

IV
PROBLEMY OGÓLNE
WYTWARZANIA I MONTAŻU

Marek MAGIERA
Akademia Górniczo-Hutnicza
Kraków

METODA SELEKCJI DOSTAWCÓW KOMPONENTÓW DLA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW MONTAŻOWYCH

METHOD OF COMPONENT PARTS SUPPLIERS SELECTION FOR FLEXIBLE ASSEMBLY SYSTEMS

WPROWADZENIE

Coraz częściej zakłady produkcyjne, w których montuje się złożone wyroby, funkcjonują w ramach sieci dostaw. Sieć dostaw stanowi rodzaj konfiguracji łańcucha dostaw, w której niektóre ogniwa są zwielokrotnione w celu dostarczenia różnych produktów do punktów produkcji, dystrybucji, a także sprzedaży. Takie sieci dostaw nazywa się też łańcuchami dostaw o sieciowym charakterze – sieć dostaw jest traktowana jako zbiór pojedynczych łańcuchów dostaw.

Sieci dostaw buduje się również dla systemów montażowych. Charakterystycznymi grupami ogniw dla takich sieci są dostawcy – producenci komponentów (części składowych), zakłady montujące złożone wyroby.

Sieci dostaw dla systemów montażowych, jako złożona struktura logistyczna, powinny spełniać następujące uwarunkowania [1]:

- wiele lokalizacji dostawców (komponentów) i odbiorców (np. zakładów montujących złożone wyroby);
- wiele jednoczesnych transakcji zakupu i sprzedaży;
- konieczność stosowania różnych rozwiązań transportowych, różnicowania produktów i ich dostosowania do potrzeb lokalnych rynków;
- złożone zależności pomiędzy przedsiębiorstwami, wynikające z ich odmienności: struktur organizacyjnych, technicznych, kultur organizacji, wymagań dotyczących poziomu obsługi.

Strategie budowane dla sieci dostaw obsługujących systemy montażowe, obejmują przepływy komponentów, zmontowanych produktów, informacji, niekiedy także pracowników. Koncepcje zarządzania zakładami, przypisanymi sieci dostaw są często kompromisem pomiędzy interesami poszczególnych przedsiębiorstw, a celem działania całej sieci. Podporządkowanie celów indywidualnych poszczególnych przedsiębiorstw wspólnemu celowi jest trudne. Wynika to z równoczesnej przynależności tych firm do innych łańcuchów lub sieci dostaw, a także z odrębnej kultury, organizacji, zasad funkcjonowania. Zarządzanie siecią dostaw dla systemów montażowych traktuje więc przepływy komponentów, zmontowanych produktów, informacji często w bardzo odmienny sposób niż ma to miejsce z punktu widzenia jednego zakładu.

Do wymagań, które stawia się sieciom dostaw dla systemów montażowych, zalicza się m. in. [1]:

- znajomość lokalizacji dostawców komponentów, zakładów montażowych;
- wiedza o stanie zapasów, zleceniach, prognozach dla poszczególnych zakładów;
- planowanie w czasie rzeczywistym z możliwością szybkiego reharmonogramowania – uaktualniania harmonogramów produkcji, przepływu produktów, dostosowując je do zmiennej rzeczywistości;
- sprawne funkcjonowanie systemu transportowego w celu terminowych dostaw komponentów i zmontowanych produktów.

Do najistotniejszych wymagań stawianych łańcuchom dostaw, umożliwiających uzyskanie przewagi konkurencyjnej należy elastyczność. Można rozpatrywać ją na różnych płaszczyznach [2]:

- elastyczność akcji – wielkość swobody działania;
- elastyczność procesu – szybkość działania, zaspokojenie szybko zmieniającego się popytu;
- elastyczność struktury – gotowość do działania.

Elastyczność może dotyczyć również struktury i organizacji produkcji dla poszczególnych zakładów montażowych, stanowiących grupę ogniw sieci. Metodę selekcji dostawców komponentów, przedstawioną w kolejnych rozdziałach pracy, opracowano dla elastycznych systemów montażowych – zespołów sterowanych numerycznie stanowisk montażowych, zintegrowanych przez zautomatyzowany transport i magazynowanie oraz wspólne sterowanie komputerowe, przeznaczonych do jednoczesnego montażu wielu różnych wyrobów w krótkich seriach [3]. Elastyczność oceniana jest za pomocą szybkości reagowania na zmiany oraz kosztów reagowania na zmiany.

Można wyróżnić kilka rodzajów elastyczności, charakteryzujących elastyczne systemy montażowe [4]:

- elastyczność maszyn, określającą podatność systemu na przeprowadzenie zmian przy montażu produktów;
- elastyczność asortymentu produkcji, określającą zdolność do szybkiego przejścia do montażu kolejnych typów produktów;
- elastyczność wielkości produkcji, stanowiącą zdolność systemu do rentownej produkcji przy różnych jej wielkościach;
- elastyczność procesu technologicznego, czyli zdolność produkowania danych wyrobów różnymi sposobami i przy użyciu różnych materiałów;
- elastyczność marszrut montażu – zdolność do kontynuowania montażu w warunkach awarii;
- elastyczność rozwoju systemu – zdolność do łatwej i modularnej rozbudowy systemu;
- elastyczność produkcji – określa ogół typów części, jakie system może produkować.

Wyszczególnione w tym rozdziale rodzaje elastyczności wykazują, że oprócz elastyczności na poziomie maszyny (stanowiska montażowego), istnieje drugi poziom elastyczności: elastyczność na poziomie zarządzania systemem produkcyjnym (zakładem montażowym lub całą siecią dostaw).

Efektywne funkcjonowanie elastycznych systemów montażowych uzależnione jest nie tylko od funkcjonowania zakładów montażowych, ale również od współpracy tych firm z dostawcami komponentów. Wybór dostawców komponentów uzależnia się od wielu czynników, do których zalicza się m. in. [1]:

- czas dostawy – czas od złożenia zamówienia na komponenty do ich dostarczenia;
- niezawodność – prawidłowość realizacji zamówienia;
- komunikację – sposób prowadzenia dialogu pomiędzy firmami – ogniwami sieci;
- otwartość w działaniu – równoczesna skłonność i zdolność dostawcy do spełnienia dodatkowych wymagań klienta, takich jak np. wielkość dostaw, wybór rodzaju środka transportu, sposób pakowania, częstotliwość dostaw.

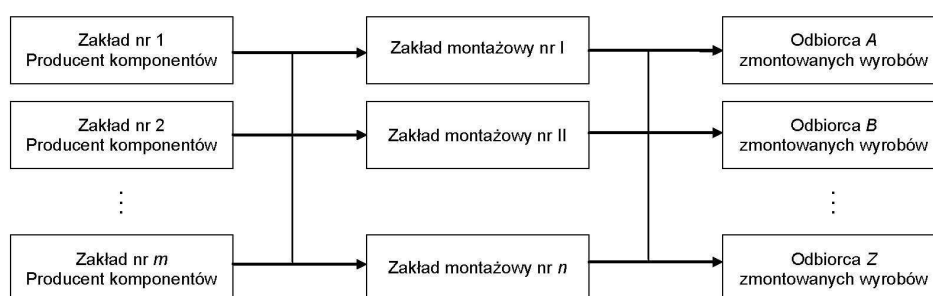
Wymienione powyżej czynniki, mające wpływ na wybór dostawców, powiązane są oczywiście z kosztami dostaw – często jednym z najważniejszych kryteriów w selekcji dostawców. Problem selekcji dostawców dla sieci dostaw został poruszony m. in. w pracach: [5], [6], [7], [8].

