalog_FMW_2015_PL.pdf – <http://www.automationstechnik.pl>, dostęp 06.12.2016.

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

mgr inż. Konrad Klusek – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatykacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: k.klusek@imbigs.pl

mgr inż. Janusz Kobiałka – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatykacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: j.kobialka@imbigs.pl

mgr inż. Marcin Welc – Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Zakład Mechanizacji Budownictwa, Automatykacji i Technologii Montażu, 04-697 Warszawa, ul. Mrówcza 243, e-mail: m.welc@imbigs.pl

MODUŁOWA KONSTRUKCJA ŻURWI PRZYCZEPOWYCH

Modular design of trailers cranes

Aleksander NIEOCZYM, Kazimierz DROZD

Streszczenie: Żuraw przyczepowy jest urządzeniem montowanym na przyczepach przeznaczonych do przewozu drewna. Podczas prac badawczo – konstrukcyjnych zdefiniowano funkcjonalne parametry żurawi. Umożliwiło to opracowanie pięciu typów żurawi, różniących się wycięgiem i udźwigiem. W celu obniżenia kosztów projektowania i wytwarzania główne zespoły podzielono na moduły. W obrębie każdego modułu wydzielono części wspólne, które mogą być wykorzystane we wskazanych typach żurawi.

Słowa kluczowe: żuraw przyczepowy, zaczep rotatora, ramię, spawanie

Abstract: A trailer crane is a device mounted on trailers intended for transporting timber. During the research and construction works, functional parameters of the cranes were defined. This enabled the development of five types of cranes differing in reach and capacity. In order to reduce the design and manufacturing costs, the main teams were divided into modules. Within each module, common parts have been separated, which can be used in the indicated types of cranes.

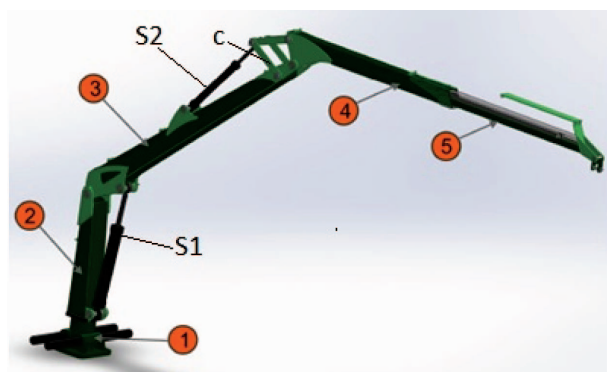
Key words: trailer crane, modular structure, capacity, crane radius

Wstęp

Żuraw jest dźwignicą, której podstawowy element przenoszący obciążenie, jakim jest wysięgnik, może wykonywać ruchy obrotowe w płaszczyźnie pionowej i/lub poziomej. Przedmiotem prac konstrukcyjno-badawczych autorów [3] są zagadnienia związane z konstrukcją przyczep do przewozu drewna wykorzystywanych w pracach leśnych. Równoległe z konstrukcją przyczepu rozpoczęto prace projektowe związane z konstrukcją żurawia, który mógłby być montowany na przyczepie do przewozu drewna. Jednym z założeń prac konstrukcyjnych było stworzenie żurawia, który nie naruszałby zastrzeżeń patentowych

głównych producentów [5-8] oraz to, aby konstrukcja stanowiła wersję wyjściową do stworzenia rodziny modułowych konstrukcji [2]. Modułowość konstrukcji ma na celu uproszczenie procesu projektowania i wytwarzania żurawi przy jednoczesnym stworzeniu większego wachlarza oferowanych modeli urządzenia. Dodatkowym atutem jest większa możliwość dostosowania urządzenia do potrzeb klienta oraz możliwość modyfikowania żurawi w procesie eksploatacji i większa dostępność części zamiennych.

Modułowość budowy żurawia będzie polegała na wykorzystaniu jak największej ilości zespołów i elementów konstrukcji wspólnych dla każdego z projektowanych żurawi. Żurawie z założenia mają różnić się wartością maksymalnego zakresu wycięgu, co umożliwi zastosowanie do załadunku w szerokiej gamie pojazdów. Prace konstrukcyjne zostały poprzedzone analizą konstrukcyjną dostępnych na rynku urządzeń [5-8] oraz wykorzystano informacje zawarte w poradnikach [4]. W skład projektowanego żurawia wchodzi pięć podstawowych modułów (rys. 1).

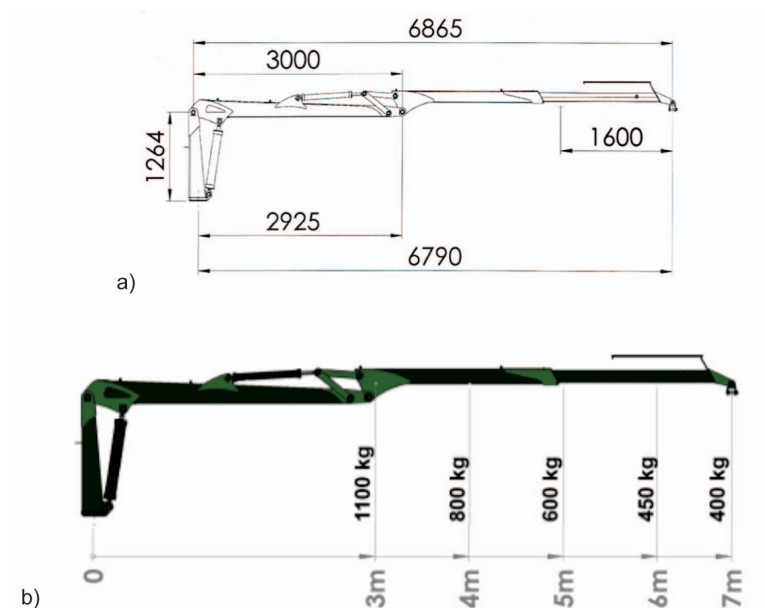


Rys. 1. Podstawowe moduły projektowanego żurawia: 1 – mechanizm obrotu żurawia, 2 – kolumna, 3 – wysięgnik pierwszy, 4 – ramię stałe wysięgnika drugiego, 5 – ramię wysuwane wysięgnika drugiego, S1 – siłownik podnoszenia wysięgnika pierwszego, S2 – siłownik zmiany położenia ramienia drugiego, c – cięgło
Fig. 1. Basic modules of the designed crane: 1 – crane rotation mechanism, 2 – column, 3 – first extension arm with fixed arm, 4 – second arm with retractable arm, S1 – first extension arm lift cylinder, S2 – second shoulder position actuator, c – pull rod

Metoda tworzenia modułowych konstrukcji

Podstawowym modelem żurawia na którym opiera się pozostała rodzina żurawi to żuraw (oznaczenie PKM6790) o maksymalnym zakresie wycięgu równym 6790 mm, mierząc od osi obrotu kolumny (rys. 2).

Zakres wysuwu ramienia teleskopowego wynosi 1600 mm, po złożeniu długość konstrukcji wynosi 3105 mm. Parametry dopuszczalnych udźwigów będą różnić się dla reszty modeli żurawi ze względu na występujący moment gnący podczas dźwigania ładunku przy różnych długościach ramion. Modułowa konstrukcja opiera się o zasady (rys. 1):



Rys. 2. Żuraw PKM6790: a) – wymiary gabarytowe rozłożonego żurawia, b) – dopuszczalny udźwig
 Fig. 2. Crane PKM6790: a) – overall dimensions of the unfolded crane, b) – permissible lifting capacity

- 1) Mechanizm obrotu oraz kolumna są modułami bazowymi konstrukcji projektowanych żurawi. Mechanizm obrotu jest modułem, który dodatkowo służy do montowania konstrukcji na docelowych pojazdach. Zróżnicowanie konstrukcji kolumny nie miałyby wpływu na udźwig żurawi oraz ich maksymalny wysuw.
- 2) Wysięgnik pierwszy jest wspólnym modułem dla wszystkich typów żurawi.
- 3) Płaszcz ramienia wysuwanego drugiego wysięgnika; ramię teleskopowe jest łamane za pomocą cięgna C, poruszanego siłownikiem S2.

Zespół cięgna C jest elementem wykorzystywanym w jednolitej postaci materiałowo-wymiarowej we wszystkich proponowanych żurawach. Cięgno C bezpośrednio łączy się z płaszczem ramienia wysuwanego (3). Płaszcz jest elementem, na który wpływ momentu gnącego jest znaczny. Jego przekrój poprzeczny jest mniejszy od wysięgnika (2). Z tego względu należało zróżnicować wskaźniki bezwładności geometrycznej poszczególnych płaszczy (3) przy jednoczesnym zwiększaniu długości ramienia płaszcza w celu zwiększenia wartości wysięgu żurawia.

Długość oraz przekrój poprzeczny płaszcza (3) są jednakowe dla żurawi:

- PKM5190 i PKM6490 o wartościach: długość – 2265 mm, wymiary przekroju poprzecznego – 160 × 100 × 5 mm.
 - PKM6790: długość 2265 mm, a wymiary przekroju to 160 mm × 30 mm × 5 mm.
 - PKM7140 i PKM7390: wymiary przekroju poprzecznego płaszcza (3) wynoszą 165 × 100 × 5. Ramiona różnią się długością wynoszącą dla żurawia PKM7140 – 2300 mm, a dla żurawia PKM7390 – 2400 mm.
- 4) Ramię wysuwne drugiego wysięgnika stanowi końcową część wysięgnika i jest elementem o najmniejszych

wymiarach przekroju poprzecznego. Wskaźnik przekroju na zginanie oraz długość ramienia wysuwanego ma znaczący wpływ na wartość dopuszczalnego udźwigu żurawia oraz maksymalnego zasięgu [1].

W oparciu o sprecyzowane wyżej założenia zaprojektowano moduły konstrukcyjne przedstawione na rys. 3, natomiast długości oraz wymiary przekroju poprzecznego ramion zestawiono w tab. I.

Tabela I. Zestawienie wymiarów ramienia wysuwanego
 Table I. List of dimensions of the retractable arm

Model żurawia	Długość ramienia wysuwanego [mm]	Wymiary przekroju poprzecznego [mm]	Skok tłoczyska siłownika [mm]
PKM 7390	1850	140x120x5	1850
PKM 7140	1600	140x100x5	1600
PKM 6790	1600	130x100x5	1600
PKM 6490	1300	130x80x5	1350
PKM 5190	brak	brak	brak

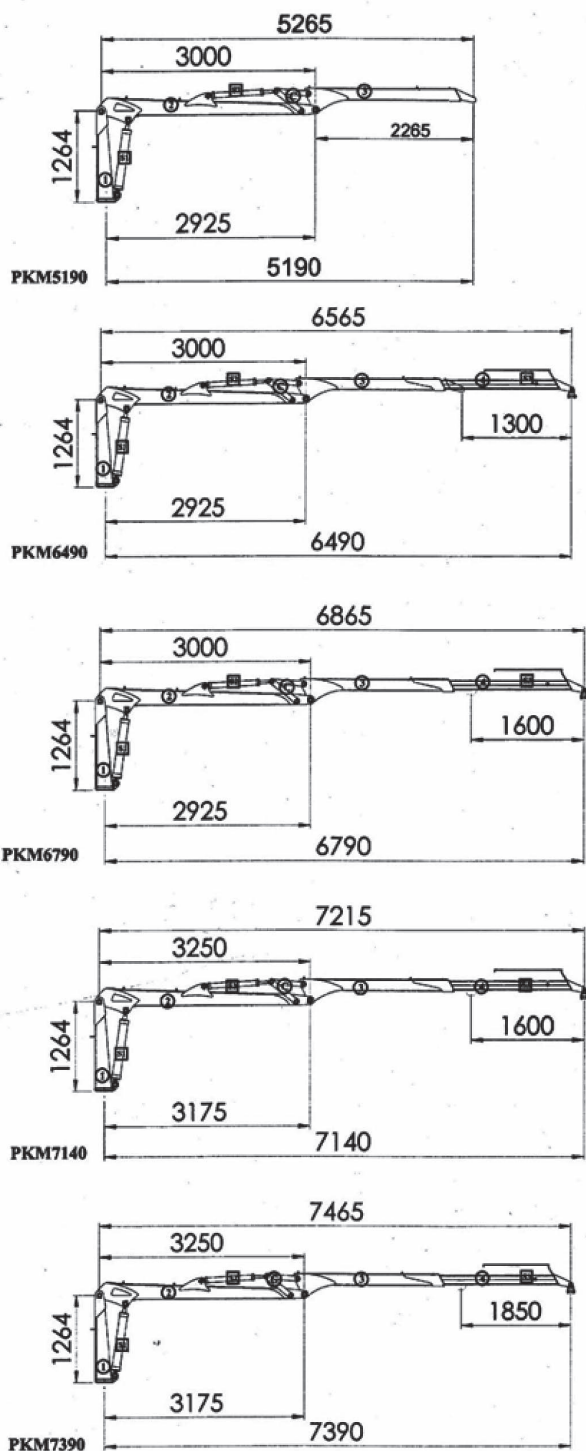
Elementy wzmacniające i złączne m.in. ucha, elementy prowadzące przewody hydrauliczne, wieszak na rotator są wspólne dla całej rodziny żurawi.

5) Dobór siłowników [9]

- Siłownik unoszenia ramion żurawia (oznaczenie S1 – rys. 1)

Dla wszystkich wersji projektowanych żurawi został dobrany jeden model siłownika unoszenia o wartości skoku 630 mm.

Typ siłownika UCJ2F, nazwa siłownika UCJ2F-16-100/70/630Gz+U



Rys. 3. Rodzina projektowanych żurawi
Fig. 3. Series of designed cranes

- Siłownik tzw. łamania żurawia (oznaczenie S2 – rys. 1)

Dla projektowanych żurawi o maksymalnych zakresach wsięgu 5190 mm, 6490 mm oraz 6790 mm został dobrany siłownik łamania o wartości skoku 800 mm.

Typ siłownika UCJ2F, nazwa siłownika UCJ2F-16-80/40/630Gz+U

Dla siłowników o maksymalnym zakresie wsięgu 7140 mm i 7390 mm dobrano siłownik łamania o wartości skoku 1050 mm.

Typ siłownika UCJ2F, nazwa siłownika UCJ2F-16-80/45/1050Gz+U

- Siłownik wysuwu ramienia wsięgnika drugiego żurawia

Dla projektowanych żurawi o maksymalnym zakresie wsięgu 6490 mm został dobrany model siłownika wysuwu ramienia teleskopowego o wartości skoku 1350 mm.

Typ siłownika UCJ2F, nazwa siłownika UCJ2F-16-50/28/1350Gz+U

Dla projektowanych żurawi o maksymalnych zakresach wsięgu 6790 mm, 7140 mm został dobrany siłownik wysuwu ramienia teleskopowego o wartości skoku 1600 mm.

Typ siłownika UCJ2F, nazwa siłownika UCJ2F-16-50/28/1600Gz+U

Dla projektowanego żurawia o maksymalnym zakresie wsięgu 7390 mm został dobrany model siłownika wysuwu ramienia teleskopowego o wartości skoku 1850 mm.

Typ siłownika UCJ2F, nazwa siłownika UCJ2F-16-50/32/1850Gz+U

Podsumowanie

Projektując żurawie o określonym udźwigu i wsięgu starano się wykorzystać elementy wspólne pogrupowane w pięciu modułach funkcjonalno-konstrukcyjnych. Głównym celem tworzenia modułowej budowy projektowanych żurawi było założenie by przy jak najmniejszych kosztach wytwarzania zaproponować użytkownikom rodzinę modeli urządzenia dostosowaną do ich potrzeb. Dodatkowo ważnym aspektem takiej budowy jest możliwość łatwiejszego montażu kompletnego urządzenia oraz sprawne przeprowadzanie napraw i remontów żurawi.

LITERATURA

- [1] Bąk R., T. Burczyński. 2014. „Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego”. Warszawa: WNT.
- [2] Jonak J. 2017. „Komputerowo wspomagane projektowanie maszyn, cz. II”. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej.
- [3] Krzysiak Z. i in. 2018. „Modelowanie przyczepy do przewozu drewna z wykorzystaniem programu Inventor”. *Mechanik* (1): 79–81.
- [4] Uva M., S. Uva. 2013. „Uva’s Guide To Cranes, Dollies, and Remote Heads”. Taylors & Francis Group.
- [5] <https://www.koenigstahl.pl>, dostęp 14.04.2017.
- [6] <http://silvatech.pl/>, dostęp 14.04.2017.
- [7] <http://www.riko-uk.com/>, dostęp 14.04.2017.
- [8] <http://www.vitli-krpan.com/>, dostęp 14.04.2017.
- [9] <http://www.ponar-luban.pl>, dostęp 14.04.2017.

dr inż. Aleksander Nieoczym – Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.nieoczym@pollub.pl

dr inż. Kazimierz Drozd – Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: k.drozd@pollub.pl

WPŁYW BŁĘDÓW ORIENTACJI ROBOTA MONTAŻOWEGO NA MONTOWALNOŚĆ CZĘŚCI O POWIERZCHNIACH PŁASKICH

The impact of assembly robot orientation errors on the assembly of parts with flat surfaces

Rafał KLUZ, Magdalena BUCIOR, Andrzej KUBIT, Dawid WYDRZYŃSKI

Streszczenie: W pracy przeprowadzono analizę zjawisk zachodzących podczas kojarzenia części maszyn o powierzchniach płaskich. Sformułowano wymagania, jakie muszą zostać spełnione, aby połączenie mogło zostać zrealizowane poprawnie. Następnie w odniesieniu do tych wymagań, określono wpływ błędów robota, na prawdopodobieństwo poprawnej realizacji procesu łączenia rozpatrywanych części maszyn. Wykazano, że w przypadku, gdy wymiary łączonych części są niewielkie, (≤ 20 mm) to w warunkach montowalności można pominąć wpływ błędów orientacji robota. Zmniejsza to wprawdzie nieznacznie dokładność obliczeń prawdopodobieństwa połączenia części (0.5%), jednak znacznie je upraszcza. Wykazano również, że w przypadku większych wymiarów części konieczne staje się uwzględnienie błędów kątowych, ale jedynie tych, które powodują przemieszczenie powierzchni o największych długościach.

Słowa kluczowe: błędy robota, montowalność części, dokładność montażu

Abstract: This paper presents the phenomena occurring during the mating of machine parts with flat surfaces. The requirements have to be fulfilled in order for the connection to be carried out correctly were formulated. Then, in relation to these requirements, the impact of robot errors on the probability of correct implementation of the connection process of the considered machine parts was determined. It was shown that if the dimensions of the parts to be joined are small, (≤ 20 mm), the effect of robot orientation errors can be neglected under mounting conditions. Although this slightly reduces the accuracy of the probability of combining parts (0.5%), it considerably simplifies them. It has also been shown that in the case of larger parts dimensions, it is necessary to take into account angular errors but only those that cause displacement of the surfaces of the largest lengths.

Key words: robot errors, assembly of parts, assembly accuracy

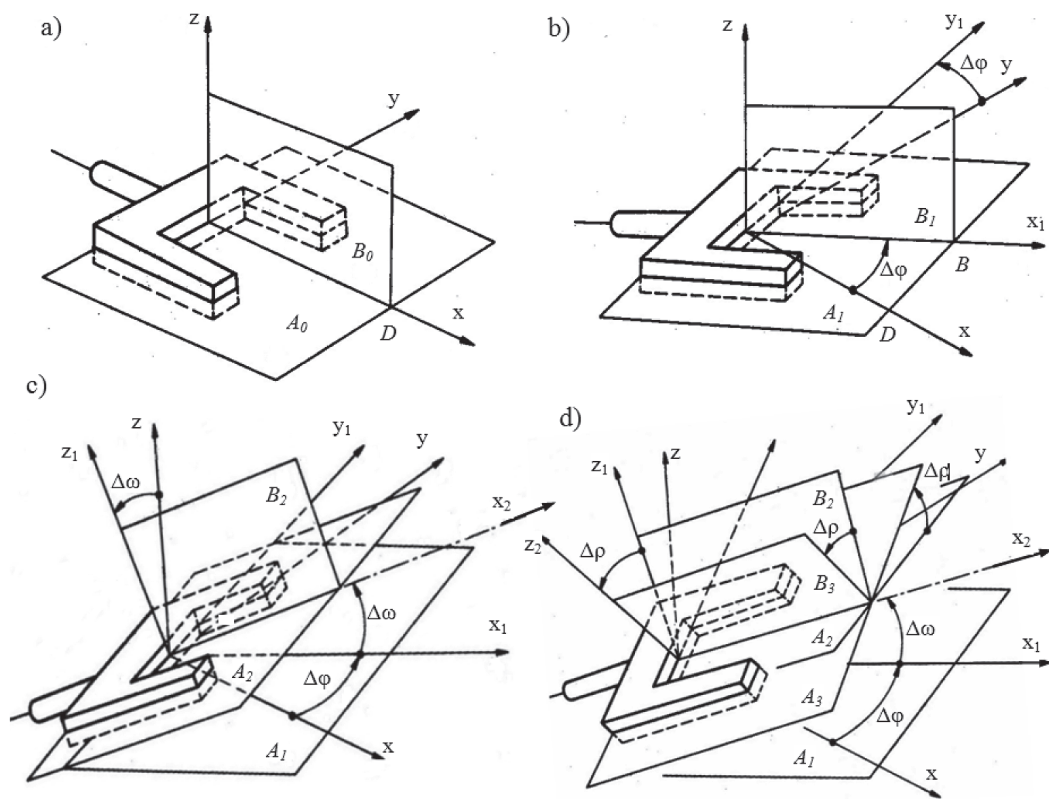
Wprowadzenie

Najważniejszym i jednocześnie najtrudniejszym etapem procesu montażu jest wzajemna orientacja części, zwłaszcza wtedy, gdy powinny być zorientowane z dużą dokładnością względem siebie. Niezapewnienie wymaganej dokładności uniemożliwia realizację procesu montażowego, narusza jego stabilność i powoduje pogorszenie efektywności ekonomicznej całego procesu [4]. Podstawowym warunkiem osiągnięcia wysokiej niezawodności pracy systemu montażowego jest spełnienie warunku montowalności dla wszystkich kojarzonych części. W rzeczywistości warunki te mogą być spełnione jedynie z pewnym prawdopodobieństwem. W związku z tym przez montowalność wyrobu w zrobotyzowanym montażu należy rozumieć prawdopodobieństwo zmontowania jego części, przy zachowaniu wymagań jakościowych [4, 7].

Montowalność, zwłaszcza w zrobotyzowanym montażu, ma istotne znaczenie i determinuje dalsze etapy projektowe jak: wybór schematu bazowania, wybór budowy i stopni swobody robota montażowego oraz warunki wykonywania operacji montażowej. Charakteryzowana jest wartościami tolerancji łączonych części, wielkością dopuszczalnych przemieszczeń liniowych i kątowych elementów łączonych w przestrzeni, w granicach, których możliwy jest jeszcze ich montaż. Wartości te są różne

w zależności od przyjętych metod montażu oraz sposobu ustalenia części. W trakcie realizacji procesu części powinny być dostarczone na pozycje montażowe w takim położeniu, aby przy dowolnych wymiarach, znajdujących się w przedziale dopuszczalnych tolerancji, możliwe było ich połączenie [7].

Celowość zastosowania zrobotyzowanego stanowiska montażowego, w dużym stopniu zależy od jego wydajności, uzależnionej od częstotliwości awarii oraz czasu jej usunięcia. Przyczyny awarii są różnorodne. Podstawowe z nich wynikają z tego, że parametry mechanizmów wykonawczych stanowiska montażowego nie odpowiadają wymaganiom technicznym podczas łączenia konkretnych jednostek montażowych. W celu zapewnienia wymaganej niezawodności zrobotyzowanego systemu montażowego, konieczne jest sformułowanie warunków montażu kojarzonych części, określonych na podstawie analizy parametrów geometrycznych i siłowych, wynikających z kinematyki przebiegu procesu łączenia jednostki montażowej. Dlatego w niniejszej pracy przeprowadzono analizę zjawisk, zachodzących podczas kojarzenia części maszyn o powierzchniach płaskich oraz sformułowano wymagania, jakie muszą zostać spełnione, aby połączenie mogło zostać zrealizowane poprawnie. Następnie w odniesieniu do tych wymagań, określono wpływ błędów robota na prawdopodobieństwo poprawnej realizacji procesu łączenia rozpatrywanych części maszyn.



Rys. 1. Interpretacja kątów orientacji a) położenie nominalne chwytaka, b) obrót chwytaka wokół osi z o kąt $\Delta\varphi$, c) obrót chwytaka wokół osi y_1 o kąt $\Delta\omega$, d) obrót chwytaka wokół osi x_2 o kąt $\Delta\rho$

Fig. 1. Interpretation of the orientation angles a) nominal position of the gripper, b) rotation of the gripper around the z axis by the angle $\Delta\varphi$, c) gripper rotation about the axis around y_1 by the angle $\Delta\omega$, d) grip rotation about the x_2 axis by the angle $\Delta\rho$

Warunki montowalności

Przydatność elementów do łączenia w jednostki montażowe jest pewną cechą, zależną od konstrukcji elementu, sposobu łączenia i budowy stanowiska montażowego. W ogólnym przypadku warunek montowalności części o powierzchniach płaskich można przedstawić w postaci zależności (1) z której wynika, że połączenie jednostki montażowej nastąpi wówczas, gdy błędy względnego przemieszczenia osi łączonych części powiększone o ich względne przemieszczenie spowodowane błędami orientacji chwytaka robota będą mniejsze od dopuszczalnych.

$$\begin{aligned} 0.5L_x &\geq |\Delta x + \Delta\Psi_x| \\ 0.5L_y &\geq |\Delta y + \Delta\Psi_y| \\ 0.5L_z &\geq |\Delta z + \Delta\Psi_z| \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

L_x, L_y, L_z – luz połączenia względem poszczególnych osi, $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – błędy względnego przemieszczenia osi łączonych części na kierunku osi x, y, z , $\Delta\Psi_x, \Delta\Psi_y, \Delta\Psi_z$ – przemieszczenia liniowe części wywołane błędami orientacji robota.

Orientację końcówki roboczej manipulatora robota montażowego w przestrzeni można określić za pomocą trzech kątów φ, ω, ρ (rys. 1). Jeżeli przy powtarzających się kolejno ruchach manipulatora każda ze współrzędnych konfiguracyjnych q_j zostaje ustawiona z pewnym niewielkim odchyleniem (błędem) Δq_j odżądanego ustawienia nominalnego, to orientacja chwytaka dozna również odchylenia odżądanego orientacji nominalnej. Kąty orientacji będą przy każdym cyklu nieco inne, doznając odchylenia $\Delta\varphi, \Delta\omega, \Delta\rho$.

Uwzględniając fakt, że podczas procesu montażu mogą pojawić się błędy orientacji względem wszystkich osi przyjętego układu współrzędnych, warunki montowalności części o powierzchniach płaskich można zapisać w postaci:

$$\begin{aligned} 0.5L_x &\geq |\Delta x + H_L - H_L \cos\Delta\omega \cos\Delta\phi| \\ 0.5L_y &\geq |\Delta y + L_L \cos\Delta\rho \cos\Delta\phi + H_L \cos\Delta\rho \sin\Delta\phi + \\ &\quad + W_L \cos\Delta\rho \sin\Delta\phi - L_L| \\ 0.5L_z &\geq |\Delta z + L_L \cos\Delta\rho \sin\Delta\phi + H_L \cos\Delta\rho \sin\Delta\phi + \\ &\quad + W_L \cos\Delta\rho \sin\Delta\phi - W_L| \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie: L_L, W_L, H_L oznacza odpowiednio długość, szerokość i wysokość przyłączanej części

Błędy robota względem poszczególnych osi przyjętego układu współrzędnych (Δx , Δy , Δz) powiększone o względne przemieszczenie części spowodowane wystąpieniem błędów orientacji części $\Delta\Psi_x$, $\Delta\Psi_y$, $\Delta\Psi_z$ stanowią nowe zmienne losowe: ξ_x , ξ_y , ξ_z . W przypadku gdy zmienne te są niezależne statystycznie prawdopodobieństwo połączenia części o określonych wartościach luzu L_x , L_y , L_z jest równe:

$$P = P(-0.5L_x \leq \xi_x < 0.5L_x) \cdot P(-0.5L_y \leq \xi_y < 0.5L_y) \cdot P(-0.5L_z \leq \xi_z < 0.5L_z) \quad (3)$$

Jeżeli natomiast między zmiennymi losowymi występuje zależność statystyczna wówczas całkowity błąd należy traktować jako 3-wymiarowy wektor losowy (lub 3-wymiarową zmienną losową) o łącznej gęstości prawdopodobieństwa $f(\xi_x, \xi_y, \xi_z)$. Prawdopodobieństwo połączenia części można wówczas wyznaczyć na podstawie zależności:

$$P = \int_{-0.5L_x}^{0.5L_x} \int_{-0.5L_y}^{0.5L_y} \int_{-0.5L_z}^{0.5L_z} f(\xi_x, \xi_y, \xi_z) d\xi_x d\xi_y d\xi_z \quad (4)$$

Identyfikacja błędów robota montażowego

Błąd położenia osi łączonych części jest zmienną losową, uzależnioną od błędów powtarzalności robota montażowego i błędów urządzeń wykonawczych. Do typowych urządzeń wchodzących w skład oprzyrządowania technologicznego robotów montażowych należą chwytaki przemysłowe, urządzenia do automatycznej wymiany narzędzi oraz urządzenia antykolizyjne. Przeprowadzone badania [1, 2, 3] wykazały, że błąd względnego przemieszczenia osi części $f(\xi_x, \xi_y, \xi_z)$ można scharakteryzować za pomocą zmiennej losowej, podlegającej prawu

normalnego rozkładu prawdopodobieństwa, o gęstości prawdopodobieństwa f tej zmiennej określonej funkcją (5), o macierzy wartości oczekiwanych $\mu^T = [\mu_1, \mu_2, \mu_3]$, odpowiadającej statycznemu błędowi robota i macierzy kowariancji Λ [6, 8]:

$$f(\xi_x, \xi_y, \xi_z) = \frac{1}{2\pi\sqrt{|\Lambda|}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x - \mu)^T \Lambda^{-1}(x - \mu)\right] \quad (5)$$

gdzie:

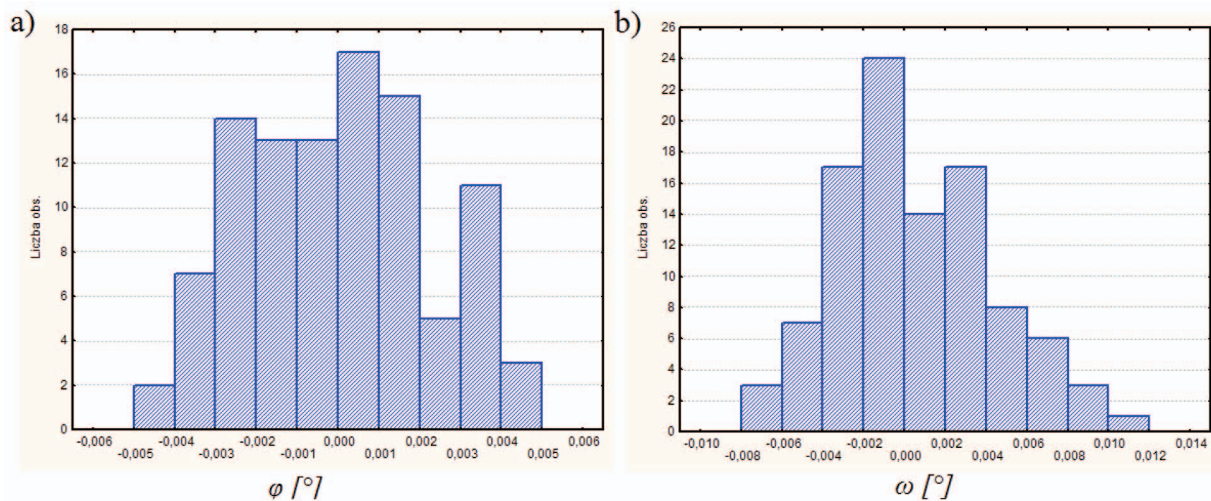
Λ – macierz kowariancji

μ^T – macierz wartości oczekiwanych

Błędy orientacji robota przemysłowego są funkcją błędów ustawienia współrzędnych konfiguracyjnych Δq_i . Badania przeprowadzone na przykładzie robota przemysłowego Mitsubishi RV-M2 wykazały, że błędy te podlegają normalnemu rozkładowi prawdopodobieństwa. W przypadku rozpatrywanego robota, mającego 5 stopni swobody wartości odchyłeń standardowych zmiennych losowych $\Delta\varphi$, $\Delta\omega$, $\Delta\rho$ są jednakowe dla wszystkich pozycji manipulatora i wynoszą odpowiednio: $\sigma_{\Delta\varphi} = 0,0023^\circ$, $\sigma_{\Delta\omega} = 0,0038^\circ$, $\sigma_{\Delta\rho} = 0,008^\circ$. Na rys. 2 przedstawiono rysunki histogramów zmiennych losowych błędów orientacji końcówki robota w przykładowym punkcie przestrzeni roboczej.

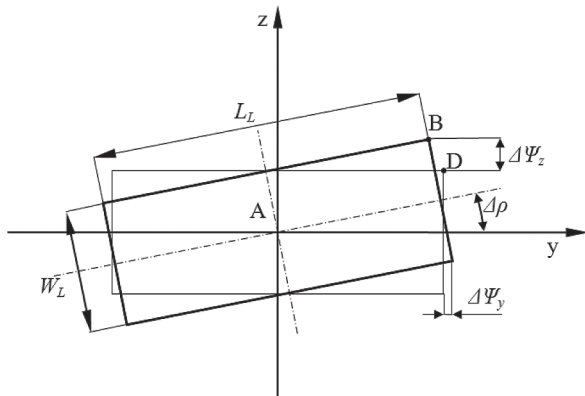
Wpływ błędów orientacji na prawdopodobieństwo połączenia części

Wyznaczenie parametrów zmiennych losowych ξ_x , ξ_y , ξ_z może w wielu przypadkach sprawiać wiele trudności. Wiąże się bowiem z koniecznością wyznaczania spłotów funkcji gęstości zmiennych losowych [5]. W związku z tym przeprowadzono badania, mające na celu określenie w jaki sposób błędy orientacji robota wpływają na prawdopodobieństwo połączenia części. W tym celu



Rys. 2. Histogramy przedstawiające błędy kątowe: a) kąta orientacji $\Delta\varphi$, b) kąta orientacji $\Delta\omega$; robota Mitsubishi RV – M2
Fig. 2. Histograms showing angular errors: a) orientation angle $\Delta\varphi$, b) orientation angle $\Delta\omega$; Mitsubishi RV – M2 robot

założono, że montaż będzie odbywał się z udziałem siły grawitacji. W takim przypadku warunki montowalności (2) ulegają znacznemu uproszczeniu, albowiem w takiej konfiguracji manipulatora robota Mitsubishi RV-M2 wpływ na montowalność mają jedynie błędy w płaszczyźnie prostopadłej do osi orientowanej części (Δz , Δy) oraz błędy orientacji $\Delta\omega$ i $\Delta\rho$. W celu wyznaczenia prawdopodobieństwa połączenia części założono, że montaż może odbywać się w punkcie przestrzeni robota charakteryzującym się błędem powtarzalności pozycjonowania: $\sigma_{\Delta z} = 0,016$ mm, $\sigma_{\Delta y} = 0,023$ mm oraz błędem orientacji $\sigma_{\Delta\rho} = 0,008^\circ$ (rys. 3).