Niniejsza praca dotyczy przedstawionej tematyki i problematyki. Opracowana metoda umożliwia wybór dla poszczególnych zakładów montażowych, stanowiących grupę ogniw sieci, wybór tych dostawców komponentów, którzy w jak największym stopniu spełniają wymagane kryteria.

OGÓLNY OPIS METODY

Konfiguracja sieci dostaw, dla której opracowano metodę selekcji dostawców zilustrowana została na rys. 1. Dostawcami są producenci komponentów. Odbiorcami części składowych są zakłady montażowe, będące równocześnie dostawcami zmontowanych wyrobów.

Dla każdego zakładu montażowego wybierani są dostawcy. Ich liczbę można ograniczyć np. w celu uniknięcia zbyt dużej liczby partnerów. Jak widać na schemacie blokowym metody, zamieszczonym na rys. 2, selekcja dostawców jest dwuetapowa.



Rys. 1. Konfiguracja sieci dostaw dla systemów montażowych



Rys. 2. Schemat blokowy metody

Wybór dostawców komponentów poprzedzony jest rozwiązaniem 2 zadań. Wstępna selekcja komponentów ma na celu ograniczenie liczby danych, uwzględnianych w następnym etapie. Proponowana tu jest wielokryterialna analiza dostawców. Uwzględnia się tu czynniki omówione w rozdziale wprowadzającym (czas dostawy, niezawodność, komunikacja, otwartość w działaniu). Proponowane jest zastosowanie metody AHP (ang. Analytic Hierarchy Process), gdzie każdemu kryterium przypisana jest waga – metody przedstawionej m. in. w pracy [9]. Kilku dostawców, którzy otrzymali najwyższe wskaźniki, jest uwzględnianych na niższym poziomie opracowanej metody.

Drugim zadaniem, poprzedzającym wybór dostawców komponentów, jest wyznaczenie zapotrzebowania na poszczególne komponenty w danych okresach. Zbudowany w tym celu model matematyczny zamieszczony jest w następnym rozdziale. Służy on minimalizacji kosztów, ponoszonych w związku z nieterminowym wykonaniem operacji montażowych.

Do selekcji dostawców komponentów zbudowany również został liniowy model matematyczny zadania programowania całkowitoliczbowego. Zamieszczony jest on w kolejnym rozdziale pracy. Tu także przyjęte zostało kryterium kosztowe – minimalizowane są koszty, ponoszone w związku z dostarczeniem komponentów do zakładów montażowych. Wraz z wyborem dostawców równocześnie ma miejsce szeregowanie operacji transportowych, uwzględniające terminowość dostaw komponentów.

WYZNACZENIE ZAPOTRZEBOWANIA NA KOMPONENTY

Wyznaczenie zapotrzebowania na komponenty w poszczególnych zakładach montażowych jest niezbędne do ustalenia warunków dostaw – określenia liczby sztuk różnych części składowych, które mają być dostępne w poszczególnych okresach. W rozwiązaniu tego zadania należy uwzględnić m. in. następujące czynniki:

- konfigurację systemu (np. liczbę stadiów, maszyny równoległe, wykorzystanie buforów międzyoperacyjnych lub ich brak – blokowanie maszyn przez produkty oczekujące na wykonanie kolejnych operacji);

- organizację przepływu produktów (np. przepływ jednokierunkowy, przepływ z omijaniem, przepływ powrotny);

- rozmiary zadania - liczba zakładów montażowych, produktów ma swoje odzwierciedlenie w liczbie parametrów, zmiennych i ograniczeń. Dla zadań o stosunkowo małych rozmiarach można stosować podejście jednopoziomowe. W przypadku zadań o znacznej liczbie indeksów, parametrów wejściowych i zmiennych, zastosowanych w zależnościach matematycznych, wskazany jest podział zadania na kolejno rozwiązywane problemy cząstkowe, co charakteryzuje podejście wielopoziomowe (hierarchiczne).

Dla każdego zakładu montażowego – ogniwa sieci – może być dobrane odrębne narzędzie, umożliwiające wyznaczenie zapotrzebowania na komponenty. Każdy zakład montażowy traktowany jest jako odrębny moduł systemu.

Zbudowane przez autora artykułu liniowe modele matematyczne, uwzględniające powyżej wymienione czynniki, przeznaczone są do wyznaczania zapotrzebowania na komponenty dla poszczególnych zakładów montażowych – z równoczesną wstępną budową harmonogramów szeregowania operacji montażowych (ostateczny harmonogram buduje się po ustaleniu terminów dostaw komponentów). W pracy [10] przedstawione są m. in. modele dla jednokierunkowych, wielostadialnych systemów przepływowych bez buforów, uwzględniające różne rodzaje marszrut oraz podejście monolityczne. Modele dla podejścia hierarchicznego opisane są natomiast w pracy [11]. Dotyczą one systemów z buforami operacyjnymi oraz bez buforów.

W niniejszym rozdziale zamieszczony jest model dla jednokierunkowych, wielostadialnych systemów przepływowych z buforami międzyoperacyjnymi o ograniczonych pojemnościach. W elastycznym systemie równocześnie może być montowanych wiele różnych typów produktów. Każde stadium stanowi zbiór maszyn pracujących równoległe. Produkt, przepływający przez dane stadium, obciąża w nim tylko jedną maszynę. Istnieje możliwość pominięcia niektórych stadiów przez produkt.

Indeksy, parametry i zmienne, zastosowane w modelu zawierającym zależności (1) ÷ (18) zestawiono w tabeli 1. Operacja montażowa j polega na domontowaniu części składowej j – komponentu do uprzednio zmontowanych części. Wyjątek dotyczy pierwszej operacji, która polega na umieszczeniu części bazowej w uchwycie. Każdemu typowi operacji j musi być przypisany co najmniej jeden podajnik komponentów (przydzielony co najmniej jednej maszynie). Dla każdego produktu k , montowanego w systemie, znany jest przedział czasowy $[s_k, u_k]$, w którym powinno nastąpić zakończenie wykonywania operacji przypisanych temu produktowi.

Parametr α stosowany w zależnościach matematycznych jest dowolną liczbą całkowitą, większą od oszacowanej długości uszeregowania. Do oszacowania długości uszeregowania, uwzględniającej planowane przestoje maszyn, wykorzystana została procedura zamieszczona w pracy [10].

Zastosowane zostało kryterium kosztowe [12]. Minimalizowane są koszty ponoszone w związku z nieterminowym wykonaniem produktów, matematycznie zdefiniowane w sumie (1). Zawarte są tu koszty wynikające ze zbyt wczesnego opuszczenia linii montażowej przez produkty (koszty magazynowania), koszty ponoszone ze zbyt późnym wykonaniem produktów, w tym kary umowne za przekroczenie najpóźniejszego dopuszczalnego terminu zmontowania poszczególnych produktów. Zależność (1) służy więc budowie takich harmonogramów montażu, w których uszeregowanie operacji jest jak najbardziej zbliżone planowi produkcji, uwzględniającemu terminy zleceń. Do budowy harmonogramów wykorzystywane są wartości zmiennych z_{ijkl} (tabela I), określających obciążenia poszczególnych maszyn montażowych przez operacje j wykonywane w czasie montażu produktów k w poszczególnych przedziałach l .