Rys. 3. Przesunięcia liniowe części $\Delta\Psi_y$, $\Delta\Psi_z$ wywołane błędem orientacji robota $\Delta\rho$
Fig. 3. Linear displacements of parts $\Delta\Psi_y$, $\Delta\Psi_z$ caused by the robot orientation error $\Delta\rho$

Podczas montażu w każdym cyklu oś manipulowanej części powinna pokrywać się z osią części bazowej (punkt A). Punkt D zaznaczony na rys. 3 przedstawia położenie docelowe (nominalne) wierzchołka części przyłączanej. To położenie wyznaczone przez zerową wartość błędu kąta orientacji ($\Delta\rho = 0$). W realizacji praktycznej takiego procesu błąd ten jest pewną niezerową wielkością ($\Delta\rho \neq 0$). Dlatego też końcowe położenie wierzchołka części jest przesunięte w stosunku do wyznaczonego położenia nominalnego o pewien odcinek:

$$\Delta\Psi_z = L_l \sin \Delta\rho \quad (6)$$

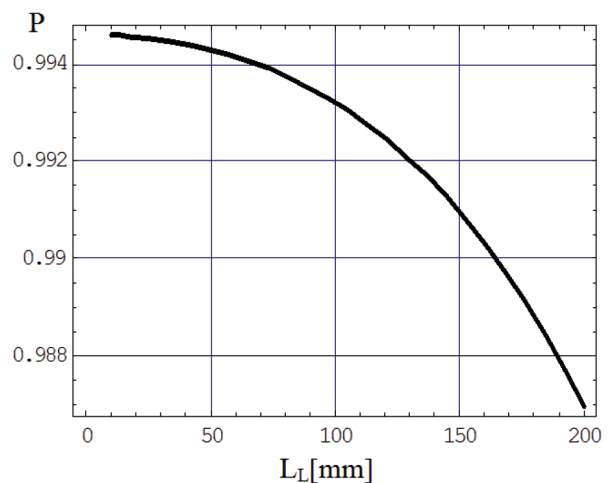
Probabilistyczna natura błędu kąta pozycjonowania ρ ma wpływ na dokładność pozycjonowania części. Jeżeli odchylenie standardowe błędu ustawienia kąta ρ w położeniu zerowym $\rho = 0$ jest równe $\sigma_{\Delta\rho}$, to odchylenie standardowe zmiennej losowej $\Delta\Psi_z$ będzie równe:

$$\sigma_{\Delta\Psi_z} = L_l \sigma_{\Delta\rho} \quad (7)$$

Ponieważ zmienna losowa ξ_z jest sumą zmiennej losowej błędów Δz i $\Delta\Psi_z$ to jej odchylenie standardowe wynosi:

$$\sigma_\xi = \sqrt{\sigma_{\Delta z}^2 + \sigma_{\Delta\Psi_z}^2} \quad (8)$$

Dla połączenia o wymiarach części przyłączanej wynoszących $L_L = 20$ mm, $W_L = 10$ mm, luzie $L_z = 0,096$ mm i $L_y = 0,14$ mm wyznaczono na podstawie zależności (3) prawdopodobieństwo połączenia części. W pierwszym etapie obliczeń założono, że w trakcie procesu występuje jedynie błąd względnego przemieszczenia osi łączonych części (Δz , Δy). Wartość prawdopodobieństwa połączenia części wyniosła $P = 0,9946$ co odpowiada zdolności jakościowej procesu równej $C_p = 0,93$. Następnie założono, że na proces łączenia części ma wpływ również błąd orientacji $\Delta\rho$. W wyniku tego prawdopodobieństwo uległo zmniejszeniu do wartości $P = 0,9945$, a więc o 0,01%, co odpowiada zdolności jakościowej procesu $C_p = 0,92$ (-0,5%).



Rys. 4. Wpływ szerokości części L_L na prawdopodobieństwo połączenia części
Fig. 4. Influence of L_L part width on the probability of joining parts

W dalszym etapie analizy założono, że długość części L_L wynosi 200 mm (rys. 4). W tym jednak przypadku okazało się, że pojawienie się błędu $\Delta\rho$ prowadzi do zmniejszenia prawdopodobieństwa połączenia części o 0,86% do wartości $P = 0,9860$, co odpowiada obniżeniu zdolności jakościowej procesu aż o 12%.

Podsumowanie

Wyznaczanie poziomu montowalności cylindrycznych połączeń części maszyn na zrobotyzowanym stanowisku montażowym stanowi złożone zagadnienie. Największe trudności można napotkać wówczas, gdy w obliczeniach uwzględnia się błędy orientacji części względem wszystkich osi przyjętego układu współrzędnych. Prowadzi to bowiem do złożonych obliczeń, polegających na wyznaczeniu splotu funkcji gęstości wszystkich zmiennych losowych mających wpływ na przebieg procesu montażu. Z przeprowadzonych w pracy obliczeń wynika jednak, że w przypadku, gdy wymiary łączonych części są niewielkie, (L_L , W_L , $H_L \leq 20$ mm) to w warunkach montowalności można pominąć wpływ błędów orientacji. Zmniejsza

to wprowadzie dokładność obliczeń (o ok. 0,5%), jednak znacznie upraszcza obliczenia prawdopodobieństwa. W przypadku, gdy wymiary części są większe konieczne staje się ich uwzględnienie, ale jedynie tych, które powodują przemieszczenie powierzchni o największych długościach.

Należy przy tym zauważyć, że badania poziomu montowalności prowadzone były dla robota należącego do starszej klasy manipulatorów, charakteryzujących się większymi wartościami błędów w porównaniu do robotów nowszej generacji. Dla robotów tych, odznaczających się znacznie większą dokładnością, wpływ błędów orientacji na prawdopodobieństwo połączenia części może okazać się znacznie mniejszy.

LITERATURA

- [1] Choi D.H., H.H. Yoo. 2006. "Reliability analysis of a robot manipulator operation employing single Monte-Carlo simulation". *Key Engineering Materials*, Vol. 321/323 No. 1662-9795: 1568–1571.
- [2] Kluz R., T. Trzepieciński. 2015. "Analysis of optimal orientation of robot gripper for an improved capability assembly process". *Robotics and Autonomous Systems* t. 74, Part A, s. 253–266.
- [3] Kluz R., T. Trzepieciński. 2014. "The repeatability positioning analysis of the industrial robot arm". *Assembly Automation*, t. 34, s. 285–295.
- [4] Kluz R. 2014. „Walidacja wyposażenia zrobotyzowanego stanowiska montażowego”. *Technologia i Automatykacja Montażu*: 23–27.
- [5] Kotulski Z., W. Szczepiński. 2004. „Rachunek błędów dla inżynierów”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [6] Kumar R., P. Kalra, N.R. Prakash. 2011. "A virtual RV-M1 robot system". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 27 No. 6: 994–1000.
- [7] Łunarski J., W. Szabajkiewicz. 1993. „Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [8] Zhang J.Y., C. Zhao, D.W. Zhang. 2011. "Pose accuracy analysis of a robot manipulator based on kinematics". *Advanced Materials Research*, Vol. 201/203: 1867–1872.

dr inż. Rafał Kluz – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: rkluz@prz.edu.pl

dr inż. Magdalena Bucior – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: magdabucior@prz.edu.pl

dr inż. Andrzej Kubit – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: akubit@prz.edu.pl

dr inż. Dawid Wydrzyński – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: dwydrzynski@prz.edu.pl

SUCCESS FACTORS AND FUTURE TRENDS IN MASS CUSTOMIZATION

Czynniki sukcesu i przyszłe trendy w masowej indywidualizacji

Vladimir MODRAK, Zuzana SOLTYSOVA, Dorota STADNICKA

Abstract: At first, this paper focuses on the market-oriented challenges associated with the necessity to continuously update product offers in order to serve today's markets and remain competitive. Subsequently, some success factors for mass customization (MC) are identified in this study. Then, a generic model of a mass customization system for manufacturing companies is proposed. Additionally, chosen problems concerning the mass customization implementation are highlighted. Finally, the work provides a summary of the features and trends of MC and offers new views on the subject.

Keywords: mass customization, modular products, success factors, mass customization system

Streszczenie: Na początku niniejsza praca koncentruje się na wyzwaniach rynkowych związanych z koniecznością ciągłego aktualizowania ofert produktów w celu obsługi dzisiejszych rynków i utrzymania konkurencyjności. Zidentyfikowano również wybrane czynniki sukcesu dotyczące masowej indywidualizacji (MC). Następnie zaproponowano ogólny model systemu dotyczącego masowej indywidualizacji dla firm produkcyjnych. Dodatkowo wskazano na wybrane problemy dotyczące wdrażania masowej indywidualizacji. Na końcu, praca zawiera podsumowanie cech i trendów MC i przedstawia nowe spojrzenie na poruszony temat.

Słowa kluczowe: masowa indywidualizacja, wyroby modułowe, czynniki sukcesu, system masowej indywidualizacji

Introduction

In a global business environment, manufacturing companies face several important challenges. Among them, mass customization (MC) plays an important role, since it offers new potential for acquiring new markets and generating benefits for itself and participating companies. MC is likely to be a future trend of the business strategy development. In this context, questions arise regarding what characterizes the current trends of MC, how it differs from previous manufacturing strategies, and what will be the future of manufacturing when it takes a global approach. Providing accurate answers is not easy and requires considering at least two aspects of the term. If we comprehend MC as a marketing and manufacturing technique that combines personalized customization and mass production, then we can see manufacturing and marketing perspectives in determining optimal overall strategies for companies.

The first view regards the world of manufacturing that is changing as it follows the world of technology. Technological changes are driven by many factors such as safety and environmental standards, social demands, the diffusion of innovation, etc. Technology is changing very rapidly and the newest technological developments are reshaping the manufacturing sector in its original form. For example, additive manufacturing (AM), cloud computing, radio frequency identification, fifth generation (5G) wireless systems, and the Internet of Things (IoT) are only a few of the new technologies that are driving a paradigm shift in manufacturing. The umbrella term for this new wave of the so-called smart manufacturing is European Industry 4.0. This promising concept

includes, among others, important attributes such as machine connectivity, data gathering and the analysis for productivity improvement and software tools for digitizing the manufacturing world leading to smart factories. Although till now still not many companies declare that they have implemented elements of the Industry 4.0 concept [27, 28], in the future the successive implementation of smart manufacturing capabilities will allow for the faster and better response to the customer requirements than ever before. Wide adoption of the IoT into smart manufacturing systems will allow for the improved flexibility and productivity of a production process, and it will enable a higher level of MC than it is possible today. This way, the manufacturing sector is undergoing a serious transformation process that promises other disruptive innovations, including the adoption of new business models and the production of mass customized products with the improved quality and reduced direct costs. Mass customization can be implemented in different business areas. This paper deals with material goods manufactured in a customized way for clients.

Incentives for mass customization development

Further development of mass customization from the point of view of a consumer will depend on the willingness of customers to spend time on specifying their preferences and to accept an increased price and delivery time of a customized product. Experience shows that modern consumers desire more and more customized products. At least one of the reasons that consumers prefer custom-made products relates to the so-called counter-conformity motivation [31]. This kind

of motivation is based on the fact that consumers want to be recognized from others as having a particular status in their communities. According to Piller [20], the key element of MC from the consumer's perspective is that customers are integrated into value creation as product code signers by defining, configuring, matching or modifying an individual solution. However, it is also worth underlining that still many customers prefer to choose one of the existing solutions instead of spending time on a product configuration.

A good starting point in the identification of differences between the current situation of MC and the future scenarios is to outline distinct approaches to MC and its evolutionary development, what will be presented in this paper.

The concept of product customization

An elementary condition for the application of MC is the consideration and analysis of alternative strategies aiming at increasing competitiveness through an innovative product design and customer satisfaction management. A well-known fact is that overall customer satisfaction is higher when the product matches the customer's ideal preference better. Long-standing strategies, by which this objective can be achieved, are product proliferation and product customization.

A company pursuing product proliferation offers many different product types with different features and functions, etc. When applying this strategy, production and logistic costs can be negatively affected by the number of different products. If an increasing number of products is provided by a company on a replenishment basis, then its suppliers have to expand their product lines. Such a situation makes it more difficult to forecast the demand and calls out for a transition from a *make-and-sell* model to the so-called *sense-and-respond* organization. The first model is focused on the production efficiency and the other one is customer satisfaction oriented. Moreover, the sense-and-respond organization business model allows all members of a supply chain to adapt to the changing market conditions and to work together seamlessly [12].

Product customization can be defined as producing physical goods that are tailored to a particular customer requirements [5]. This strategy makes it possible to meet each customer's specific needs more precisely than through product proliferation, although the level of tailorization is limited. According to Zipkin [37], increasing the complexity of MC processes can potentially limit the degree to which customization is beneficial to its customers. A reasonable degree of customization depends on several factors, such as the kind of industry a company is part of, the level of manufacturing flexibility, the clients' wishes, etc. It is rather difficult for companies to find optimal rates of customization for an existing or new product due to a wide range of opinions represented by the number of the offered product configurations. For this

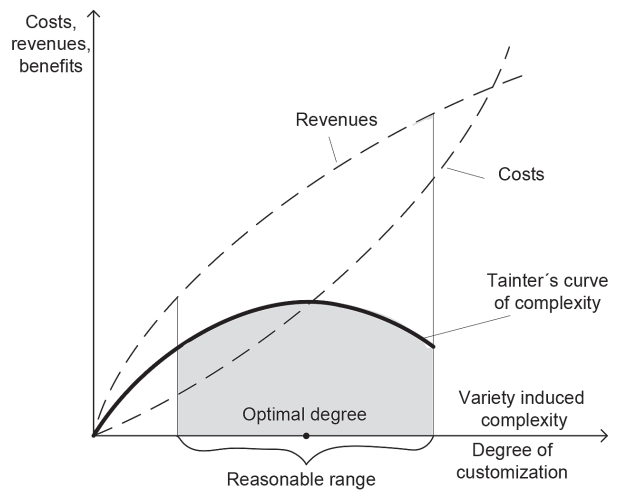


Fig. 1. Generic concept of identifying an optimal degree of product customization

Rys. 1. Ogólna koncepcja określania optymalnego stopnia indywidualizacji produktu

purpose, a generic concept of identifying an optimal degree of product customization can be used (fig. 1). This balancing concept adopts Tainter's curve of complexity [30] and ensures that products are neither under-customized nor over-customized.

As outlined previously, there are at least two ways to deliver a higher level of a product variety, and MC may not always be the best. Therefore, an early and reliable decision whether MC is the right prescription for a company or not is a critical step towards achieving sustainable development objectives.

Success factors of mass customization

Four fundamental factors

In order to implement MC, a company has to assess:

- Whether, and if so, to what extent its products can be built from modules?
- Whether its customers are ready to configure the products or maybe they prefer to choose from standard products?
- Whether MC implementation will give the company a competitive advantage on the market on which it operates?
- Whether the company has organizational, managerial and technological capabilities to implement MC at reasonable costs?

The factors which can have fundamental influence on mass customization can be indicated and they are effectively analyzed in this paper (fig. 2).

These factors are: customers' readiness, type of products, market characteristics and company's readiness. They will be analyzed in the next chapters of this work.

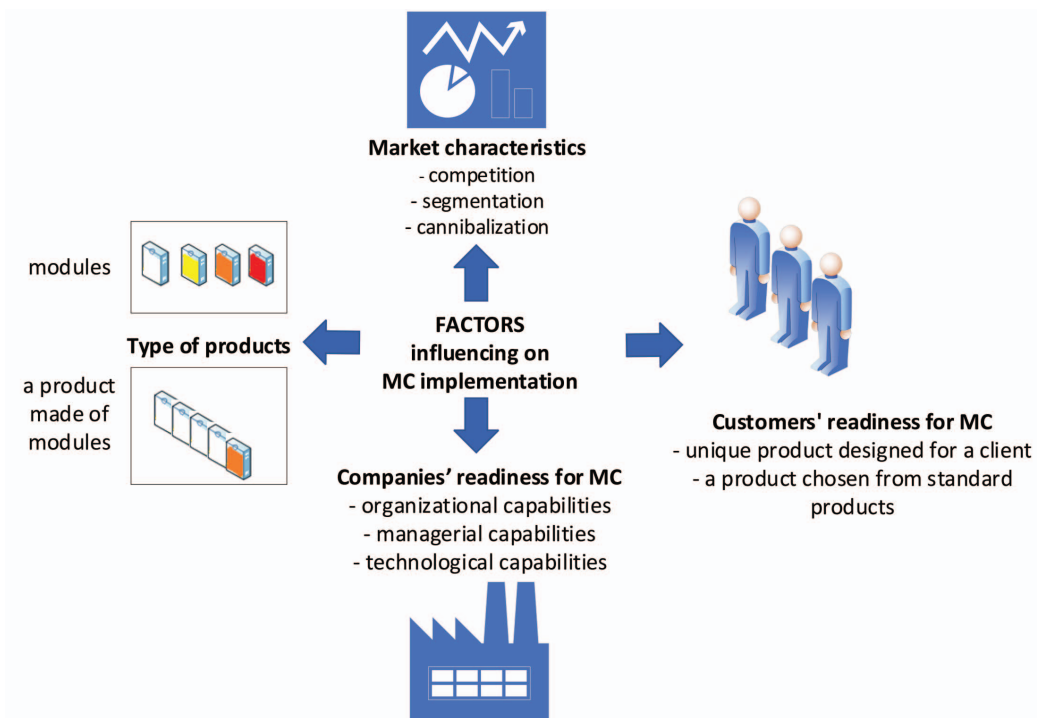


Fig. 2. Factors influencing MC implementation in a company
 Rys. 2. Czynniki wpływające na wdrożenie MC w firmie

Customers' readiness

According to Da Silveira et al. [7] “mass customization encompasses the ability of original equipment manufacturers (OEMs) and their suppliers to provide individually designed products and services to customers in the mass-market economy”. Notable attention is paid to the role of OEMs, who sell their products to personal consumers. Guilabert and Naveen [11] argue that knowing how significant customization is for potential consumers as well as how it varies by the type of products will help producers to implement one of the customization strategies.

Basically, customers' readiness can occur in an explicit or implicit form. Based on this categorization, the following construct of customers' customization readiness (CCR) can be outlined. The so-called explicit customers' readiness for buying customized products can be seen in daily life. For example, most people prefer customizing their furniture by choosing their style, size, and finish to suit their individual needs, rather than purchasing standard products. In such situations, MC is directed by the customer's specific needs and whims (fig. 2a).

The so-called implicit customers' readiness for buying customized products has to be revealed through the interaction between a marketer and a customer by offering a full range of customization options. When applying such an approach, one can then say that MC is pushed by the marketer's options (see Figure 2b). Both types of CCR are highly pivotal in paving a way towards

implementing an MC strategy. The proposed CCR construct differs from the customer customization sensitivity (CCS) construct developed by Hart [13]. The CCS construct is based on two factors: uniqueness of customer's needs and customer's sacrifices. According to Hart, the level of CCS is directly proportional to the uniqueness of customer's needs and/or customer's sacrifices.

Type of products

According to Da Silveira et al. [7], MC will never be possible for all types of products. In this sense, Duray [9] argues that “the production of standardized modules is the key to high volume mass customization”. In addition, Tseng and Hu [33] point out that convenient products for MC are those with short life cycles, and Blecker [3] emphasizes that “companies have to offer tailored products while ensuring short delivery times simultaneously”. All things considered, the following factors predispose products to MC:

- products can be grouped together into a product family;
- products are designed as modules so that they can be easily assembled into different ones;
- products can be delivered in short time.

Market characteristics

Some markets offer fully customized product varieties, whereas on other markets they are mostly available as discrete product varieties. Obviously, under specific

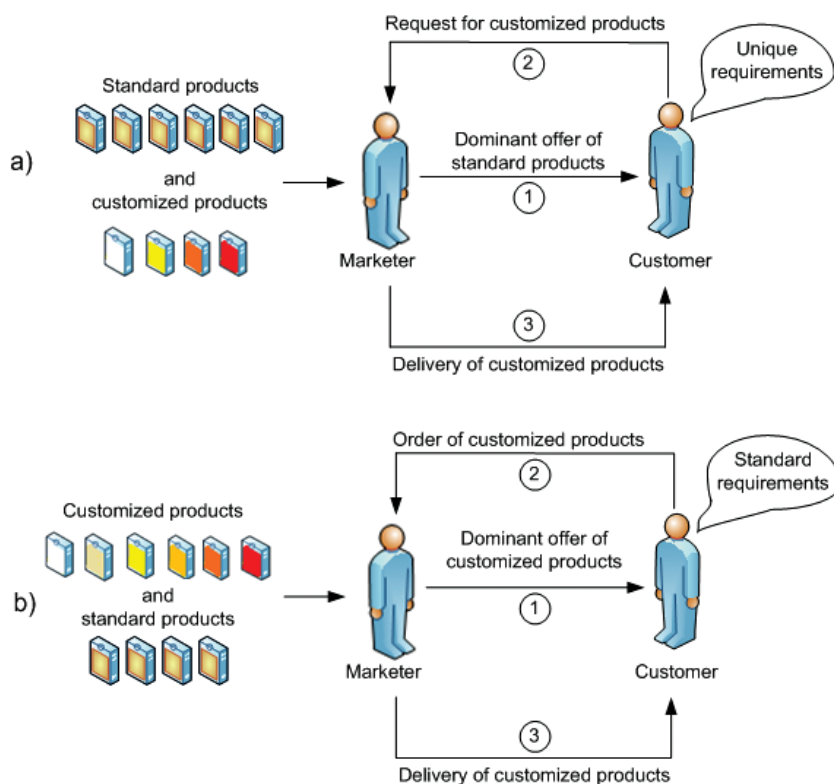


Fig. 3. Customers' customization readiness construct; a) explicit form; b) implicit form
 Rys. 3. Gotowość do dostosowywania się do wymagań klienta; a) forma jawna; b) forma niejawna

conditions, both types of markets can bring opportunities or indicate threats when a company intends to implement one of the MC strategies. Cavusoglu et al. [6] identified the following market categories as critical in choosing an optimal customization strategy: competition, segmentation and cannibalization.

The intensity of *competition significantly* influences customization possibilities and predetermines a choice of the strategic patterns of the players on the market. Pine [22] recommends three ways to shift to MC: incrementally over time, more quickly through business transformation, or by creating a new business. The incremental path towards a MC strategy, apart from other factors, assumes that competing companies that operate on the same reference market do not deliver customized products.

However, this can be a slow process if competitors are already effectively issuing MC. For the companies facing such competition, rapid transition to an MC business strategy helps them remain competitive on the marketplace. The increased need for new products on a highly dynamic market environment can be reflected by transforming businesses into a higher level of customer satisfaction. Pine [22] claims that transforming business in such a way can be achieved by creating a group of related businesses focused on individual customers' needs.

Segmentation is often the key to develop a competitive edge. The research conducted by Jiang [16] shows

that MC is not totally the same as segmenting to one of the many segments. In this context, it has been highlighted that companies that aim at customization in the specific consumer segments may not be optimal [6].

The cannibalization effect is understood as the extent to which a product variety reduces company's profits from the standardized varieties it produces. Yayla-Küllü et al. [36] argue that the cannibalization effect dominates on a highly competitive market. A useful insight into this rate is provided by Selladurai [29].

Company's readiness

Company's readiness for MC can be understood as having the right conditions and resources in place in order to support the transformation process. Knowing that MC means a huge variety of products by combining a large number of product modules, companies that want to follow this path, at first, have to analyse their technological, organizational and managerial capabilities in order to determine whether they are potentially transformative to this strategy. El Kadiri et al. [10] predict that in the MC environment, intelligent device technologies using sensors and actuators will dominate. It is expected that the extension of 5G technologies to the information and communication technology (ICT) sector will facilitate automation. This brings a new impetus for manufacturing to foster MC. Rapid technological progress continues in

AM technologies. This paradigmatic change in manufacturing poses significant challenges for enterprises to utilize the technology for MC. For example, laser-sintering machines present an attractive mode of production that has a great potential to customize widely the products such as bone implants, prostheses, medical devices, etc. Equally, direct metal laser-sintering is widely and effectively used e.g. to manufacture metal prototypes. When looking at the economic evaluation, cost comparisons between AM technologies show that traditional processes are more economically effective than AM technologies in high output quantities (see e.g. [8], [26]).

Thomas and Gilbert [32], in this context, state that these viewpoints come from analyses of the well-structured AM costs, and they add that significant benefits and cost savings in AM may be hidden in the ill-structured costs. An important advantage of AM technologies is the freedom of design. Reeves et al. [25] point out that due to this design freedom, assembly operations that were previously required to build a complex component can be reduced. Moreover, AM technologies remove the risk of a long time for the delivery of tooling [15]. When assuming the need for the combination of these trends and technologies, in particular, MC calls for the development of entirely new business organizations.

Then, a company needs to choose the way MC will be implemented: in small steps, by business transformation or by creating a new business.

New approaches to the organization of manufacturing systems

A generic system of the mass customization system, proposed in figure 4, comprises of four subsystems, namely the product configuration system (1), product arrangement system (2), manufacturing system (3) and final product assembly system (4).

The wide implementation of the product configuration systems in mass customization provides customers with the possibility to configure their products according to their requirements and to send their orders with mouse-click to a manufacturer who can begin the production. A product configurator allows customers to meet their needs effectively, by connecting them with appropriate products and features, while handling modifications and specifications. Firstly, customers can use a configurator and select a product with its components and/or functions on their own preferences. In the configuration system, the selected product features are divided into stable and compulsory optional components. Stable components are available immediately in stock, while compulsory components need to be produced. Subsequently, in the product arrangement system, some of the selected components are manufactured by the company itself and some of them are produced by a supplier. Finally, if all the needed components are produced, delivered and consolidated in the manufacturing system, then, it is possible to start the

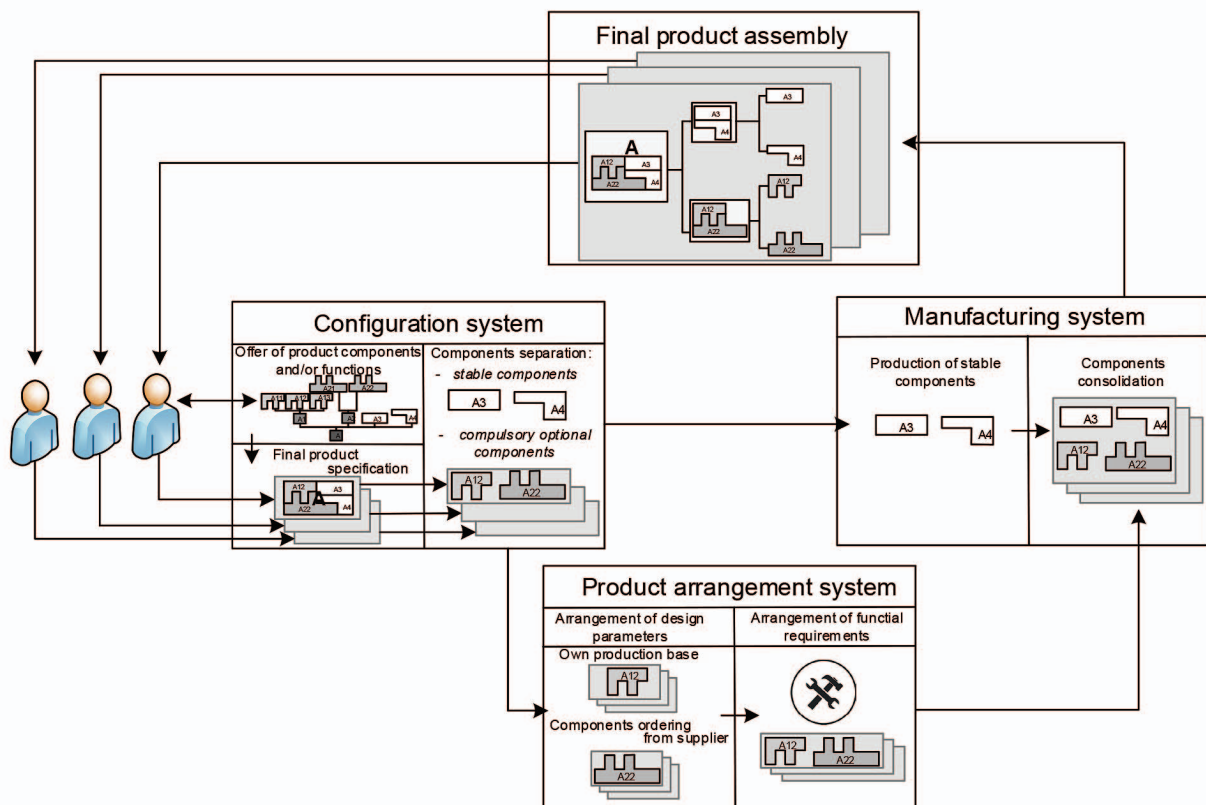


Fig. 4. Generic model of mass customization system (adopted from [4])

Rys. 4. Ogólny model systemu masowej indywidualizacji (opracowany na podstawie [4])

assembly process where all components are assembled into a final product which will be transferred to a customer.

New approaches to employee's skills management and network-based cooperation

MC implementation also requires the implementation of new approaches concerning employees' skills management. MC requires a dynamic network composed of autonomous operating units which perform the tasks related to modular manufacturing [23, 35]. The diversity of employees' skills is basic for increasing the capabilities of a company to react to customer's requirements. A greater range of skills focused on the understanding and exploitation of IT for business goals is connected with growing customization requirements. MC is a continuous adaptation to new and unexpected clients' requirements. That is why, employees look for the possibilities to meet new requirements of the customers all the time. In order to meet clients' requirements, an employee can propose a product which will be manufactured in the company, which can be manufactured in cooperation with other companies. He/she can also convince a customer to change his or her requirements. Therefore, adequate skills of an employee are needed. Employees will work with knowledge, and their skills and needed knowledge have to be identified and improved. New demands of a client should be treated as an opportunity for the company.

Other issue concerns the company's cooperation with other companies in order to ensure a large range of possibilities to meet customers' requirements. Therefore, networked manufacturing concepts (see, e.g., [24]) can be the answer for the supply chain management in MC environment.

Common problems in mass customization

Some examples of the problems which can be identified in mass customization are:

- Too many options from which a customer has to choose. A real customer wants to spend minimum time and effort to specify a product [2].
- A company tries to have an inventory of each component, which can be built in a ready product in order to ensure a fast response to the client's demand instead of increasing flexibility of the manufacturing lines. Mass customization is not just assembling modules. It depends on manufacturing custom products quickly and efficiently in order to achieve customer's satisfaction [1].
- Offering different options of products without determining what the customers really want, and without assessing if a customer will ever buy a certain variation of the product. Mercedes offers far more variations of the chosen models than the company will ever be able to sell in its entire life [14].
- Offering options of the products which are impossible to meet without adequate cooperation with other companies on the market.

A company which implements MC has to be aware of different problems which can appear in order to avoid cost. Sometimes a strategy which should improve a company's efficiency and increase benefits can have an opposite effect when implemented in a wrong way.

Concluding remarks

Initially, MC was seen as a contradictory approach that could not lead to an entrepreneurial success. Despite its conflicting ideas, the existence of MC is a reality especially thanks to the advances realized in the fields of flexible manufacturing and IT. As it was predicted as well as more in some recent literature [17, 19, 21], MC has become an imperative rather than a choice leading to success and sustainability across business sectors.

One of the most presumptive trends in product and service customization is mass personalization as the highest degree of mass customization. It is expected that a transformation from MC to mass personalization will be triggered by a diffusion of digital manufacturing technologies. Kumar [18] argues that IT capabilities will drive MC programs towards the mass personalization strategy. Mass personalization differs from MC in many aspects. While MC assumes stable product architecture and product modules, for mass personalization possible changes of the basic design architecture and product features are typical [34]. However, wider acceptance of this strategy in individual industries will strongly depend on the availability of attainable digital manufacturing devices belonging to the smart manufacturing concept. Better identification of the key skills of employees and the implementation of a management system to ensure adequate skills should be proposed. Moreover, the development of a net of co-operators can be suggested.

REFERENCES

- [1] Anderson D.M. 2004. „Build-to-order & Mass Customization: The Ultimate Supply Chain Management and Lean Manufacturing Strategy for Low-cost On-demand Production Without Forecasts or Inventory“. CIM Press, California.
- [2] Anderson W.T. 1972. „Convenience Orientation and Consumption Behavior“. *Journal of Retailing* 48 (3).
- [3] Blecker T. 2005. „Mass customization: concepts-tools-realization“. GITO mbHVerlag.
- [4] Blecker T. et. al. 2004. „A framework for understanding the interdependencies between mass customization and complexity“ (pp. 1–15).
- [5] Blecker T. et. al. 2005. „Information and management systems for product customization“. Vol. 7. Springer Science& Business Media.
- [6] Cavusoglu H., S. Raghunathan. 2007. „Selecting a customization strategy under competition: mass customization, targeted mass customization, and product proliferation“. *Engineering Management, IEEE Transactions* 54 (1): 12–28.
- [7] Da Silveira G., D. Borenstein, F.S. Fogliatto. 2001. „Mass Customization: Literature Review and

- Research Directions". *International Journal of Production Economics* 72 (1): 1–13.
- [8] Deradjat D, M. Tim. 2015. „Implementation of additive manufacturing technologies for mass customization". *International Association for Management of Technology IAMOT 2015 Conference Proceedings*, pp. 2079–2094.
- [9] Duray R. 2002. „Mass customization origins: mass or custom manufacturing?" *International Journal of Operations & Production Management* 22 (3): 314–328.
- [10] El Kadiri S. et. al. 2015. „Current trends on ICT technologies for enterprise information systems". *Computers in Industry*.
- [11] Guilbert M.B., D. Naveen. 2006. „Mass customization and consumer behaviour: the development of a scale to measure customer customisation sensitivity". *International Journal of Mass Customisation* 1 (2-3): 166–175.
- [12] Haeckel S H. 1999. „Adaptive Enterprise – Creating and Leading Sense-and-Respond Organizations". Harvard Business School Press.
- [13] Hart C.W. 1995. „Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits". *International Journal of Service Industry Management* 6 (2): 36–45.
- [14] Holweg M., F.K. Pil. 2005. „The Second Century: Reconnecting Customer and Value Chain through Build-to-Order Moving beyond Mass and Lean Production in the Auto Industry". MIT Press, Massachusetts.
- [15] Hopkinson N., R. Hague, P. Dickens. eds. 2006. „Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age". John Wiley&Sons.
- [16] Jiang P. 2000. „Segment-based mass customization: an exploration of a new conceptual marketing framework". *Internet Research* 10 (3): 215–226.
- [17] Kratochvíl M., C. Carson. 2005. „Growing modular: mass customization of complex products, services and software". Springer Science & Business Media.
- [18] Kumar A. 2007. „From mass customization to mass personalization: a strategic transformation". *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 19 (4): 533–547.
- [19] Modrak V. (Ed.). 2017. „Mass Customized Manufacturing: Theoretical Concepts and Practical Approaches". CRC Press.
- [20] Piller F.T. 2004. „Mass customization: reflections on the state of the concept". *International Journal of flexible manufacturing systems* 16 (4): 313–334.
- [21] Piller F.T., M.M. Tseng. eds. 2010. „Handbook of research in mass customization and personalization". Vol. 1. Singapore: Worldscientific.
- [22] Pine B.J. 1999. „Mass customization: the new frontier in business competition". Harvard Business Press.
- [23] Pine II B.J., B. Victor, A.C Boynton. 1993. „Making Mass Customization Work". September–October. Harvard Business Review.
- [24] Rauch E., P. Dallasega, D.T. Matt. 2017. „Distributed manufacturing network models of smart and agile mini-factories". *International Journal of Agile Systems and Management* 10 (3–4), 185–205.
- [25] Reeves P., C. Tuck, R. Hague. 2011. „Additive manufacturing for mass customization. In *Mass Customization*" (pp. 275–289). Springer London.
- [26] Ruffo M., C. Tuck, R. Hague. 2006. „Cost estimation for rapid manufacturing-laser sintering production for low to medium volumes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B". *Journal of Engineering Manufacture* 220 (9): 1417–1427.
- [27] Szaśiadek M., J. Basł. 2018. „Świadomość i poziom wdrożenia koncepcji Przemysł 4.0 w wybranych polskich i czeskich przedsiębiorstwach". W: *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Ed. Ryszard Knosala, t. II, pp. 189-198. Opole.
- [28] Stadnicka D., W. Zielecki, J. Sęp. 2017. „Koncepcja Przemysł 4.0 – ocena możliwości wdrożenia na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa. W: *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Ed. Ryszard Knosala, t. I, pp. 472–483. Opole.
- [29] Selladurai R.S. 2004. „Mass customization in operations management: oxymoron or reality?" *Omega* 32: 295–300.
- [30] Tainter J.A. 2006. „Social complexity and sustainability". *Ecological Complexity* 3 (2): 91–103.
- [31] Tepper K., W.O. Bearden, G.L. Hunter. 2001. „Consumers' Need for Uniqueness: Scale Development and Validation". *Journal of Consumer Research* 28 (1): 50–66.
- [32] Thomas D.S., S.W. Gilbert. 2014. „Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing". NIST Special Publication, 1176.
- [33] Tseng M.M., S.J. Hu. 2014. „Mass customization. CIRP Encyclopedia of Production Engineering". Springer Berlin Heidelberg. 836–843.
- [34] Tseng M.M., R.J. Jiao, C. Wang. 2010. „Design for mass personalization". *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 59 (1): 175–178.
- [35] Tsukune, H. et. al. 1993. „Modular manufacturing". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 4 (2), 163–181.
- [36] Yayla-Küllü H.M., A.K. Parlaktürk, J.M. Swaminathan. 2013. „Multi-Product Quality Competition: Impact of Resource Constraints". *Production and Operations Management* 22 (3): 603–614.
- [37] Zipkin P. 2001. „The limits of mass customization". *MIT Sloan Management Review* 42 (3): 81–87.