Tabela 1. Zestawienie indeksów, parametrów wejściowych i zmiennych dla zadania wyznaczenia zapotrzebowania na komponenty

Indeksy:	
i	- maszyna montażowa; $i \in I = \{1, \dots, M\}$;
j	- operacja montażowa; $j \in J = \{1, \dots, N\}$;
k	- produkt; $k \in K = \{1, \dots, W\}$;
l	- przedział czasowy; $l \in L = \{1, \dots, H\}$;
v	- stadium; $v \in V = \{1, \dots, \vartheta\}$;
Parametry wejściowe:	
a_v	- pojemność bufora międzyoperacyjnego, umieszczonego przed stadium v ;
b_i	- maksymalna liczba podajników, jakie można ustawić przy maszynie montażowej i ;
c_{1k}	- koszt ponoszony w ciągu jednej jednostki czasu (jeden przedział czasowy), wynikający z przyspieszenia wykonania operacji dla produktu k ;
c_{2k}	- koszt ponoszony w ciągu jednej jednostki czasu (jeden przedział czasowy), wynikający z opóźnienia wykonania operacji dla produktu k ;
c_{3k}	- jednostkowa kara (koszt) za przekroczenie najpóźniejszego terminu wykonywania operacji dla produktu k .
g_{ev}	- czas transportu produktu pomiędzy maszynami montażowymi, należącymi do stadiów: e, v ;
p_{jk}	- czas wykonywania operacji montażowej j dla produktu k ;
s_k	- termin zakończenia wykonywania wszystkich operacji montażowych dla produktu k ;
u_k	- najpóźniejszy termin zakończenia wykonywania wszystkich operacji dla produktu k , po przekroczeniu którego naliczana jest jednostkowa kara;
α	- dowolna liczba całkowita, większa od szacowanej długości uszeregowania;
μ_{il}	= 1, jeżeli maszyna i jest dostępna w przedziale czasowym l , inaczej $\mu_{il} = 0$;
η_{ij}	= 1, jeżeli maszyna i jest zdolna do wykonywania operacji typu j , inaczej $\eta_{ij} = 0$;
J_k	- zbiór operacji montażowych, wykonywanych dla produktu k ;
D	- zbiór uporządkowanych par (i, v) , takich, że maszyna i należy do stadium v ;
P_1	- zbiór par (k, j) , gdzie $k \in K, j \in J_k$ i j jest pierwszą operacją montażową dla produktu k ;
P_2	- zbiór par (k, j) , gdzie $k \in K, j \in J_k$ i j jest ostatnią operacją montażową dla produktu k ;
R_k	- zbiór par (r, j) , gdzie $r, j \in J_k$ - kolejno wykonywanych operacji montażowych dla produktu k (sekwencja montażowa).
Zmienne:	
d_k	- czas przyspieszenia w zmontowaniu produktu k ($d_k > 0$ oznacza przedterminowe zmontowanie produktu k);
e_k	- czas opóźnienia w zmontowaniu produktu k ($e_k > 0$ oznacza opóźnienie w wykonaniu operacji montażowych dla produktu k);
f_k	- moment zmontowania produktu k ;
v_k	= 1, jeżeli został przekroczony najpóźniejszy termin wykonania produktu k , inaczej $v_k = 0$;
y_{klv}	= 1, jeżeli bufor międzyoperacyjny znajdujący się przed stadium v jest obciążony przez produkt k w przedziale l , inaczej $y_{klv} = 0$;
z_{ijkl}	= 1, jeżeli na maszynie i wykonywana jest operacja typu j dla produktu k przedziale czasowym l , inaczej $z_{ijkl} = 0$.

Oto model M1 – szeregowanie operacji montażowych dla jednokierunkowych, wielostadialnych systemów montażowych z buforami międzyoperacyjnymi o ograniczonych pojemnościach:

$$\text{Zminimalizować:} \quad \sum_{k \in K} (d_k c_{1k} + e_k c_{2k} + v_k c_{3k}); \quad (1)$$

Zależność (1) musi uwzględnić następujące ograniczenia:

–rozdział operacji montażowych pomiędzy maszyny zdadne do ich wykonania:

$$\sum_{i \in I: \eta_{ij}=1} \sum_{l \in L} z_{ijkl} = p_{jk}; \quad j \in J_k; \quad k \in K; \quad (2)$$

–wyznaczenie czasu opuszczania systemu montażowego przez poszczególne produkty:

$$f_k = \frac{\sum_{i \in J} \sum_{l \in L} l \cdot z_{ijkl}}{p_{jk}} + \frac{p_{jk} - 1}{2}; \quad (k, j) \in P_2; \quad (3)$$

–wyznaczenie nieterminowości (opóźnienia, przyspieszenia) w wykonaniu produktów oraz przyznanie jednostkowych kar za przekroczenie najpóźniejszych terminów zmontowania produktów;

$$e_k \geq f_k - s_k; \quad d_k \geq s_k - f_k; \quad f_k - u_k \leq \alpha \cdot v_k; \quad k \in K; \quad (4)$$

–wykonywanie w danym momencie co najwyżej jednej operacji montażowej dla danego produktu:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_k: \eta_{ij}=1} z_{ijkl} \leq 1; \quad k \in K; \quad l \in L; \quad (5)$$

–umieszczenie przy każdej maszynie dopuszczalnej liczby podajników komponentów:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J_k} \sum_{l \in L} \frac{z_{ijkl}}{p_{jk}} \leq b_i; \quad i \in I; \quad (6)$$

–obciążenie maszyny, dostępnej w danym przedziale czasowym, co najwyżej jedną operacją:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J_k: \eta_{ij}=1} z_{ijkl} \leq \mu_{il}; \quad i \in I; \quad l \in L; \quad (7)$$

–wykonywanie operacji zgodnie z daną sekwencją montażową:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \frac{l \cdot z_{ijkl}}{p_{jk}} - \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} \frac{l \cdot z_{irkl}}{p_{rk}} - \frac{p_{jk} + p_{rk}}{2} \geq 0; \quad (r, j) \in R_k; \quad k \in K; \quad (8)$$

–obciążenie co najwyżej jednej maszyny (spośród maszyn równoległych) przez produkt, przepływający przez stadium:

$$z_{ijkl} + z_{\pi r k f} \leq 1; \quad (i, v), (\tau, v) \in D: \tau \neq i; \quad j, r \in J: j \neq r; \quad k \in K; \quad l, f \in L \quad (9)$$

– niepodzielność wykonywania operacji montażowych – w przestrzeni oraz w czasie:

$$l \cdot \sum_{i \in I} z_{ijkl} - f \cdot \sum_{i \in I} z_{ijkf} \leq p_{jk} - 1 + \left(1 - \sum_{i \in I} z_{ijkf} \right) \cdot \alpha; \quad j \in J; \quad k \in K; \quad l, f \in L: l < f, p_{jk} > 1 \quad (10)$$

– zapewnienie czasu na transport produktów pomiędzy poszczególnymi stadiami:

$$l \cdot z_{ijkl} - f \cdot z_{\pi r k f} - 1 \geq g_{ev} + \alpha(1 - z_{ijkl}); \quad (i, v), (\tau, \varepsilon) \in D; \quad (r, j) \in R_k; \quad k \in K; \quad l, f \in L: f < l \quad (11)$$