prof. ing. Vladimír Modrák, PhD, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00, Košice, Slovakia, e-mail: vladimir.modrak@tuke.sk

Zuzana Soltysova, MSc, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00, Košice, Slovakia, e-mail: zuzana.soltysova@tuke.sk

Dorota Stadnicka, PhD, Rzeszow University of Technology, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: dorota.stadnicka@prz.edu.pl

BADANIE ZDOLNOŚCI JAKOŚCIOWEJ PROCESÓW Z JEDNOSTRONNĄ GRANICĄ TOLERANCJI

Analyze of process quality capability with one side specification limit

Katarzyna ANTOSZ, Rafał KLUZ

Streszczenie: Nieodłącznym elementem nadzoru nad procesami produkcyjnymi jest badanie ich zdolności jakościowej. Przeważnie analizowane są procesy o dwustronnej granicy tolerancji. Problem pojawia się, kiedy ograniczenia dla procesów są jednostronne. Nie można wówczas wykorzystać standardowej procedury oceny zdolności jakościowej procesu. W pracy przedstawiona zostanie metodyka oceny zdolności procesów przy jednostronnej granicy tolerancji na rzeczywistym procesie produkcyjnym. Przedstawiona metodyka zostanie zastosowana do analizy zdolności jakości procesu z jednostronną granicą tolerancji.

Słowa kluczowe: kontrola procesów, statystyczne sterowanie procesem SPC, badanie zdolności jakościowej procesu

Abstract: An inherent element of supervision over production processes is the study of their qualitative capability. Most processes are analyzed with a both side specification limit. The problem arises when the process restrictions are one-sided. The standard process quality assessment process cannot be used then. The paper will present the methodology for assessing the capability of processes at the one side specification limit on the actual production process. The presented methodology will be used to analyze the process quality capability with a one-sided specification limit.

Key words: process control, statistical control process SPC, assessing the quality capability of processes

Wprowadzenie

Kontrola procesów produkcyjnych, a tym samym jakości produkowanych wyrobów, jest świadomym i celowym działaniem przedsiębiorstwa w celu zapewnienia najwyższej jakości produktów. Zapewnienie wysokiej jakości wyrobów szczególnie w przypadku produkcji seryjnej jest jednym z czynników gwarantujących przewagę konkurencyjną. W praktyce przemysłowej do kontroli jakości procesów produkcyjnych, charakteryzujących się z natury zmiennością, wykorzystuje się bardzo często metody statystyczne, które ułatwiają nadzorowanie procesów produkcyjnych, identyfikację przyczyn i analizę niezgodności [1, 5]. Narzędziem pozwalającym na monitorowanie czy proces jest statystycznie sterowalny (przewidywalny w swoim zachowaniu) oraz na odróżnienie zaburzeń, jakie się w nim pojawiają (przyczyn specjalnych) od naturalnej zmienności procesu (przyczyn normalnych) wykorzystuje się Statystyczną Kontrolę Procesu – SPC [7, 8].

Statystyczne sterowanie procesem – SPC

Statystyczne sterowanie procesem pozwala monitorować procesy produkcyjne i biznesowe za pomocą wielu technik (głównie kart kontrolnych) oraz pozwala na oszacowanie w jakim stopniu procesy spełniają stawiane im wymagania (wskaźniki C_p , C_{pk}).

Badanie zdolności jakościowej procesu polega na określeniu jak bardzo dany proces spełnia wymagania w stosunku do określonej cechy. Wskaźniki jakościowe

odnoszą się do postawionych wymagań przez klienta. Wymagania te zwykle dotyczą jednej, konkretnej cechy [2, 4, 6]. Do podstawowych wskaźników zdolności jakościowej procesu zaliczamy wskaźniki C_p oraz C_{pk} . Wskaźnik C_p służy do wyznaczenia rozrzutu procesu biorąc po uwagę granice tolerancji. Wskaźnik C_{pk} określa na ile proces jest wycentrowany tzn. na ile wartość danej cechy jest równa zdolności nominalnej. Oznacza również pojawienie się błędów systematycznych w procesie produkcyjnych. Wskaźnik C_p obliczany jest wg wzoru (1):

$$C_p = \frac{GWG - DWL}{6\sigma} \quad (1)$$

gdzie:

GWG – górny wymiar graniczny, DWL – dolny wymiar graniczny, σ – odchylenie standardowe.

Wskaźnik C_{pk} odnosi się do rzeczywistego przesunięcia względem wartości nominalnej. Wyznacza się go zgodnie ze wzorem (2).

$$C_{pk} = \min \left(\left(GWG - \frac{X_{sr}}{3\sigma} ; \frac{X_{sr} - DWG}{3\sigma} \right) \right) \quad (2)$$

gdzie:

GWG – granica dolna tolerancji, DWG – granica górna tolerancji, x_{sr} – wartość średnia z uzyskanych pomiarów. Spośród obliczonych wartości wybiera się wartość mniejszą. Pożądana wartość obydwu wskaźników C_p oraz C_{pk} , aby można było mówić o procesie stabilnym jakościowo to min 1,33 [2, 3].

W przypadku wyrobów, przy którym określona została dwustronna granica tolerancji, zachowane zostały podstawowe zasady pobierania próbek oraz ich pomiarów, wyznaczenie tych wskaźników nie powinno sprawiać większych trudności. Problem może pojawić się jednak w przypadku wyrobów, przy których określa się tylko jednostronną granicę tolerancji *GWG* lub *DWG*.

Metodyka realizacji pracy

W artykule zaproponowano metodykę wyznaczania wskaźnika C_p dla procesu o jednostronnej granicy tolerancji. Praca zrealizowana zostanie w dwóch etapach:

1. Prezentacja metodyki oceny wyznaczania wskaźnika zdolności jakości procesu dla jednostronnej granicy tolerancji.
2. Wyznaczenie wartości wskaźnika zdolności jakości procesu dla wybranego wyrobu z jednostronną granicą tolerancji.

Metodyka wyznaczania wskaźnika dla jednostronnej granicy tolerancji

Proponowana metodyka obliczania zdolności składa się z następujących etapów:

- 1) Pobranie próbek z procesu.
Do przeprowadzenia badań zdolności procesu należy pobrać próbkę z wybranego procesu ($n \geq 50$). Zdolność procesu jest to prawdopodobieństwo uzyskania wyrobów w granicy tolerancji wyrażone za pomocą współczynnika C_p .
- 2) Określenie czy zebrane dane mają rozkład normalny.
Do oceny zgodności badanego rozkładu z rozkładem normalnym można wykorzystać wybrany test zgodności np. test Kołmogorowa czy Pearsona lub wykorzystać program komputerowy np. Statistica lub Minitab, mający zaimplementowane do tego narzędzia.
- 3) Wyznaczenie prawdopodobieństwa uzyskania wyrobów w granicach tolerancji.
Gdy mamy do czynienia z jednostronną granicą tolerancji to prawdopodobieństwo uzyskania wyrobów dobrych można policzyć przez numeryczne wyznaczenie całki (3) lub (4) w zależności od tego czy tolerancja jest określona jako *DWG* czy *GWG*.

$$P(X \geq DWG) = \int_{DWG}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_{sr}-x)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (3)$$

$$P(GWG \geq X) = \int_{-\infty}^{GWG} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x_{sr}-x)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4)$$

Prawdopodobieństwo to można wyznaczyć również korzystając z własności dystrybucyjności standaryzowanego rozkładu normalnego (5) lub (6) w zależności od tego czy tolerancja jest określona jako *DWG* czy *GWG*:

$$P(X \leq GWG) = \Phi \left[\frac{GWG - x_{sr}}{\sigma} \right] \quad (5)$$

$$P(X \geq DWG) = \Phi \left[\frac{DWG - x_{sr}}{\sigma} \right] \quad (6)$$

Sposób wyznaczenia prawdopodobieństwa powinien przebiegać następująco:

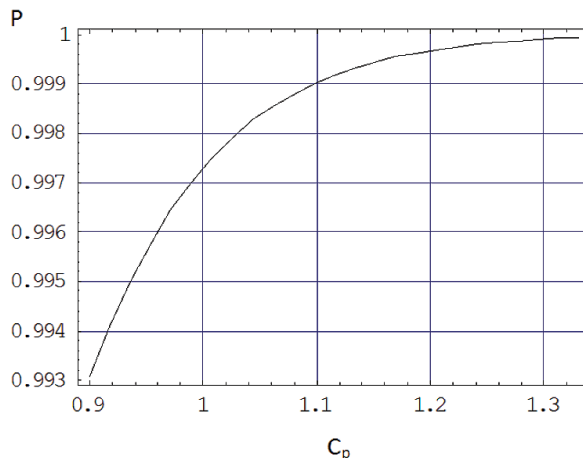
1. Wyznaczyć z pobranej próbki wartość średnią x_{sr} i odchylenie standardowe σ .
2. Obliczyć i wyznaczyć odpowiednie wartości ze wzorów (7) lub (8) w zależności od tego czy tolerancja jest określona jako *DWG* czy *GWG*.

$$\left| \frac{DWG - x_{sr}}{\sigma} \right| \quad (7)$$

$$\frac{GWG - x_{sr}}{\sigma} \quad (8)$$

3. Odczytać z tablicy wartość dystrybucyjności standaryzowanego rozkładu normalnego (jest to poszukiwana wartość prawdopodobieństwa).
4. Odczytać wartości wskaźnika C_p .

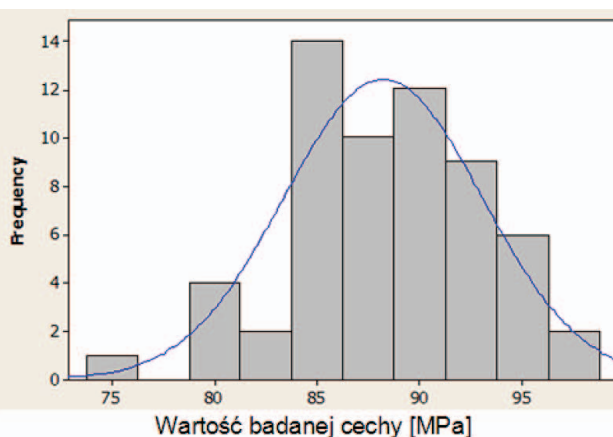
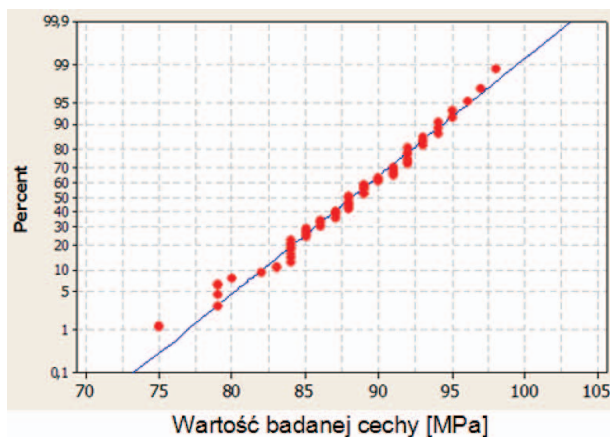
Należy odczytać z wykresu (rys. 1) wartość wskaźnika C_p odpowiadającego wyznaczonej wartości prawdopodobieństwa.



Rys. 1. Zależność wartości wskaźnika C_p od prawdopodobieństwa P uzyskania wyrobów dobrych jakościowo

Fig. 1. The dependence of the value of the pointer C_p from the probability P of getting good quality products

- 4) Wyznaczenie wartości wskaźnika C_{pk} .
Wartość wskaźnika C_{pk} należy wyznaczyć ze wzoru (2) w zależności od tego czy tolerancja jest określona jako *DWG* czy *GWG*. Wartość tego wskaźnika powinna wynosić przynajmniej $C_{pk} > 1$. Wartość mniejsza niż jeden wskazuje na pojawienie się błędów systematycznych.



Rys. 2. Badanie normalności rozkładu
Fig. 2. Normality test of the results

Wyznaczenie zdolności jakościowej procesu dla wybranego wyrobu z jednostronną granicą tolerancji

Badanie zdolności jakościowej procesu przeprowadzono dla wybranego wyrobu przemysłu lotniczego. Dla badanego parametru określono jednostronną (dolną) granicę tolerancji $DWG = 75$ MPa. Badanie przeprowadzono zgodnie z proponowaną procedurą. Z procesu pobrano $n = 50$ próbek, dla których dokonano pomiaru badanej cechy. Z wykorzystaniem programu Minitab zbadano czy uzyskane wyniki podlegają rozkładowi normalnemu (rys. 2).

Na podstawie uzyskanych wyników można przyjąć, że zebrane dane są zbliżone do rozkładu normalnego. Ponieważ mamy do czynienia z jednostronną granicą tolerancji ($DWG = 75$ MPa) to prawdopodobieństwo uzyskania wyrobów dobrych można policzyć korzystając z własności dystrybuanty standaryzowanego rozkładu normalnego (6):

$$P(X \leq DWG) = P(X \leq 75) = \Phi \left[\frac{75 - x_{sr}}{\sigma} \right]$$

Interesuje nas prawdopodobieństwo tego że zmiana losowa jest większa niż DWG :

$$P(X \geq DWG) = P(X \geq 75) = 1 - \Phi \left[\frac{75 - x_{sr}}{\sigma} \right]$$

Ponieważ rozpatrujemy dolny wymiar graniczny (DWG) to wartość w nawiasie będzie miała wartość ujemną, ponieważ $x_{sr} = 89.2$ MPa, a $\sigma = 4,72$. Korzystając z własności dystrybuanty (9):

$$\Phi[-u] = 1 - \Phi[u] \quad (9)$$

można wykazać że w rozpatrywanym przypadku wartość prawdopodobieństwa wynosi:

$$P(X \geq DWG) = P(X \geq 75) = \Phi \left[\frac{75 - x_{sr}}{\sigma} \right]$$

Znając obliczone wartości $x_{sr} = 89,2$, a $\sigma = 4,72$ wyznaczymy:

$$\left[\frac{75 - x_{sr}}{\sigma} \right] = \left[\frac{75 - 89,2}{4,72} \right] = 3,01$$

Dla wyznaczonej wartości 3,01 odczytana z tablicy dystrybuanty standaryzowanego rozkładu normalnego wartość prawdopodobieństwa wynosi 0,9988. Dla wyznaczonej wartości prawdopodobieństwa odczytujemy z rysunku 1 wartość wskaźnika C_p . W rozpatrywanym przypadku jego wartość wynosi $C_p = 1,1$.

Wartość wskaźnika C_{pk} należy wyznaczyć z zależności (2) jako:

$$C_{pk} = \frac{x_{sr} - DWG}{3\sigma} = \frac{89,2 - 75}{3 \times 4,72} \approx 1$$

Wartość wskaźnika powinna być większa niż jeden ($C_{pk} > 1$). Wartość mniejsza wskazuje na pojawienie się błędów systematycznego powodującego wystąpienie wyników poniżej 75 MPa. Wartość większa niż $C_{pk} > 2C_p - 1$ nie prowadzi do pojawienia się wyrobów niezgodnych (prawostronnie wymiar nie jest ograniczony), jednak może wskazywać na rozregulowanie procesu.

Podsumowanie

Istniejące standardy zarządzania jakością wymagają od przedsiębiorstw nieustannego doskonalenia jakości realizowanych procesów. Nieodzownym elementem sterowania i doskonalenia jakości procesów są wskaźniki zdolności procesów. Bez ich wykorzystania bardzo trudno jest doprowadzić procesy do takiego stanu, aby w sposób optymalny spełniały potrzeby klientów. W praktyce przemysłowej powszechnie wykorzystuje się wskaźniki I, II oraz coraz częściej III generacji. Wskaźniki te jednak mają zastosowanie dla procesów odznaczających się dwustronną granicą tolerancji. Problem pojawia się

wówczas, gdy badana specyfikacja ma jednostronną granicę tolerancji, ponieważ do oceny procesu nie można wykorzystać klasycznych wskaźników oceny zdolności jakościowej. Dlatego w przedstawionej pracy opracowano metodykę oceny takich procesów, którą zweryfikowano na przykładzie wybranego wyrobu w przedsiębiorstwie z branży lotniczej. Przeprowadzona analiza wykazała, że opracowana metoda z powodzeniem może być wykorzystana w rzeczywistych warunkach produkcyjnych z wykorzystaniem dostępnego na rynku oprogramowania.

LITERATURA

- [1] Grau D. 2009. "New process capability indices for one-sided tolerances". *Quality Technology Quantitative Management*, vol. 6 (2): 107–124.
- [2] Greber T. 2005. „Badanie zdolności procesów – niebezpieczne wskaźniki”. *Zarządzanie Jakością* (1): 43–51.
- [3] Grudowski P. i in. 1996. „Zarządzanie jakością”. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 1996.
- [4] Hamrol A. 2008. „Zarządzanie jakością z przykładami”. Wyd. drugie zmienione, Warszawa: PWN.