– bezpośrednie następstwo operacji wykonywanych na jednej maszynie dla tego samego produktu:

$$l \cdot z_{ijkl} - f \cdot z_{ir k f} \leq p_{jk} + p_{rk} - 1 + \alpha(1 - z_{ijkl}) + \alpha(1 - z_{\pi r k f}); \quad i \in I; \quad k \in K; \quad l, f \in L: f < l \quad (12)$$

– zachowanie przepływu jednokierunkowego (z możliwością omijania):

$$i \cdot z_{ijkl} \geq \tau \cdot z_{\tau r k f} - \alpha \cdot (1 - z_{ijkl}); \quad i, \tau \in I; (r, j) \in R_k; k \in K; l, f \in L \quad (13)$$

– wyznaczenie obciążeń poszczególnych buforów międzyoperacyjnych przez dane produkty:

$$\sum_{l \in L} \frac{I \cdot z_{ijkl}}{p_{jk}} - \frac{p_{jk} + p_{rk}}{2} - \sum_{l \in L} \frac{I \cdot z_{\tau r k l}}{p_{rk}} - g_{ve} = \sum_{l \in L} y_{klv}; \quad (i, v), (\tau, \varepsilon) \in D: v > \varepsilon; (r, j) \in R_k; p_{jk}, p_{rk} > 0; k \in K \quad (14)$$

– określenie przedziałów czasowych, w których produkty, oczekujące na wykonanie kolejnych operacji, obciążają bufory, umieszczone przed stadium, w którym będzie wykonana następna operacja – (15) i (16):

$$I \cdot y_{klv} \geq \sum_{f \in L} \frac{f \cdot z_{\tau r k f}}{p_{rk}} + \frac{p_{rk} + 1}{2} + g_{ev} - \alpha(1 - y_{klv}); \quad (\tau, \varepsilon) \in D; v \in V: \varepsilon < v; (r, j) \in R_k; k \in K; l \in L \quad (15)$$

$$I \cdot y_{klv} \leq \sum_{f \in L} \frac{f \cdot z_{ijkf}}{p_{jk}} + \frac{1 - p_{jk}}{2} + \alpha \cdot (1 - y_{klv}); \quad (i, v) \in D; \varepsilon \in V: \varepsilon < v; (r, j) \in R_k; k \in K; l \in L \quad (16)$$

– zachowanie ograniczonych pojemności buforów międzyoperacyjnych:

$$\sum_{k \in K} y_{klv} \leq a_v; \quad l \in L; v \in V \setminus \{1\}; \quad (17)$$

– zapewnienie odpowiednich typów zmiennych:

$$v_k, y_{klv}, z_{ijkl} \in \{0, 1\}; \quad d_k, e_k \geq 0; \quad i \in I; j \in J; k \in K; l \in L; \quad (18)$$

Komponenty dla danego produktu muszą być dostarczone przed wykonaniem pierwszej operacji dla tego produktu. Produkt k , opuszczający system w czasie f_k , zdefiniowanym matematycznie w równaniu (11), musi mieć dostarczone komponenty przed upływem czasu rozpoczęcia czynności montażowych t_k , który można wyznaczyć wg zależności (19), gdzie j jest pierwszą operacją montażową wykonywaną dla tego produktu:

$$t_k = \frac{\sum_{i \in J} \sum_{l \in L} I \cdot z_{ijkl}}{p_{jk}} - \frac{p_{jk} - 1}{2}; \quad (k, j) \in P_1; \quad (19)$$

WYBÓR DOSTAWCÓW KOMPONENTÓW I BUDOWA HARMONOGRAMU DOSTAW

Wyznaczone zapotrzebowania na komponenty w poszczególnych okresach oraz wstępnie wybrani producenci części składowych stanowią dane wejściowe do zadania selekcji dostawców. Wszystkie indeksy, parametry oraz zmienne przyjęte dla rozwiązania tego zadania zestawiono w tabeli 2.

Oznaczenia zamieszczone w tabeli II zastosowano w liniowym modelu matematycznym. Służy on minimalizacji sumy kosztów obsługi zakładów, montujących złożone wyroby. Do kosztów tych, wymienionych w zależności (20), zalicza się:

- koszty zakupu części składowych przez zakłady montujące złożone wyroby, uwzględniające rabaty za zakupy określonej liczby sztuk komponentów;
- koszty transportu;

–koszty związane z nieterminowością dostaw komponentów, wśród których wyróżnia się koszty magazynowania produktów dostarczonych przedterminowo, kary za każdy umowny okres opóźnienia w dostawie części [13].

Tabela 2. Zestawienie indeksów, parametrów wejściowych i zmiennych dla zadania selekcji dostawców

Indeksy:	
i	– producent komponentów (części składowych); $i \in I = \{1, \dots, M\}$;
j	– zakład montażowy; $j \in J = \{1, \dots, N\}$;
k	– komponent; $k \in K = \{1, \dots, W\}$;
l	– okres (jednostkowy); $l \in L = \{1, \dots, H\}$;
Parametry wejściowe:	
a_{ijk}	– minimalna liczba komponentów k , sprzedawanych przez dostawcę i zakładowi j , upoważniająca do upustu;
b_{ijk}	– kwota upustu danego zakładowi montażowemu j przez dostawcę i w związku z jednorazową sprzedażą komponentów k w liczbie wynoszącej co najmniej a_{ijk} ;
c_{ik}	– cena komponentu k , sprzedawanego przez producenta i (bez uwzględnienia rabatu);
d_{ijl}	– cena usługi transportowej pomiędzy zakładami i, j wykonywanej w okresie l ;
e_{jk}	– kara za każdy dzień opóźnienia w dostawie części komponentu k do zakładu montażowego j ;
f_{jk}	– koszt magazynowania w okresie jednostkowym 1 sztuki komponentu k w zakładzie montażowym j ;
m_l	– maksymalna liczba dostawców, od których chce otrzymywać komponenty zakład montażowy j ;
p_{jkl}	– wielkość zapotrzebowania w zakładzie montażowym j na komponent k w okresie l ;
s_{ikl}	– podaż producenta i , dotycząca komponentu k w okresie l ;
v_k	– przestrzeń zajmowana przez komponent k w czasie jego transportu (z opakowaniem);
u_l	– przestrzeń ładunkowa środka transportu, dysponowanego w okresie l ;
ω_l	– minimalna wartość komponentów, jakie w okresie l można przetransportować;
A	– zbiór par (j, k) , gdzie komponent k jest wykorzystywany w montażu w zakładzie j ;
K	– zbiór par (i, k) , gdzie komponent k jest produkowany w zakładzie i ;
P	– zbiór trójek (i, k, l) , gdzie producent i ma dostępne do transportu komponenty k w okresie l ;
R	– zbiór trójek (j, k, l) , gdzie zakład montażowy j ma zapotrzebowanie na komponenty k w okresie l ;
T	– zbiór trójek (i, j, l) , określający okresy l , w których możliwy jest transport od producenta (dostawcy) i do zakładu j ;
U	– zbiór trójek (i, j, k) , gdzie producent i , dostarczający komponenty k do odbiorcy j , stosuje upusty, związane z zamówieniem odpowiedniej liczby komponentów k .
Zmienne:	
g_{jkl}	– liczba części składowych k będących w nadmiarze w zakładzie producenta j w okresie l ;
q_{jkl}	– liczba brakujących sztuk części składowych k w zakładzie producenta j w okresie l ;
x_{ijkl}	– liczba sztuk części k transportowanych w okresie l pomiędzy zakładami producentów: i, j ;
u_{ij}	– 1, jeżeli dostawca i dostarcza komponenty do zakładu montażowego j , inaczej $u_{ij} = 0$;
y_{ijk}	– 1, jeżeli zamawiana dla jednego transportu liczba części k , mającego miejsce pomiędzy zakładami producentów i, j wynosi co najmniej a_{ijk} , inaczej $y_{ijk} = 0$;
z_{ijl}	– 1, jeżeli w okresie l odbywa się transport pomiędzy zakładami producentów: i, j .

Oto model M2 – selekcja dostawców komponentów i budowa harmonogramu dostaw:
Zminimalizować:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} c_{ik} x_{ijkl} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_{ijk} y_{ijk} + \sum_{(i, j, l) \in T} d_{ijl} z_{ijl} + \sum_{(j, k) \in A} \sum_{l \in L} (e_{jk} q_{jkl} + f_{jk} g_{jkl}); \quad (20)$$

Optymalizowana wartość sumy (20) musi równocześnie uwzględniać następujące ograniczenia:

- dostarczenie wymaganej liczby komponentów do każdego zakładu montującego złożone wyroby:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L: (i,j,l) \in T} x_{ijkl} = \sum_{l \in L: (j,k,l) \in R} p_{jkl}; \quad j \in J; k \in K; \quad (21)$$

- uwzględnienie rabatów za zamówienie odpowiedniej liczby sztuk poszczególnych typów części składowych:

$$\sum_{l \in L: (j,k,l) \in R} x_{ijkl} \geq a_{ijk} y_{ijk}; \quad (i, j, k) \in U; \quad (22)$$

- zbudowanie listy dostawców komponentów dla poszczególnych zakładów montażowych:

$$x_{ijkl} \leq u_{ij} \cdot \alpha; \quad i \in I; j \in J; k \in K; l \in L; \quad (23)$$

- ograniczenie liczby dostawców komponentów do poszczególnych zakładów montażowych:

$$\sum_{i \in I} u_{ij} \leq m_j; \quad j \in J; \quad (24)$$

- zakup tylko tych komponentów, które są dostępne u dostawców w poszczególnych okresach jednostkowych:

$$\sum_{j \in J: (i,j,l) \in T} x_{ijkl} \leq \sum_{\tau \in L: \tau \leq l \wedge (i,k,\tau) \in P} s_{ijk\tau}; \quad i \in I; k \in K; l \in L; \quad (25)$$

- eliminacja dostaw komponentów w okresie niedostępności środków transportowych:

$$\sum_{k \in K} x_{ijkl} = 0; \quad (i, j, l) \notin T; \quad (26)$$

- miejsce na dostarczane komponenty w dyspozycyjnym w danym czasie środku transportu:

$$\sum_{k \in K: (i,k,l) \in P} v_k x_{ijkl} \leq v_l; \quad (i, j, l) \in T; \quad (27)$$

- wyznaczenie transportów komponentów w określonych okresach:

$$\sum_{k \in K} x_{ijkl} \leq \alpha \cdot z_{ijl}; \quad (i, j, l) \in T; \quad (28)$$

- określenie nadwyżek komponentów u producentów złożonych wyrobów - w poszczególnych okresach:

$$\sum_{\tau \in L: \tau \leq l} \sum_{i \in I} x_{ijk\tau} - \sum_{\tau \in L: \tau \leq l \wedge (j,k,\tau) \in R} p_{jkl} \leq g_{jkl}; \quad j \in J; k \in K; l \in L; \quad (29)$$

- wyznaczenie niedoborów komponentów u poszczególnych odbiorców:

$$\sum_{\tau \in L: \tau \leq l \wedge (j,k,\tau) \in R} p_{jkl} - \sum_{\tau \in L: \tau \leq l} \sum_{i \in I} x_{ijk\tau} \leq q_{jkl}; \quad j \in J; k \in K; l \in L; \quad (30)$$

- wyznaczenie tylko tych transportów, które są rentowne (warunek kosztowy):

$$\sum_{k \in K: (i,k,l) \in P} (c_{ik} x_{ijkl} - b_{ijk} y_{ijk}) \geq \omega_l; \quad (i, j, l) \in T; \quad (31)$$

- zapewnienie odpowiednich typów zmiennych:

$$x_{ijkl}, z_{ijl} \in \{0, 1\}; \quad i \in I; j \in J; k \in K; l \in L; \quad (32)$$

Przedstawiony model matematyczny umożliwia ograniczenie liczby dostawców komponentów do poszczególnych zakładów montażowych. Służy temu zależność (24). Ograniczenie to może być oczywiście pominięte – można badać wpływ liczby dostawców na terminy dostaw i ponoszone w związku z tym koszty. Zwiększenie liczby dostawców ma jednak często jedną wadę: przyczynia się do zmniejszenia rabatów, uzyskiwanych za zamówienie odpowiedniej liczby sztuk komponentów.

EKSPERYMENTY OBLICZENIOWE

Zaprezentowana metoda została przetestowana w eksperymentach obliczeniowych. Do obliczeń zastosowany został pakiet optymalizacji dyskretnej oraz język programowania matematycznego [14]. Celem eksperymentu było przede wszystkim zweryfikowanie zbudowanego modelu matematycznego M2, służącego selekcji dostawców komponentów.

W przeprowadzonych eksperymentach porównano problem sformułowany w modelu M2 (opisanym zależnościami (20) ÷ (32)) z jego modyfikacją – problemem oznaczonym M2a. Problem M2a różni się od M2 usunięciem ograniczenia (31). Oznacza to, że w zadaniu M2a nie jest uwzględniana rentowność poszczególnych transportów – dopuszczone są transporty, które mogą charakteryzować się małą liczbą przewożonych komponentów i ich koszty są stosunkowo duże. Przed zastosowaniem modelu M2 lub M2a wyznaczono zapotrzebowanie na komponenty, zgodnie z zależnościami przypisanymi modelowi M1. Porównań dokonano dla 3 grup testowych zadań – o różnych liczbach dostawców, typów komponentów, zakładów montażowych. Dla każdej z grup testowych zadań rozwiązano 10 przykładów. Parametry grup testowych zadań oraz średnie wyniki eksperymentów obliczeniowych zestawiono w tabeli 3.

W tabeli III podano wartości średnie następujących wskaźników:

– β – służący porównaniu długości harmonogramów przepływu produktów przez sieć:

$$\beta = (C_{\max}^{M2} - C_{\max}^{M2a}) / C_{\max}^{M2a}; \quad (33)$$

gdzie: C_{\max}^{M2a} , C_{\max}^{M2} – długości uszeregowania dla problemów sformułowanych w modelach: M2a, M2.

– γ – przeznaczony porównaniu kosztów obsługi sieci dostaw:

$$\gamma = (K^{M2a} - K^{M2}) / K^{M2}; \quad (34)$$

gdzie: K^{M2a} , K^{M2} – koszty obsługi sieci dostaw, wyznaczone wg (20).

Tabela 3. Zestawienie parametrów grup zadań testowych i wartości średnich wyników eksperymentów w [%] – dla całej sieci

Gr.	Parametry grup testowych zadań							Wskaźniki porównania	
	M	N	W	R	H	P	T	α	γ
1	3	5	10	140	10	4	3	8,5	5,7
2	3	5	12	200	14	6	4	8,2	6,1
3	4	6	16	320	18	8	5	7,7	6,8

Liczby: M – producentów komponentów, N – zakładów montażowych, W – typów komponentów, R – wszystkich zamówionych komponentów (wielkość zapotrzebowania), H – okresów jednostkowych, P – typów produktów, T – środków transportowych.