- 5] Jessenberger J., C. Wehs. 2009. "A note on a multivariate analogue of the process capability index Cp". *Quality Technology Quantitative Management*, vol. 5 (2).
- [6] Łunarski J. 2008. „Zarządzanie jakością: standardy i zasady”. Warszawa: WNT.
- 7] Zahid A., A. Sultana. 2008. "Assessment and comparison of multivariate process capability indices in ceramic industry". *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 39 (1): 18–25.
- [8] Zymonik Z., A. Hamrol, P. Grudowski. 2013. „Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem”, Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.

dr inż. Katarzyna Antosz – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: katarzyna.antosz@prz.edu.pl

dr inż. Rafał Kluz – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Katedra Technologii Maszyn i Inżynierii Produkcji, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, e-mail: rkktmiop@prz.edu.pl

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTĄPIENIA NITÓW TYPU SOLID W POŁĄCZENIACH KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

Assessment of the possibility of replacing solid rivets in joints of aircraft structure

Jarosław GAŚSIOR, Andrzej KOMOREK, Marek ROŚKOWICZ, Sławomir TKACZUK

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, których celem była ocena możliwości zastąpienia w połączeniach konstrukcji lotniczych nitów typu solid nitami jednostronnymi. Ponieważ nity jednostronne, w przeciwieństwie do nitów typu solid, składają się z wielu elementów, w ocenie jako kryterium porównawcze przyjęto nie tylko nośność połączeń, ale również odporność na zjawisko samoczynnego demontażu elementów nitów jednostronnych poddanych zmiennemu obciążeniu. W badaniach zmęczeniowych stwierdzono, że istnieje możliwość zastąpienia nitów typu solid nitami jednostronnymi, ale trwałość zmęczeniowa połączeń jednozakładowych połączeń zależy istotnie od miejsca zerwania trzpienia nita jednostronnego w procesie jego spęczania.

Słowa kluczowe: połączenia nitowe, połączenia nitowe dwustronne i jednostronne, trwałość zmęczeniowa połączeń nitowych

Abstract: The paper presents the results of experimental research, the aim of which was to assess the possibility of replacing rivets with solid one-sided rivets in connections of aircraft structures. Because one-sided rivets, in contrast to solid rivets, consist of many elements, the evaluation as a comparative criterion assumes not only the load capacity of connections, but also the resistance to the phenomenon of automatic dismantling of one-sided rivets subjected to a variable load. In fatigue tests, it was found that there is a possibility of replacing rivets with solid one-sided rivets, but the fatigue life of joints of one-sided joint connections depends significantly on the place of rupture of the one-sided blind pin in its heading process.

Key words: riveted joints, double-sided rivets and one-sided rivets, fatigue durability of riveted joints

Wstęp

W procesie eksploatacji konstrukcji lotniczych o trwałości konstrukcji w dużej mierze decyduje trwałość połączeń nitowych [3, 5, 8]. Uszkodzenia połączeń nitowych mają wpływ na zdolności statku powietrznego (SP) do wykonania operacji lotniczych. W związku z tym w systemie obsługi okresowych i bieżących statków powietrznych występujące uszkodzenia połączeń nitowych podlegają naprawie [1, 2, 4]. Ponieważ w konstrukcjach lotniczych dominują nity typu solid, w procesie naprawy wykorzystuje się również tego rodzaju nity. Poważnym ograniczeniem stosowania nitów typu solid jest konieczność dostępu w procesie ich spęczania do dwóch stron naprawianej konstrukcji. Dodatkowo wykorzystanie w naprawie nitów typu solid bardzo często wiąże się z potrzebą roznitowania sąsiednich, nieuszkodzonych połączeń [6, 7].

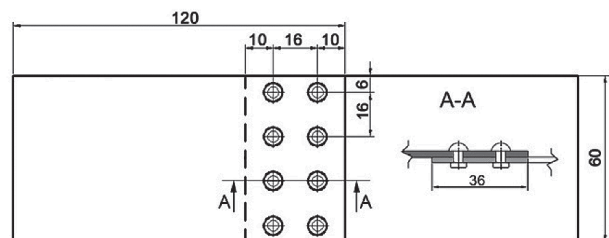
Oprócz nitów typu solid w lotnictwie wykorzystywane są nity jednostronne. Istotnymi zaletami systemów nitów jednostronnych jest z pewnością łatwiejszy, jednostronny dostęp do naprawianej konstrukcji oraz krótszy czas wykonania połączenia, co bezpośrednio wpływa na obniżenie kosztów eksploatacji SP. Ograniczeniem nitów jednostronnych mogą być niższe parametry wytrzymałościowe, co jest bezpośrednio pochodną materiałów stosowanych w budowie nita oraz ich niższa trwałość zmęczeniowa, spowodowana m.in. zjawiskiem samoczynnego demontażu poszczególnych elementów składowych tego rodzaju nita.

Celem niniejszej pracy była analiza porównawcza nośności, trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych przygotowanych z użyciem nitów typu solid i systemów nitów jednostronnych. Dodatkowo w badaniach zmęczeniowych obserwowano czy nity jednostronne nie ulegają samoczynnemu demontażowi.

Metodyka badań

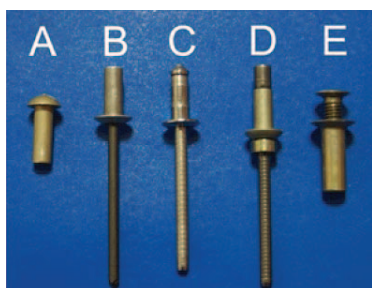
W badaniach eksperymentalnych zastosowano połączenia jednozakładowe o długości zakładki 36 mm. Łączono ze sobą elementy wykonane ze stopu aluminium 2024T3 (o wymiarach 120 × 60 × 2 mm), powszechnie wykorzystywanego w budowie płatowców statków powietrznych. Geometrię przygotowanych do badań próbek przedstawiono na rys. 1.

Połączenia mechaniczne przygotowano za pomocą nitów o łbach kulistych, wykonanych ze stopu aluminium



Rys. 1. Geometria połączeń wykorzystywanych w badaniach
Fig. 1. Geometry of the joints used in the tests

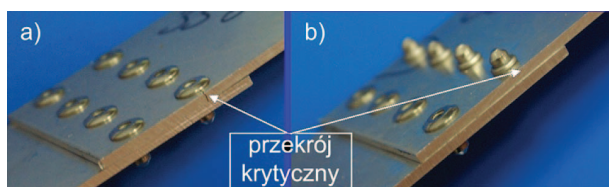
2117 o średnicy 4 mm oraz czterech systemów nitów jednostronnych (rys. 2), w tym nitów, których tuleje nitowe były wykonane ze stopu aluminium (typ B, D i E) oraz ze stali odpornej na korozję (typ C). Zrywalne trzpienie nitów jednostronnych typu B, C i D były elementami stalowymi. Ze stali wykonana była również śruba wkręcana po zakuciu nitu typu E. Wykorzystywane w badaniach nity miały średnicę 4 mm, za wyjątkiem nitów typu E, których średnica była równa 5 mm.



Rys. 2. Widok nitów wykorzystywanych w badaniach: A) nit pełny, B) nit zrywalny szczelny, C) nit zrywalny ze stali nierdzewnej typu Zenair, D) nit zrywalny typu Cherry MBC® NAS1720, E) nit typu Goodrich

Fig. 2. View of rivets used in the tests: A) solid rivet, B) blind rivet, C) blind rivet made of stainless steel type Zenair, D) blind rivet type Cherry MBC® NAS1720, E) type Goodrich rivet

Ponieważ trwałość zmęczeniowa połączeń zakładkowych (zapropozowanych w badaniach) mogła istotnie zależeć od działania wtórnych momentów gnących oddziałujących w przekrojach krytycznych na łączone blachy, przygotowano dla nitów typu B i C dwa rozwiązania montażu. Nity zamontowano zgodnie z wariantami zaprezentowanym na rys. 3. Założono, że wielkość ugięcia blachy w przekroju krytycznym jest również pochodną podatności na odkształcenia łbów nitów.



Rys. 3. Widok szwów nitowych w przekroju krytycznym zamontowanych w dwóch wariantach: wariant I (a), wariant II (b)

Fig. 3. The view of rivet seams in the critical section installed in two variants: variant I (a), variant II (b)

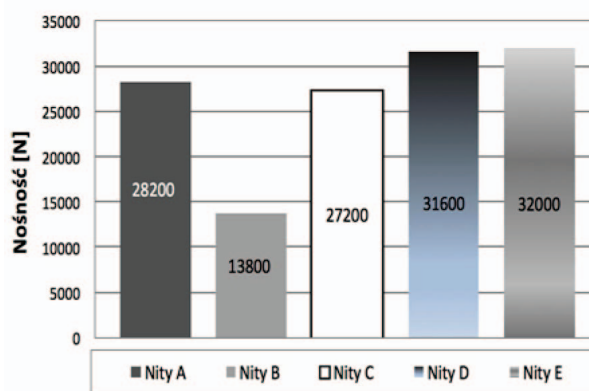
W wariacie I (rys. 3a) w przekroju krytycznym występowały łby nitów, natomiast w wariacie II (rys. 3b) w przekroju krytycznym znajdowały się tzw. zakuwki.

Przygotowane próbki połączeń poddano badaniom statycznym określając nośność połączeń oraz badaniom zmęczeniowym wyznaczając ich trwałość. W badaniach zmęczeniowych próbki były obciążane cyklem jednostronnym (tętniącym) w zakresie obciążenia 0,2–10,8

kN, przy częstotliwości 8 Hz i współczynnika asymetrii cyklu $R=0,02$. Ze względu na dużą powtarzalność otrzymywanych wyników zarówno nośność połączeń jak i ich trwałość określano jako średnią arytmetyczną z 3 próbek.

Wyniki badań

Nośność połączeń, w których zastosowano zarówno nity dwustronne (typu solid), jak i nity jednostronne, przedstawiono na rys. 4. Połączenia ulegały zniszczeniu w wyniku ścięcia nitów (połączenia z nitami A, B i C), zerwania blachy w przekroju krytycznym (połączenia z nitami E, które miały średnicę 5 mm) oraz w wyniku rozkalibrowania otworów po przekroczeniu granicy plastyczności w obciążonej próbce od strony zakuwek – nity D.

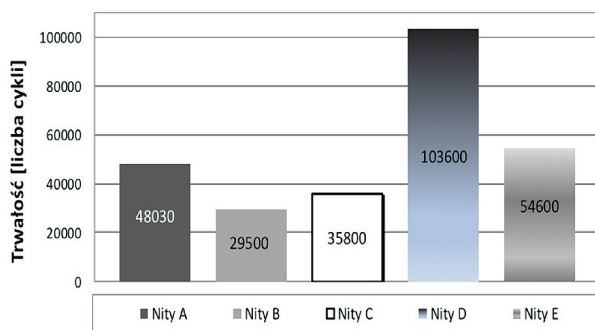


Rys. 4. Porównanie nośności połączeń nitowych
Fig. 4. Comparison of load capacity of rivet joints

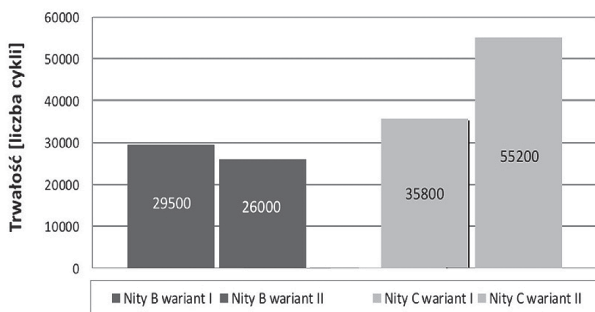
W przypadku badania połączeń z nitami B i C, które miały podobną budowę istotne różnice w nośności połączeń wynikały z rodzaju materiału zastosowanego do wytworzenia tulei nitowej. W nitach typu B tuleja była wykonana ze stopu aluminium, natomiast w nitach typu C tuleja była wykonana ze stali nierdzewnej. Ponieważ w trakcie spęczniania nitów trzpienie nitów B i C ulegały zerwaniu na wysokości pierwszego łączonego elementu, przekrój który był efektywnie obciążony w nicie miał formę pierścienia tulei nitowej. W przeciwieństwie do nitów B i C w połączeniach z nitami typu D, trzpień nitu ulegał zerwaniu na wysokości całego nitu i zarówno tuleja nitowa jak i stalowy rdzeń nitu podlegały ścinaniu. Stąd tak wysoka nośność połączeń z tego rodzaju nitami. Podobna prawidłowość występowała po zastosowaniu nitów typu E, gdzie obciążona tuleja była wykonana ze stopu aluminium, a wkręcona stalowa śruba pełniła w tym rozwiązaniu funkcję trzpienia.

Trwałość zmęczeniową połączeń, w których wykorzystano nity dwustronne i jednostronne zaprezentowano na rys. 5. We wszystkich badanych przypadkach zniszczeniu uległy łączone blachy od strony bardziej zginanego elementu – efekt oddziaływania wtórnych

momentów gnących i bardziej podatnej na odkształcenia części nita – łba lub zakuwki. W przypadku połączeń z nitami D były to blachy od strony zakuwek, natomiast w połączeniach z pozostałymi nitami od strony łbów nitów. Najbardziej korzystne właściwości połączeń w obszarze ich trwałości zmęczeniowej uzyskano po zastosowaniu nitów jednostronnych typu D. W badaniach zmęczeniowych nie obserwowano również zjawiska samoczynnego demontażu nitów jednostronnych. W przypadku połączeń z nitami E trwałość zmęczeniowa połączeń była również większa od trwałości połączeń z nitami typu A (dwustronnymi), mimo że przekrój krytyczny łączonych blach był aż o 8 mm² mniejszy. Tego rodzaju prawidłowość była konsekwencją istotnego wpływu elementów nitów na zjawisko zginania elementów połączenia. Im sztywniejszy element nita – łeb lub zakuwka – tym mniej intensywne zjawisko zginania łączonych blach i większa trwałość zmęczeniowa samego połączenia.



Rys. 5. Porównanie trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych z różnymi rodzajami nitów
Fig. 5. Comparison of fatigue life of riveted connections with various types of rivets



Rys. 6. Porównanie trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych z nitami typu B i C w dwóch wariantach montażu
Fig. 6. Comparison of fatigue life of riveted connections with rivets type B and C in two installation variants

W celu potwierdzenia tej prawidłowości przygotowano połączenia z nitami typu B i C w wariacie II. Wariant II oznaczał, że w przekrojach krytycznych łączonych elementów zamiast łbów nitów zostały

uformowane zakuwki nitów, które były mniej podatne na odkształcenia. Trwałość zmęczeniowa próbek podanych testom eksperymentalnym została zaprezentowana na rys. 6.

W przypadku zastosowania nitów typu B trwałość próbek okazała się niższa, ale zniszczeniu zmęczeniowemu nie uległy łączone blachy, lecz same nity wykonane ze stopu aluminium. W połączeniach z nitami C, których tuleje były wykonane ze stali odpornej na korozję zmiana strony nitowania spowodowała zauważalny wzrost trwałości zmęczeniowej badanych próbek. Zniszczenie połączeń polegało na rozwoju pęknięć zmęczeniowych w łączonych blachach. Tym samym potwierdzono przypuszczenia o istotnym wpływie sztywności elementów nita – łeb nita lub jego zakuwki – na trwałość zmęczeniową połączeń jednozakładkowych.

Wnioski

Na podstawie wykonanych badań eksperymentalnych stwierdzono, że:

- na obecnym poziomie rozwoju systemów nitowania jednostronnego istnieje możliwość zastąpienia w konstrukcjach lotniczych nitów dwustronnych nitami jednostronnymi. Tego typu rozwiązania będą szczególnie przydatne podczas wykonywania napraw struktury statków powietrznych w miejscach trudnodostępnych,
- kryterium doboru systemu nitowania jednostronnego nie może być tylko ekwiwalentna nośność połączenia, ale także trwałość połączenia, w tym również jego trwałość zmęczeniowa,
- trwałość zmęczeniowa połączeń jednozakładkowych wykorzystywanych w badaniach istotnie zależała od działania na połączenie wtórnych momentów gnących – ich negatywne oddziaływanie skutecznie redukuje systemy nitów jednostronnych z trzpieniami występującymi na całej długości nita po jego zakuciu,
- w badaniach własnych najlepsze rezultaty osiągnięto wykorzystując nity jednostronne typu Cherry MBC® NAS1720.

LITERATURA

- [1] Baker Á., F. Rose, R. Jones. 2002. "Advances in the bonded composite repair of metallic aircraft structure". Elsevier Science Ltd, London.
- [2] Godzimirski J. 1987. "Technologia napraw samolotów i śmigłowców – naprawy polowe". Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- [3] Godzimirski J. 2000. "Technologia produkcji płatowców". Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- [4] Jones R. et. al. 2018. "Aircraft Sustainment and Repair". Elsevier Ltd.
- [5] Kaniowski J. (praca zbiorowa). 2010. "Poprawa trwałości zmęczeniowej połączeń nitowych stosowanych w konstrukcjach lotniczych". Projekt badawczy nr Eureka/59/2006, ILOT, Warszawa.

- [6] Rans C.D. 2007. "The Role of Rivet Installation on the Fatigue Performance of Riveted Lap Joints". Doctoral Dissertation. Department of Mechanical and Aerospace Engineering Carleton University, Ottawa.
- [7] Skorupa A., M. Skorupa. 2012. "Riveted Lap Joints in Aircraft Fuselage". Springer, Dordrecht.
- [8] Rośkowicz M. 2009. „Trwałość zmęczeniowa połączeń nitowych”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 37–40.

dr hab. inż. Marek Rośkowicz – Instytut Techniki Lotniczej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, e-mail: marek.roskowicz@wat.edu.pl

dr inż. Sławomir Tkaczuk – Instytut Techniki Lotniczej Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, e-mail: slawomir.tkaczuk@wat.edu.pl

dr inż. Andrzej Komorek – Katedra Awioniki i Systemów Sterowania Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie, ul. Dywizjonu 303 nr 35, 08-521 Dęblin, e-mail: a.komorek@wsosp.pl

mgr inż. Jarosław Gąsior – absolwent Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, ul. Nowowiejska 28A, 00-909 Warszawa, e-mail: j.gasior@ron.mil.pl

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОБИНОДЕРЖАТЕЛЯ С ТРЕХКОНУСНЫМ ПАКЕТИРОВАНИЕМ БОБИНАЖНО-ПЕРЕМОТОЧНОЙ МАШИНЫ БП-340

Dynamiczne charakterystyki uchwytu szpulowego z trójstożkowym pakietowaniem szpulowo-przewijającej maszyny BP-340

Dynamic parameters bobinopilar with three conical packaging bobinazhno – rewinding machines BP-340

Олександр АКИМОВ, Іван ОБОРСКИЙ, Томаш ЛИПІНСКИ

Резюме: Приведены результаты исследования влияния параметров инерционных и жесткостных параметров бобинодержателя с трех конусной паковкой на его критические скорости. Математическая модель учитывает упругость паковки и укатывающего ролика, что позволяет определить закон изменения силы прижима укатывающего ролика к поверхности паковки за весь цикл наматывания. Получены зависимости динамической составляющей силы контактного взаимодействия между паковкой и укатывающим роликом. Определены требования к механизму фиксации держателя бобин и к механизму прижима.

Ключевые слова: бобинодержатель, критическая скорость, динамические характеристики

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu parametrów bezwładnościowych i sztywnościowych uchwytu szpulowego z trójstożkowym pakietowaniem na jego prędkości krytyczne. Model matematyczny uwzględnia sprężystość pakietu i rolki dociskającej co umożliwi określić zasady zmian siły docisku rolki do powierzchni pakowanej w całym cyklu nawijania. Otrzymane zależności dynamicznej składowej siły kontaktowego oddziaływania między pakietem a rolką dociskową. Określono wymagania względem mechanizmu blokowania uchwytu szpuli do mechanizmu dociskowego.

Słowa kluczowe: uchwyt szpulowy, prędkość krytyczna, charakterystyki dynamiczne

Abstract: The results of the study of influence of inertia and stiffness parameters bobbin three conical packaging of critical speed. The mathematical model allows for elasticity supports bobbin with three conical packaging and fastening ukochnyuchoho roller. The resulting dependence of dynamic component of przytyskuwany ukochnyuchoho roller to bobinopilar. The requirements for the fixation mechanism bobinotrymacha specifications.

Keywords: bobinopilar, critical speed, performance dynamic characteristics

При создании и разработке высокоскоростных наматывающих механизмов для намотки текстильной пряжи необходимо знание динамических характеристик роторов, которые ограничивают диапазон рабочих скоростей механизма. Основными динамическими характеристиками наматывающего механизма контактного типа являются критическая скорость бобинодержателя и динамической составляющей силы прижима укатывающего ролика до бобинодержателя. Значительный интерес при моделировании динамических характеристик представляет знание о влиянии на критическую скорость упругости опор, эластичности пакетирования и ошибок фиксации пакетирования механизмом фиксации.

При теоретическом определении критических скоростей бобинодержателей, которые имеют в своем составе элементы по форме, отличающейся от цилиндрической формы, часто появляется значительная погрешность при расчете их инерционных параметров по причине идеализация расчетной схемы ротора.

Объект и методы исследования. Объектом исследования является технология перематывания текстильных нитей на оборудовании с наматывающим механизмом с бобино держателем, предназначенным для трехконусного пакетирования. Методологической основой работы является системный подход к исследованию механизмов контактного типа наматывания текстильной пряжи машин для их производства и переработки. Исследование базируется на основных положениях математики, теоретической механики, теории колебаний, а также компьютерного программирования. Достоверность теоретических положений, выводов и рекомендаций работы подтверждается результатами экспериментальных исследований

Для практических расчетов критических скоростей широкое распространение получил метод «полуупругого» шпинделя, который дает две критические скорости ротора с ошибкой не более 5% [1].

Предмет исследования – динамические процессы, происходящие в наматывающем механизме

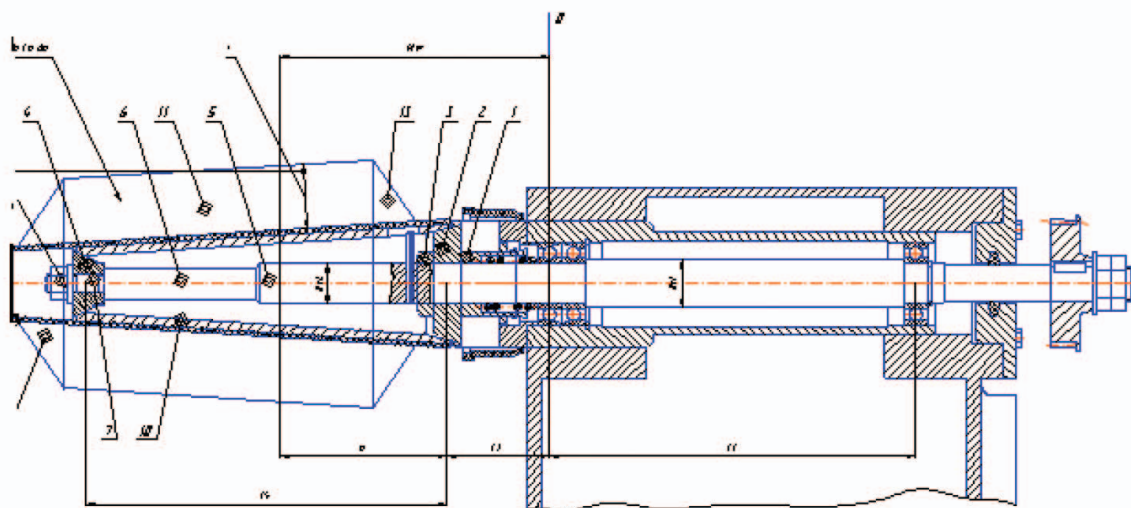


Рисунок 1. Расчетная схема для определения инерционных параметров бобинодержателя
Figure 1. Design scheme for identifying inertial parameters bobbin holder

за время технологического цикла наработки паковки текстильной пряжи.

Задачи исследования Разработка математической модели свободных колебаний бобинодержателя, провести исследование влияния параметров трехконусного пакетирования, эластичности вала, опор, эластичности пакетирования на его критической скорости.

Разработка математической модели вынужденных колебаний укатывающего ролика и провести исследования влияния параметров упругости упаковка и эластичности его крепления на динамическую составляющую силы прижима укатывающего ролика к бобинодержателю.

Обсуждение результатов исследования. В литературных источниках посвященных проектированию роторов текстильных машин [1, 2] вопросы исследований по проблемам научных исследований считаются недостаточными. Изменность массы паковки и инерционных свойств конических элементов, изучены в работах [3], [4]. Для расчета инерционных параметров пакетирования и бобинодержателя их разделено на ряд простых элементов M_i . Для обачного обозначения геометрических параметров элементов в алгоритме все элементы считаются коническими.

Схему разделения бобинодержателя на элементы показано на рис. 1.

Принимаем во внимание взаимосвязь между геометрическими параметрами конических элементов бобинодержателя и паковки: $Rn0, Rn1, Rn2, Rn3$ – внутренние радиусы конусов; $Rk0, Rk1, Rk2, Rk3$ – внешние радиусы конусов; α – угол конуса упаковки; β – угол намотки; t – толщина тела намотки; Lr – длина раскладки; Hv, Hc, Hn – длина соответственно верхней, средней и нижней части намотки. На основе [5] получены выражения для инерционных параметров бобинодержателя.

Объем i -того конического элемента бобинодержателя V_i :

$$V_i = \frac{\pi}{3} \cdot (X_{ki} - X_{mi}) \cdot \left[(R_i)^2 - (R_{vi})^2 \right] + (R_i \cdot r_i - R_{vi} \cdot r_{vi}) + \left[(r_i)^2 - (r_{vi})^2 \right]. \quad (1)$$

Масса бобинодержателя

$$M_o = \sum_i V_i \cdot \rho_i, \quad (2)$$

где ρ_i – плотность материала.элемента.

Координата положения центра масс i -того элемента бобинодержателя h_{ci} :

$$h_{ci} = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{(X_{ki} - X_{mi})^2}{V_i} \cdot \left[3 \left[(R_i)^2 - (R_{vi})^2 \right] + 2(R_i \cdot r_i - R_{vi} \cdot r_{vi}) + \left[(r_i)^2 - (r_{vi})^2 \right] \right]. \quad (3)$$

C_o – полярный момент инерции бобинодержателя, кг·м²:

$$C_o = \sum_i \frac{\pi}{10} \cdot M_i \cdot \frac{(X_{ki} - X_{mi})}{V_i} \cdot \left[R_i \cdot (R_i + r_i) \cdot \left[(R_i)^2 + (r_i)^2 \right] + \left[(r_i)^4 - (r_{vi})^4 \right] - R_{vi} \cdot (R_{vi} + r_{vi}) \cdot \left[(R_{vi})^2 + (r_{vi})^2 \right] \right] \quad (4)$$

где M_i – масса i -того элемента бобинодержателя.

Экваториальный момент инерции элемента бобинодержателя A_c :

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot C_o + \sum_i M_i \cdot \left[\frac{\pi}{30} \cdot \frac{(X_{ki} - X_{ni})^3}{V_i} \cdot [6[(R_i)^2 - (R_{vi})^2] + 3(R_i \cdot r_i - R_{vi} \cdot r_{vi}) + [(r_i)^2 - (r_{vi})^2]] - (h_{ci})^2 \right] \quad (5)$$

Экваториальный момент инерции бобинодержателя A_o :

$$A_o = A_c + \sum_i M_i \cdot (H_{cm} - h_{ci})^2. \quad (6)$$

Принимая во внимание выражения для потенциальной и кинетической энергии аналогично [2], с использованием уравнений Лагранжа второго рода получим систему дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих свободные колебания бобинодержателя с учетом контактного взаимодействия с укатывающим роликом

$$\begin{cases} M\ddot{\eta} + m_{1\eta}\dot{\eta} - m_{2\eta}\alpha = 0 \\ M\ddot{\zeta} + m_{1\zeta}\dot{\zeta} - m_{2\zeta}\beta = 0 \\ A\ddot{\alpha} + C\dot{\beta} \cdot \omega - m_{2\eta}\dot{\eta} + m_{3\eta}\alpha = 0 \\ A\ddot{\beta} - C\dot{\omega} \cdot \alpha - m_{2\zeta}\dot{\zeta} + m_{3\zeta}\beta = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

где H, A, C – инерционные параметры бобинодержателя;

$\varphi, \eta, \zeta, \alpha, \beta$, – обобщенные координаты;

$m_{1\eta}, m_{2\eta}, m_{3\eta}, m_{1\zeta}, m_{2\zeta}, m_{3\zeta}$ – коэффициенты жесткости механической системы в горизонтальном и вертикальном направлении.

Определение факторов влияния обеспечивается в соответствии с расчетной схемой (рис. 1) аналогично [1] с учетом эластичности опор бобинодержателя и упругости тела паковки.

В вертикальном направлении системы пластичность определяется как результат пластичность вал ротора, полюсов ротора.

В вертикальному напрямку податливость системы определяется как следствие уступчивости вала ротора, опор ротора, податливости.

Жесткость опор вала зависит от нагрузки опор гравитационными силами бобинодержателя и упаковки [6].

Критические скорости на основании математической модели, приведенной в [7], определяются с задачей своей собственной частоты с помощью Mathcad.

В таблице 1 представлены основные значения критических скоростей бобинодержателя.

Таблица 1. Значения критических скоростей

Этапы процесса намотки, обозначения		Значения критических скоростей, рад/с
Начало процесса	$\omega_{1,c}^{-1}$	622
	$\omega_{2,c}^{-1}$	7062
Окончание процесса	$\omega_{1,c}^{-1}$	345
	$\omega_{2,c}^{-1}$	5177

В таблице 1 не приведены значения критических скоростей, которые изменяются несущественно для данного вида ротора, по отношению к базовым.

Анализ полученных результатов показал:

- вторая критическая скорость имеет лишь теоретическое значение;
- рабочая зона бобинодержателя ограничена сверху угловой скоростью 435 рад/с;

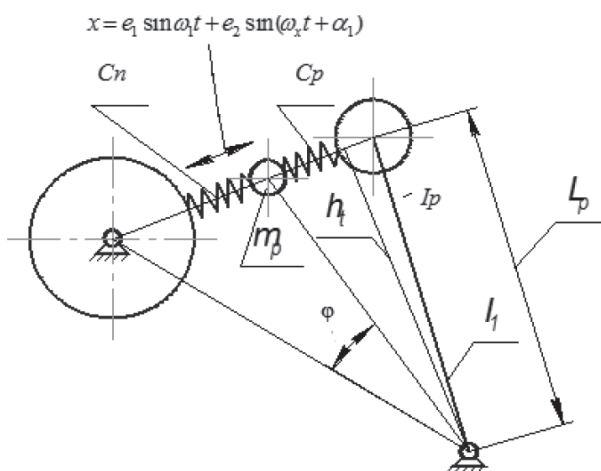


Рисунок 2. Динамическая модель наматывающего механизма с эластичным креплением укатывающего ролика
Figure 2. Dynamic model of winder mechanism with elastic fastening ukatvyajushhego clip

- учет жесткости подшипников приводит к небольшому увеличению первой критической скорости бобинодержателя в вертикальной плоскости (3,2%), которым можно пренебречь;
- учет жесткости упаковки приводит к небольшому увеличению первой критической скорости в горизонтальной плоскости (2,4%), которым можно пренебречь.

Модель позволяет определить влияние ошибки размещения паковки на валу на критические скорости бобинодержателя. Расстояние от центра массы паковки от переднего подшипника находится в пределах допуска 002 м приводит к снижению первой критической скорости на 3,2%, а приближение к подшипнику на то же значение – увеличение критической скорости на 2,8%, которое является незначительным.

Для значительного повышения скорости перемотки необходимо перевести рабочую скорость бобинодержателя в закритическую область с помощью использования эластичных опор бобинодержателя или применяя упругие крепления укатывающего ролика.

Для исследования вынужденных колебаний укатывающего ролика на рычаг рассмотрим динамическую модель, приведенную на рис. 2. Динамическая модель укатывающего ролика с упругим его креплением на рычаги является двухмассовой с двумя степенями свободы: перемещения ролика в направлении бобинодержателя, угловыми перемещениями рычага

Нитераскладчик на рычаге с упруго закрепленным роликом контактирует с паковкой с «докритическим» бобинодержателем

В точке контакта тела намотки с укатывающим роликом система получает кинематическое возбуждение.

Аналогично [1], [7] используя выражение для кинетической и потенциальной энергии, с помощью уравнения Лагранжа второго рода получим систему дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих принудительные колебания ролика, в следующем виде:

$$\begin{cases} m_p \ddot{x} + (C_p + C_n)x - C_p h_t \varphi = \\ = C_n \cdot (e_1 \sin \omega_1 t + e_2 \sin(\omega_x t + \alpha_1)), \\ I_1 \ddot{\varphi} - C_p h_t x + C_p h_t^2 \varphi = 0. \end{cases} \quad (8)$$

где e_1, e_2 – эксцентриситеты паковки i укатывающего ролика соответственно;

$\omega_x = i_x \cdot \omega_1$ – угловая скорость укатывающего ролика;

ω_1 – угловая скорость вращения бобинодержателя.

Интегрирование системы дифференциальных уравнений обеспечивается в системе Mathcad с помощью оператора $Y = \text{Rkadapt}(y, t_0, t_1, N, D)$, который

реализует метод Рунге – Кутты с постоянным шагом интегрирования.

В обозначениях переменных, используемых в Mathcad, выражение динамической составляющей силы прижима принимает форму:

$$Pd := C_n \cdot (\Delta \cdot \cos(\omega \cdot Y^{(1)}) + \delta \cdot \cos(\omega_r \cdot Y^{(1)} + \psi) - Y^{(2)}), \quad (9)$$

где $\Delta = e_1$; $\delta = e_2$; $\psi = 0$ (сдвиг фазы составляющих возбуждающих сил); Y^1 – массив интервалов времени интегрирования; $Y^2 = h\phi$.

На рис.3 приведен образец временной характеристики динамической составляющей силы прижима для максимальной массы паковки ($M = 3$ кг) при разных способах крепления укатывающего ролика при наиболее благоприятной жесткости крепления укатывающего ролика $1 \cdot 10^5$ Н/м.

Результат полученный при значениях $e_1 = 0,0003$ м, $e_2 = 0,0005$ м при скорости перемотывания $V = 15$ м/с, статическая сила прижима за полный цикл намотки составляла $P_c = 25$ Н.

Выводы

1. Разработан метод расчета критических скоростей бобинодержателей с трехконусной упаковкой с учетом упругости вала, подшипников и паковки
2. Эластичность наматывания, жесткость опор бобинодержателя, ошибка действия механизма фиксации в продольном направлении лишь незначительно влияет на критические скорости работы бобинодержателя.