Zamieszczone w tabeli 3 wartości średnie wskaźnika β wykazują wydłużenie długości harmonogramów w przypadku zastosowania zależności matematycznych przypisanych modelowi M2a (dla testowych danych o około 8%), w odniesieniu do problemu M2. Korzyść, wynikająca z zastosowania modelu M2, polegająca na budowie stosunkowo krótszych harmonogramów, została okupiona niewielkim wzrostem kosztów, wyznaczanych wg sumy (20). Jest to odzwierciedlone w postaci wartości wskaźnika γ którego wartość dla testowych zadań wynosiła 5 ÷ 7%. Na wzrost kosztów obsługi sieci dostaw wpłynęło zwiększenie liczby transportów, przy pewnym zmniejszeniu kosztów magazynowania oraz kar za nieterminowość. Wzrost liczby transportów przyczynił się oczywiście do zmniejszenia nieterminowości w dostawie komponentów.

Kolejne eksperymenty obliczeniowe służyły porównaniu dwóch przypadków, oznaczonych następującymi symbolami:

–P1 – równoczesnego uwzględnienia wszystkich odbiorców – zakładów montażowych (zbiór J zawiera wykaz wszystkich zakładów montażowych);

–P2 – uwzględnienie każdego zakładu montażowego oddzielnie (zbiór J jest jednoelementowy), przy rozwiązywaniu problemu kolejno dla poszczególnych odbiorców komponentów. Wzięto tu pod uwagę wszystkie możliwe permutacje uszeregowania zakładów montażowych. W danych dla każdego następnego zadania zmniejszał się nie tylko element zbioru J (tabela II), ale także elementy zbiorów: P (określającego dostępność komponentów u dostawców w poszczególnych okresach), T (zawierającego informacje, dotyczące możliwości środków transportowych w poszczególnych okresach).

Przypadek P1 odzwierciedla interesy całej sieci, problem P2 reprezentuje natomiast interesy pojedynczego zakładu montażowego – odbiorcy komponentów. Obliczenia przeprowadzono dla 3 grup zadań testowych. W przykładach testowych przyjęto założenia: jednakowe terminy wykonania wszystkich zleceń montażowych, takie same koszty magazynowania komponentów dostarczonych przedterminowo do poszczególnych odbiorców oraz takie same kwoty kar za opóźnione dostarczenie komponentów do zakładów montażowych, naliczane za każdy okres (przedział czasowy) nieterminowości.

Parametry grup zadań testowych oraz otrzymane wyniki zamieszczono w tabeli IV. Dla każdego testowego zadania rozwiązane zostały kolejno problemy sformułowane w modelach M1, M2. Testy przeprowadzono dla 3 odbiorców. Problem P2 musiał być więc rozwiązywany 6-krotnie (dla wszystkich permutacji). Do oceny porównania rozwiązań wykorzystano następujący wskaźnik:

– ϕ_j - służący porównaniu kosztów obsługi sieci dostaw, przypadających dla zakładu montażowego j :

$$\phi_j = K_j^{P2} / K_j^{P1}; \quad (35)$$

gdzie: ϕ_j^P - koszty obsługi sieci dostaw, obliczone dla odbiorcy j oraz problemu P (w oparciu o sumę (20)).

W tabeli 4 zamieszczono otrzymane minimalne oraz maksymalne wartości tego wskaźnika.

Tabela 4. Zestawienie parametrów grup zadań i wyników eksperymentów – porównanie problemów: P1, P2

Gr.	Parametry grup testowych zadań							Wskaźniki porównania	
	M	N	W	T	λ_1	λ_2	λ_3	$\min_{j \in J} \phi_j$	$\max_{j \in J} \phi_j$
1	3	3	12	4	600	1200	3000	0,91	1,11
2	3	3	14	6	1200	2400	4000	0,89	1,17
3	4	3	20	12	6000	6000	6000	0,84	1,23

Liczby: M – producentów komponentów, N – zakładów montażowych, W – typów komponentów, T – środków transportowych, λ_i – wszystkich sztuk komponentów, transportowanych do zakładu montażowego j .

Koszty obsługi łańcucha dostaw, porównane w tabeli IV dla problemów P1 i P2, są oczywiście związane z długością harmonogramów dostaw komponentów do zakładów montażowych. Nieterminowości dostaw przyczyniają się do generowania dodatkowych kosztów: magazynowania lub kar za opóźnienia. Największe skrócenie czasu wykonywania usług transportowych miało miejsce - zgodnie z przewidywaniami - w przypadku, gdy odbiorca, do którego miało być dostarczone zlecenie o dużych rozmiarach (znaczna liczba produktów), był rozpatrywany jako pierwszy w danej permutacji odbiorców. Wtedy też osiągnęte były mniejsze koszty – o około kilkanaście procent – niż w przypadku P1. Redukcja kosztów wynikała głównie ze zmniejszenia kar związanych z nieterminowością usług.

Porównanie problemów P1 i P2 jest istotne z punktu widzenia tzw. graczy, którzy na bieżąco chcą śledzić opłacalność swojej przynależności do sieci dostaw. Zaprezentowana metoda sprzyja przeprowadzaniu różnego rodzaju symulacji i dokonywania ocen – głównie ze względu na stosowane kryterium kosztowe. Każdy budowany harmonogram dostaw i związane z nim koszty oceniane są przez odbiorców komponentów. W rzeczywistości, oprócz kosztów uwzględniane są również inne czynniki, np. społeczne, związane z ryzykiem współpracy, doświadczenia we współpracy, perspektywy w dłuższym horyzoncie czasowym.

UWAGI KOŃCOWE

Opracowana metoda umożliwia nie tylko wybór dostawców komponentów, ale również harmonogramów dostaw oraz harmonogramów montażu. Selekcja dostawców dokonywana jest w oparciu o wiele czynników. Po wstępnej, wielokryterialnej selekcji dostawców ma miejsce wybór tych dostawców, którzy spełniają odpowiednie wymagania, dotyczące ich możliwości produkcyjnych, transportowych, a przede wszystkim kosztów.

Istotną cechą metody jest modułowe podejście do struktury całej sieci i narzędzi, wspomagających zarządzanie jej. Każdy zakład produkcyjny, niezależnie od tego, czy produkuje komponenty, czy montuje złożone wyroby, traktowany może być odrębnie – opisany innymi zależnościami matematycznymi, uwzględniającymi jego specyfikę: organizację przepływu produktów, sposób magazynowania (stosowanie buforów międzyoperacyjnych, blokowanie maszyn, czy tzw. szeregowanie dokładnie na czas).

Modułowa struktura systemu sprzyja elastyczności – nie tylko na poziomie maszyn, ale również na poziomie zarządzania systemem, zwłaszcza w przypadkach kryzysowych. Możliwość reharmonogramowania należy do zalet metody. W przypadku konieczności zmiany uszeregowania operacji (awaria w jednym z zakładów, pilne zlecenia, uwzględnienie zmian wymagań klientów, przerwanie produkcji z innych powodów, np. czynników społecznych) można ponownie rozwiązać problem, eliminując lub uaktualniając zależności matematyczne, dotyczące zasobów, z którymi związane są zmiany. Obliczenia prowadzone są wtedy niekoniecznie poczynając od pierwszego poziomu metody – punkt startowy ponownych obliczeń zależy od tego, w którym miejscu sieci dostaw zachodzi konieczność modyfikacji harmonogramu przepływu produktów.