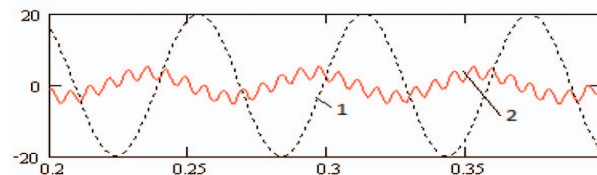


Рисунок 3. Временные характеристики динамической составляющей силы прижима:

1 – жесткое крепление укатывающего ролика; 2 – упругое крепление ролика

Figure 3. Temporal characteristics of dynamic force component of a clip: 1-rigid attachment clip ukatvavajushhego; 2 – elastic fastening clip

3. Использование эластичного крепления укатывающего ролика для уменьшения динамической составляющей силы прижима является весьма эффективным, особенно на заключительном этапе работы пакетирования.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Коритыцкий Я.И. Динамика упругих систем текстильных машин [Текст] : монография / Я.И. Коритыцкий. – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982. – 272 с.
- [2] Прошков А.Ф. Расчет и проектирование машин для производств химических волокон [Текст]: / учебник для студ. вузов А.Ф. Прошков – М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1982 – 402 с.
- [3] Акимов О.О. Дослідження впливу маси пакування на критичні швидкості крутильно-звивального верете-на машини КОЭ-315 [Текст] / О.О.Акимов, І. Л Оборський, О.В. Власенко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали 4 Міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів, 19-21 трав. 2014 р. – ЧДТУ, 2014 – С. 136-138.
- [4] Акимов О.О. Дослідження впливу пружності пакування на критичні швидкості бобинотримача [Текст] О.О. Акимов, І. Л Оборський, Б.С. Завертаний // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали 5 Міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів, 19-22 трав. 2015 р. – ЧДТУ, 2015 – С. 170-173.
- [5] Фаворин М.В. Моменты инерции тел [Текст] Справочник / под ред. М.М. Гернета. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977 – 511 с.
- [6] Вибрации в технике т.3 Колебание машин, конструкций и их элементов- [Текст] Справочник в 6 т./ под редакцией Ф.М. Диментберг [и др.]-. М.: Машиностроение, 1980-544 с.
- [7] Акимов О.О. Дослідження впливу пружності кріплення укочуючого ролика та пакування на динамічну складову сили притискування [Текст] О.О. Акимов, І. Л Оборський, Б.С. Завертаний // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали 6 Міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів, 26-29 квіт. 2016 р. – ЧДТУ, 2016 – С. 170-173.

Doc.dr inż. Oborski Iwan – Kijowski Narodowy Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina, e-mail: Ivan.oborski@mail.ru

Doc.dr inż. Akimov Aleksandr – Kijowski Narodowy Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina

Z PRASY ZAGRANICZNEJ

Tytuły artykułów zamieszczonych w miesięczniku naukowo-technicznym „**Sborka w maszynostrojeniu, przybrosztrojeniu**” wydawanego przez wydawnictwo Maszynostrojienie, Moskwa, Rosja

Sborka nr 4/2017 (201)

1. niezawodność przyrządów
2. metodyka kwalimetrycznych ocen
3. Algorytmy współoddziaływania nieszczelności i funkcjonalnych parametrów zapewnienia szczelności ruchomych uszczelnień wałów rotorowych urządzeń systemu bezpieczeństwa reaktora
4. Badania wpływu cech konstrukcyjnych opór gazowych na charakterystyki eksploatacyjne zespołów wrzecionowych obrabiarek do metali
5. Zużywanie narzędzi skrawających z wielowarstwowymi pokryciami kompozytowymi
5. Podstawy fizyczne opracowywania półfabrykatów tarcz z kombinowaną powierzchnią tarcia z molibdenową gazotermiczną powłoką w celu zwiększenia niezawodności pracy w oleju w zespołach maszyn transportowych
7. Zautomatyzowane projektowanie elementów technologicznego wyposażenia
8. Zasady doboru sprężyn w procesie montażu zaworów w wyrobach

Sborka nr 5/1017 (202)

1. Zapewnienie efektywnego wykonania operacji montażowych w precyzyjnych urządzeniach
2. Opracowywanie niestandardowego wyposażenia w rozwiązywaniu zadań zastępowania importowanych urządzeń w przygotowaniu produkcji
3. Dynamiczne wyrównoważenie ruchomych elementów przyrządów
4. Identyfikacja kąтового zorientowania części w trakcie zautomatyzowanego montażu za pomocą układów wizyjnych
5. Naciski sypkiej substancji na ścianki pojemnika. Zadanie przestrzenne
6. Zależności analityczne do obliczania przyrostu osiowego naprężeń od działania przeciwnych naprężeń w trakcie przeciągania okrągłego, pełnego profilu
7. Termiczno-korelacyjna ocena zdatności par ciernych pokrytych twardym (stałym) smarem w normalnych warunkach atmosferycznych
8. Poślizgi, przemieszczenia i obracanie kul w łożysku kulkowym

Sborka nr 6/2017 (203)

1. Dokładna waga pomiarowa z siłową kompensacją deformacji sprężystego pierścienia poprzez obroty stałego magnesu
2. Statyczne wyrównoważenie ruchomych elementów przyrządów
3. Innowacyjna metoda montażu regulowanych, cylindrycznych połączeń klejowych
4. Szczelność w systemach bezpieczeństwa w lotnictwie
5. Kawitacyjne urządzenie do mycia wewnętrznych powierzchni elementów rurowych
6. Badania odporności na zużycie narzędzi skrawających przy suchym, elektrostatycznym ochładzaniu
7. Badania okresu docierania par tarciovych z powłokami stałego smaru w normalnych warunkach atmosferycznych
8. Jednostkowe straty stopu 49RZF w napędzie magnetycznego statora EMPE
9. Technologiczne podstawy opracowania i wykonania półfabrykatów tarcz ciernych z molibdenową gazotermiczną powłoką
10. Elementy teorii procesów cieplnych w adaptacyjnym sprzęgle ciernym z rozdzielonym siłowym zamykaniem
11. Bilans energetyczny kontaktowego współoddziaływania przy zużyciu materiałów strumienia twardych ziarn ściernych

ABSTRACTS:

1. **Generating disassembly tasks for selective disassembly using ontology-based disassembly knowledge representation**

Author: Hui Jiang, Jianjun Yi, Xiaomin Zhu, Zhao Li

This paper aims to develop methods for generating disassembly tasks for selective disassembly. The disassembly task contains the disassembly information, namely, disassembly direction, disassembly tool and selective disassembly sequence.

The main contribution of this research is the development of methods for representing disassembly knowledge based on ontology rules and the decision support methods for generating disassembly tasks.

Ontology is adopted to represent the product, and ontology rules are used to represent the disassembly knowledge. A product ontology model (POM) is introduced on the basis of material, connection matrix and interference matrix. Two types of disassembly knowledge are taken into account, one is the disassembly knowledge of disassembly tool selection and the other is the disassembly knowledge of special connections. Based on the POM and the disassembly knowledge, decision support methods are designed to generate disassembly tasks.

A centrifugal pump is used to demonstrate the proposed methods, and the result shows that the methods work well.

The methods developed in this study are fundamental approaches. The ontology and the ontology rules can be extended with more disassembly knowledge.

2. **Compliant assembly variation analysis of thin-walled structures based on the absolute nodal coordinate formulation**

Authors: Haidong Yu, Chunzhang Zhao, Bin Zheng, Hao Wang

The purpose of this study is to establish a precise model to describe the deviations of structures and to study the variation propagation during assembly process.

Thin-walled structures inevitably always have manufacturing deviations, which affects the assembly quality of mechanical products. The assembly quality directly determines the performances, reliability and service life of the products. To achieve the automatic assembly of large-scale thin-walled structures, the sizing force of the

structures with deviations should be calculated, and its assembling ability should be studied before assembly process.

Curved thin-walled structures are modeled by using the shell element via the absolute nodal coordinate formulation. Two typical deviation modes of the structure are defined. The generalized elastic force of shell elements with anisotropic materials is deduced based on a continuum mechanics approach to account for the geometric non-linearity. The quasi-static method is introduced to describe the assembly process. The effects of the deviation forms, geometrical parameters of the thin-walled structures and material properties on assembly quality are investigated numerically.

The plate element via the absolute nodal coordinate formulation is first introduced to the variation propagation analysis. Two typical shape deviation modes are defined. The elastic force of structures with anisotropic materials is deduced. The variation propagation during the assembly of structures with various geometrical and material parameters is investigated.

3. **Tolerance analysis of assemblies with sculptured components in composites materials: comparison between an analytical method and a simulation approach**

Authors: Rocco Ascione, Wilma Polini

The purpose of this paper is to compare two different tools for tolerance analysis. This work presents a comparison between two different approaches to tolerance analysis: an analytical method, the variational model, and a statistical software, eM-Tolmate. The comparison has been developed on the same aeronautical case study that constitutes an actual product.

The proposed approach has been applied to an aeronautical case study. The results of the case study show how, when 2D tolerance analysis problems need to be solved, the two adopted tools give the same results. When the complexity of the tolerance analysis problems increases, the statistical software becomes the only choice to use. The new findings of the present paper are related to the fact that computer-aided tolerance analysis software packages remain the only choice to approach actual complex industrial products despite the extensive development of theoretical research.

This paper deals with a unique case study. However, the two adopted approaches and the obtained results are general, that is, they may be applied to any assembly.

Tolerance analysis is a valid tool to foresee geometric interferences among the components of an assembly, before getting the physical assembly. It involves a decrease of the manufacturing costs.

4. Assembly modelling approach for special purpose machines

Authors: Uday Hameed Farhan, Majid Tolouei-Rad, Adam Osseiran

The purpose of this paper is to develop an assembly modelling approach to be applied with a software package, to assist in the design and assembly of special purpose machines (SPMs).

A database of SPM elements was established, and an assembly relationships graph was created. Mating conditions were identified between the SPM elements, and their assembly constraints were extracted and implemented in SolidWorks application programming interface.

The implementation of this assembly modelling approach was validated by selecting SPM layouts as examples. A significant reduction in the assembly time was achieved compared to the traditional assembly procedure for the same examples.

The main value of this paper is a new application of assembly modelling that assists engineers and designers in the design and assembly processes of SPMs. This approach can also be applied to other machine tools with similar attributes.

The topic of assembly modelling approach for SPMs is especially important from the point of view of optimization of production processes, therefore presented issue is very interesting in the field of production engineering.

5. A force rendering model for virtual assembly of mechanical parts with clearance fits

Authors: QingHui Wang, Zhong-Dong Huang, JingRong Li, Jia-Wu Liu

This study proposes a novel force rendering model for virtual assembly (VA) of mechanical parts with clearance fits. By decomposing an actual assembly operation into three consecutive states, the corresponding forces are formulated.

Realistic force sensation can help operators better feel and manipulate parts for VA. Moreover, for VA of mechanical parts, it is necessary to consider their tolerance levels so as to apply proper assembly forces. Out of the three common assembly fit types, the type of clearance fit is the focus of virtual manual assembly, as parts with such fit type require precise force feedback to assist users' assembly operations.

A prototype system is designed and developed to implement the model, and comparative case studies are conducted to investigate the users' performance with the

other three common approaches, namely, a typical WIMP (window-icon-menu-pointer) interface with CAD software, a physics simulation with collision detection and the approach that combines physics simulation and geometric constraints restriction. The results have shown that the proposed model is more realistic by providing continuous and realistic force feedback to the users.

The users feeling of immersion and their operational efficiency are greatly enhanced with the force sensation provided.

6. A simple assembly planner for the insertion of ring-shaped deformable objects

Authors: Ixchel G. Ramirez-Alpizar, Kensuke Harada, Eiichi Yoshida

The aim of this work is to develop a simple planner that is able to automatically plan the motion for a dual-arm manipulator that assembles a ring-shaped elastic object into a cylinder. Moreover, it is desirable to keep the amount of deformation as small as possible, because stretching the object can permanently change its size thus failing to perfectly fit in the cylindrical part and generating undesired gaps between the object and the cylinder.

The assembly task is divided in two parts: assembly task planning and assembly step planning. The first one computes key configurations of the robot's end-effectors, and it is based on a simple heuristic method, whereas the latter computes the robot's motion between key configurations using an optimization-based planner that includes a potential-energy-based cost function for minimizing the object's deformation.

The optimization-based planner is shown to be effective for minimizing the deformation of the ring-shaped object. A simple heuristic approach is demonstrated to be valid for inserting deformable objects into a cylinder. Experimental results show that the object can be kept without deformation for the first part of the assembly task, thus reducing the time it is being stretched.

7. Assembly sequence planning for motion planning

Authors: Weiwei Wan, Kensuke Harada, Kazuyuki Nagata

The purpose of this paper is to develop a planner for finding an optimal assembly sequence for robots to assemble objects. Each manipulated object in the optimal sequence is stable during assembly. They are easy to grasp and robust to motion uncertainty.

The paper proposes an assembly planner which can find an optimal assembly sequence automatically without teaching of the assembly orders and directions by skilled human technicians. The planner is highly expected to improve teachingless robotic manufacturing.

The input to the planner is the mesh models of the objects, the relative poses between the objects in the assembly and the final pose of the assembly. The output is

an optimal assembly sequence, namely, in which order should one assemble the objects, from which directions should the objects be dropped and candidate grasps of each object. The proposed planner finds the optimal solution by automatically permuting, evaluating and searching the possible assembly sequences considering stability, graspability and assemblability qualities.

The proposed planner could plan an optimal sequence to guide robots to do assembly using translational motion. The sequence provides initial and goal configurations to motion planning algorithms and is ready to be used by robots. The usefulness of the proposed method is verified by both simulation and real-world executions.

8. A new method of precise orientation adjustment based on matrix similarity for large-scale component

Authors: Dian Wu, Fuzhou Du

This paper aims to propose a new method to achieve rapid and precise orientation adjustment.

In the assembly process of the satellite, there will be multiple installation and disassembly operations for the solar wing and the main satellite body (or simulator). However, the traditional method of orientation adjustment by theodolite and two-axis turntable is difficult to coordinate three rotation angles of yaw, pitch and roll, which leads to the complexity of actual operation and dependency on manual experience.

The similarity relation of the orientation variation matrix in a different coordinate system is studied, and a mapping model of the similarity relation is established. By using multiple element matrices to construct the original rotation matrix, the mapping is solved in quaternion form. Taking the theodolite as a measuring instrument and the Stewart platform as a control equipment, an experiment on installing the solar wing is performed to validate the effectiveness of the algorithm.

Based on the solving algorithm, the orientation adjustment process is simplified to a three-step fixed mode, which is three adjustments to get the parameter of the mapping model, one to adjust the component in place and another to further fine tuning. The final orientation deviation is less than 0.003° and close to the level of using a laser tracker, achieving the required accuracy of 0.0115° .

9. Direct teaching of industrial manipulators using current sensors

Authors: Jian-jun Yuan, Shuai Wang, Weiwei Wan, Yanxue Liang, Luo Yang, Yifan Liu

The aim of this paper is to implement direct teaching of industrial manipulators using current sensors. The traditional way to implement teaching is either to use a teaching pedant, which is time consuming, or use

force sensors, which increases system cost. To overcome these disadvantages, a novel method is explored in the paper by using current sensors installed at joints as torque observers.

The method uses current sensors installed at each joint of a manipulator as torque observers and estimates external forces from differences between joint-driven torque computed based on the values of current sensors and commanded values of motor-driven torque. The joint-driven torque is computed by cancelling out both pre-calibrated gravity and friction resistance (compensation). Also, to make the method robust, the paper presents a strategy to detect unexpected slowly drifts and zero external forces and stop the robot in those situations.

Experimental results demonstrated that compensating the joint torques using both pre-calibrated gravity and friction resistance has performance comparable to a force sensor installed on the end effector of a manipulator.

The main contribution of the paper is that the authors cancel out both pre-calibrated gravity and friction resistance to improve the direct teaching using only current sensors; they develop methods to avoid unsafe situations like slow drifts.

10. A united kinematic calibration method for a dual-machine system

Authors: Dan Zhao, Yunbo Bi, Yinglin Ke

This paper aims to propose a united kinematic calibration method for a dual-machine system in automatic drilling and riveting. The method takes both absolute and relative pose accuracy into account, which will largely influence the machining accuracy of the dual-machine system and assembly quality.

A comprehensive kinematic model of the dual-machine system is established by the superposition of sub-models with pose constraints, which involves base frame parameters, kinematic parameters and tool frame parameters. Based on the kinematic model and the actual pose error data measured by a laser tracker, the parameters of coordinated machines are identified by the Levenberg–Marquardt method as a multi-objective nonlinear optimization problem. The identified parameters of the coordinated machines will be used in the control system.

A new calibration method for the dual-machine system is developed, including a comprehensive kinematic model and an efficient parameter identification method. The experiment results show that with the proposed method, the pose accuracy of the dual-machine system was remarkably improved, especially the relative position and orientation errors.

This paper proposes a new method with high accuracy and efficiency for the dual-machine system calibration. The research can be extended to multi-machine and multi-robot fields to improve the system precision.

11. Detection and estimation of mental fatigue in manual assembly process of complex products

Authors: Hong Xiao, Yugang Duan, Zhongbo Zhang, Ming Li

This paper aims to investigate an approach for mental fatigue detection and estimation of assembly operators in the manual assembly process of complex products, with the purpose of founding the basis for adaptive transfer and demonstration of assembly process information (API), and eventually making the manual assembly process smarter and more human-friendly.

The proposed approach detects and estimates the mental state of assembly operators by electroencephalography (EEG) signal recording and analysis in an engine assembly experiment. When the subjects perform assembly tasks, their EEG signal is recorded by

a portable EEG recording system called Emotiv EPOC+ headset. The feature set of the EEG signal is then extracted by calculating its power spectrum density (PSD), followed by data dimension reduction based on principal component analysis (PCA). The dimension-reduced data are classified by using support vector machines (SVMs), and hence, the mental state of assembly operators can be estimated during the assembly process.

The experimental result shows that the proposed approach is able to estimate the mental state of assembly operators within an acceptable accuracy range, and the PCA-based dimension reduction method performs very well by representing the high-dimensional EEG feature set with just a few principal components.

This paper provides theoretical and experimental basis for the API transfer and demonstration based on human cognition.

100 000

artykułów fachowych on-line

na Portalu Informacji Technicznej

www.sigma-not.pl

pomocne
ciekawe
rzetelne



Znajdź nas
na Facebooku

Urządzenia

do montażu elementów łącznych dla budownictwa

- montaż wkrętów farmerskich
- montaż kołków rozporowych
- montaż gwoźdźcia z podkładką



IMBiGS – Oddział Anin

Pracownia Automatykacji i Technologii Montażu
ul. Mrówcza 243, 04-697 Warszawa
e-mail: bz@imbigs.pl, tel.: 22 815 83 15

**Posiadamy
wieloletnie doświadczenie
w projektowaniu
i budowie urządzeń**

**Realizujemy zamówienia
zgodnie z wymaganiami
naszych klientów**