Zbudowane do obsługi systemu montażowego modele matematyczne mogą być oczywiście zmodyfikowane, rozbudowane – dopasowane do zmieniającej się rzeczywistości. Zmieniony może być np. reguła upustów dawanych zakładom montażowym. W przypadku, gdy odbiorcy tworzą sieć należącą do jednego właściciela, upusty mogą być wyznaczane w odniesieniu do całej sieci, a nie tak jak w przedstawionych modelach, gdzie bonifikaty dotyczą poszczególnych odbiorców. Przydzielenie upustów całej sieci uniemożliwia jednak dokonywanie takich symulacji i porównań, jakie przedstawiono przy opisie przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych. Dla problemów o stosunkowo dużych rozmiarach zamieszczone modele matematyczne mogą stanowić punkt wyjścia do budowy algorytmów heurystycznych.

Jak wykazały eksperymenty obliczeniowe metoda może służyć do przeprowadzania różnego rodzaju symulacji – np. badania wpływu liczby dostawców na harmonogram dostaw i związane z tym koszty.

W rozwiązywaniu problemu selekcji dostawców poszukiwany był kompromis pomiędzy odmiennymi interesami poszczególnych przedsiębiorstw – ogniw sieci a wspólnym celem działania sieci. Interesy poszczególnych przedsiębiorstw były uwzględniane na etapie wyznaczania zapotrzebowania na komponenty. Selekcja dostawców związana była z interesami całej sieci odbiorców komponentów.

Zastosowanie programowania matematycznego gwarantuje odpowiednią jakość otrzymywanych rozwiązań. Obserwowany rozwój techniki komputerowej i oprogramowania sprzyja stosowaniu tego narzędzia.

LITERATURA

1. *Fechner I.*: Zarządzanie łańcuchem dostaw, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007.
2. *Tarkowski J., Stefaniak R.*: Elastyczne zarządzanie łańcuchem dostaw w branży materiałów budowlanych; w: *Elastyczne łańcuchy dostaw – koncepcje, doświadczenia, wyzwania*. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2002.
3. *Sawik T.*: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992.
4. *Sawik T.*: Planowanie i sterowanie produkcji w elastycznych systemach montażowych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
5. Aissaoui N., Haourai M., Hassini E.: Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers & Operations Research*. 2007: 34; pp. 3516-3540.

6. Chopra S., Meindl P.: Supply Chain Management, Prentice Hall, New York 2001.
7. Demirtas E.A., Ustun O.: An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation. Omega: The International Journal of Management Science, 2008; 36; pp. 76-90.
8. Sawik T.: Multiple objective supplier selection in make-to-order environment. Omega, The International Journal in Management Science; 2010; 38; pp. 203-212.
9. Krawczyk S.: Zarządzanie procesami logistycznymi, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
10. Magiera M.: Modele PLC szeregowania operacji dla wielostadialnego systemu wytwarzania dokładnie na czas; w: Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej. Rocznik 2007. Polska Akademia Nauk - Komitet Transportu, s. 152-159
11. Magiera M.: Hierarchiczna metoda wielokryterialnego planowania produkcji dla systemów z ograniczeniami czasowymi; w: Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej, red. nauk. L. Bukowski. Wydawnictwa AGH, Kraków 2009, s. 128-136.
12. Magiera M.: Modułowy system wspomagania zarządzaniem łańcuchem dostaw. Automatyka, półrocznik, tom 13, zeszyt 2, Wydawnictwa AGH, Kraków 2009, str. 429-441.
13. Magiera M.: Metoda wspomagania zarządzania przepływami w elastycznych sieciach dostaw; w: Automatyzacja procesów dyskretnych. Teoria i zastosowania, tom II pod red. A. Świerniaka i J. Krystek, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego. Gliwice 2010, str. 133-141.
14. Fourer R., Gay D., Kernighan B.: AMPL - A Modeling Language for Mathematical Programming. Boyd & Fraser Publishing Company 1993.

METHOD OF COMPONENT PARTS SUPPLIERS SELECTION FOR FLEXIBLE ASSEMBLY SYSTEMS

Abstract. The method is constructed for local supply network. The network consists of the manufactures of component parts, the assembly plants and the final customers. The method is used for selection of the manufactures of component parts – for all assembly plants. The linear mathematical models of mixed integer programming are used in the method. The minimization of supply chain service costs is regarded in the described method. The schedules of transport tasks are constructed for transport between the selected manufactures of component parts and the assembly plants. Results of computational experiments with the proposed method are compared. Two cases are compared: the first, where interests of all supply network are regarded, the second, where each assembly plant is treated separately.

Aleksander STREUBEL

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Legnicy

Iwona KUPROWSKA

Koncern MAHLE Stuttgart

Marek KURAN

Politechnika Wrocławska Wrocław

LOGISTYCZNE ZABEZPIECZENIE PRODUKCJI MONTAŻOWEJ

LOGISTICAL ENSURING OF THE ASSEMBLY PRODUCTION

WSTĘP

W historii rozwoju gospodarczego Europy po drugiej wojnie światowej można wyodrębnić trzy zasadnicze etapy [2, 3, 4].

- Pierwszy obejmuje okres do lat sześćdziesiątych XX wieku gdzie istotna była produkcja. Jednym z priorytetów zadań było likwidacja przestoi i wąskich gardeł produkcyjnych. Wszystko co wyprodukowano można było sprzedać i brak było produkcji na magazyn.
- Drugi etap obejmował lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte XX wieku. W tym czasie na pierwszy plan wysunęła się sprzedaż. Rozszerzał się asortyment produkcji, zaczęły znacznie wzrastać zapasy magazynowe, co w konsekwencji doprowadziło do wzrostu kosztów. Jednocześnie jednak obserwuje się skrócenie czasów dostaw.
- Ostatni okres charakteryzuje nasycenie rynku, zmniejsza się popyt na wyroby, wzrasta konkurencja na rynku.

Przedsiębiorstwa koncentrują się na dziedzinach wypracowujących największy zysk, preferują działania z wysoką specjalizacją – ograniczają produkcję tylko do części określonego rodzaju. Inne natomiast zajmują się ich montażem w gotowy wyrób. Przykładem jest tu przemysł motoryzacyjny.

Oprócz dużej niepewności aktualną sytuację charakteryzuje silna dynamika, zmuszająca przedsiębiorstwa do szybszych reakcji, przy czym czasy reakcji stają się coraz krótsze.

Rynek zarówno w sektorze dóbr konsumpcyjnych jak i w sektorze dóbr inwestycyjnych zmienił się z rynku sprzedającego w rynek kupującego. Powoduje to, że kupujący [2]:

- mają coraz więcej życzeń specjalnych,
- wymagają nowych produktów w coraz krótszych odstępach czasu,
- preferują coraz mniejsze wielkości zleceń,
- chcą, by dostawy były coraz szybsze,
- w coraz większym stopniu decydują jak, kiedy, czym i dokąd chcą dostać towary,
- stawiają coraz wyższe wymagania jakościowe.

Przedsiębiorstwa z reguły muszą dostosowywać się do żądań kupującego. Jeżeli nie chcą stracić swych rynków, to muszą charakteryzować się dużą elastycznością, silną gotowością do reakcji, stałą gotowością do innowacji, dobrą organizacją.

Sytuacja cenowa na rynkach zaostrza się stale i prowadzi do nacisku kosztowego na prawie wszystkie działy przedsiębiorstwa. W wielu zakładach:

- zlecenia są bardzo długo realizowane,
- nowe produkty są zbyt wolno opracowywane i wykonywane,
- stopień wykorzystania zdolności produkcyjnych jest zbyt różny,
- technologie produkcji nie są zmieniane lub są zmieniane za późno,
- utrzymywane są duże stany magazynowe ze wszystkimi konsekwencjami kosztowymi.

W dziedzinie sprzedaży można często stwierdzić, że instrumenty marketingowe są nieskutecznie stosowane, występują braki w dystrybucji, obserwuje się zbyt późną dostawę towarów często o niewłaściwej jakości, dostawy realizowane są za pośrednictwem drogich systemów transportu.

Rozpatrując sytuację występującą w dziedzinie informatyzacji przedsiębiorstwa, można nierzadko dojść do wniosku, że [9], [10]:

- aktualny poziom informatyzacji poszczególnych części przedsiębiorstwa nie jest znany instancjom centralnym,
- dostępne źródła informacji nie są wykorzystywane,
- sprzęt i oprogramowanie zastosowane przy uzyskiwaniu, analizie i przesyłaniu informacji nie odpowiadają wymaganiom.

Odwzorowanie sytuacji w wymienionych dziedzinach pokazuje, że istnieje wiele słabych punktów, leżące zarówno po stronie zakładu, albo też są one uwarunkowane przyczynami pozazakładowymi. Oznacza to, że trzeba szukać metod i technik, przy pomocy których można unikać słabych punktów lub je usuwać. Logistyka może być traktowana jako jeden z takich instrumentów.

Przeprowadzona analiza [1] rozwoju gospodarczego pokazuje, że przedsiębiorstwa są poddane działaniu zmieniających się i stale rosnących wymagań. Do najważniejszych wymagań stawianych w stosunku do przedsiębiorstwa należy wymóg bezproblemowego kształtowania przepływów materiałowych, przepływów wartościowych i informacyjnych.

Obecnie w procesie wytwarzania bardzo istotna jest niezawodność produkcji. Stanowi ona nowe podejście do procesu wytwarzania. W dzisiejszych czasach jest niemożliwe by obiekt, zakład czy dział utracił zdolność do wypełniania wymaganych funkcji. Obecnie logistyka ma do spełnienia sześć zadań, polegających na dostarczeniu:

- wymaganej ilości,
- właściwych obiektów (towary, osoby, energia, informacje),
- we wskazanym miejscu (źródło lub ujście) w systemie,
- w ustalonym momencie,
- dobrej jakości,
- przy konkurencyjnych kosztach,

które muszą być połączone w jednolitą funkcję.

Systemy logistyczne, analogicznie do systemów ekonomicznych, obejmują swym zasięgiem całe gałęzie i branże przemysłu i tworzą tzw. łańcuch logistyczny, który składa się z następujących ogniw: klient, stanowiska opracowania, zapytań ofertowych i zamówień, dyspozycji i sterowania, zaopatrzenie, dostawcy, odbiorcy, odbiór towarów, produkcja, wysyłka, montaż i wprowadzenie do produkcji [3].

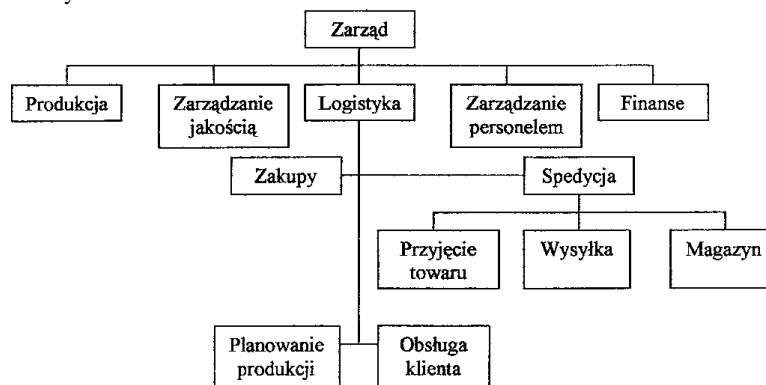
Spełnienie wymienionych zadań jest możliwe przy odpowiedniej strukturze organizacyjnej przedsiębiorstw. W przemyśle motoryzacyjnym często można spotkać strukturę organizacyjną firmy pokazano na rys. 1, z którego widać, że dział logistyki w Zakładzie jest bardzo rozbudowany. Dużą uwagę przywiązuje się do komórki planowania produkcji, bo tu ustala się sposoby zabezpieczenia dostaw (płynność produkcji). Ustala się tu również działania w sytuacjach awaryjnych.

Potrzeba nowego podejścia do logistyki wystąpiła zwłaszcza w przemysłach: motoryzacyjnym, lotniczym i elektronicznym, które rozwijały się dynamicznie przy stale rozbudowanej specjalizacji i kooperacji podmiotowej i technologicznej. Wielcy producenci samochodów (Volkswagen, Daewoo, Toyota, Fiat, General Motors), osiągający dzienną produkcję kilku tysięcy sztuk, stanęli przed ogromnymi problemami.

Po pierwsze - zapewnienie niezawodności dostaw materiałów do produkcji. Każdy materiał, komponent czy część musi znaleźć się na linii produkcyjnej lub montażowej w odpowiedniej ilości i odpowiednim czasie, przy możliwie najniższym poziomie zapasów. Utrzymanie np. miesięcznych zapasów stało się przy tych rozmiarach i tempie produkcji niewykonalne, zarówno ekonomicznie (koszty utrzymania i zamrożenia kapitału), jak i technicznie (powierzchnie magazynowe).

Po drugie - problemem narastającej synchronizacji dostaw materiałów od dostawców, częściowo wchodzących w skład danego koncernu, ale terytorialnie oddalonych od zakładów końcowego montażu.

Przeciętny samochód jest składany z ponad 1500 części, z których nie więcej niż 30 % produkowanych jest w zakładzie montażowym.



Rys. 1. Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa

Po trzecie - problemem równie silnie odczuwanej potrzeby ograniczenia zapasów wyrobów gotowych opuszczających strefę produkcji; przy wielkich seriach wyrób musi być niemal bezpośrednio po ostatniej operacji produkcyjnej i kontroli jakościowej, oznakowaniu i zapakowaniu wysyłany do nabywców lub własnej sieci sprzedaży, stanowiących następne ogniwa łańcucha logistycznego; gromadzenie zapasów wyrobów gotowych - przy tej skali produkcji - staje się równie niemożliwe, jak gromadzenie zapasów materiałów.

Po czwarte - łańcuch logistyczny kończy się dopiero u ostatniego nabywcy konsumenta.

Zadania logistyki są bardzo złożone, nie kończą się na przepływach między podmiotami produkcyjnymi oraz tymi przedsiębiorstwami i handlem, ale sięgają do końcowego nabywcy dóbr konsumpcji i środków pracy [4].

Przedstawiona struktura przedsiębiorstwa jest jasna i przejrzysta z punktu widzenia zarządzania. Problem często stanowi brak identycznych systemów komputerowego wspomaganie w zakładach a wtedy współpraca między zakładami jest utrudniona, co szczególnie odczuwa się w działaniach logistycznych przedsiębiorstwa. Często wprowadza się nieuzasadnione magazyny lub tworzy się zapasy międzyoperacyjne - zamraża się kapitał. Również podejście do organizacji logistyki w poszczególnych zakładach nie odpowiada randze zagadnienia.

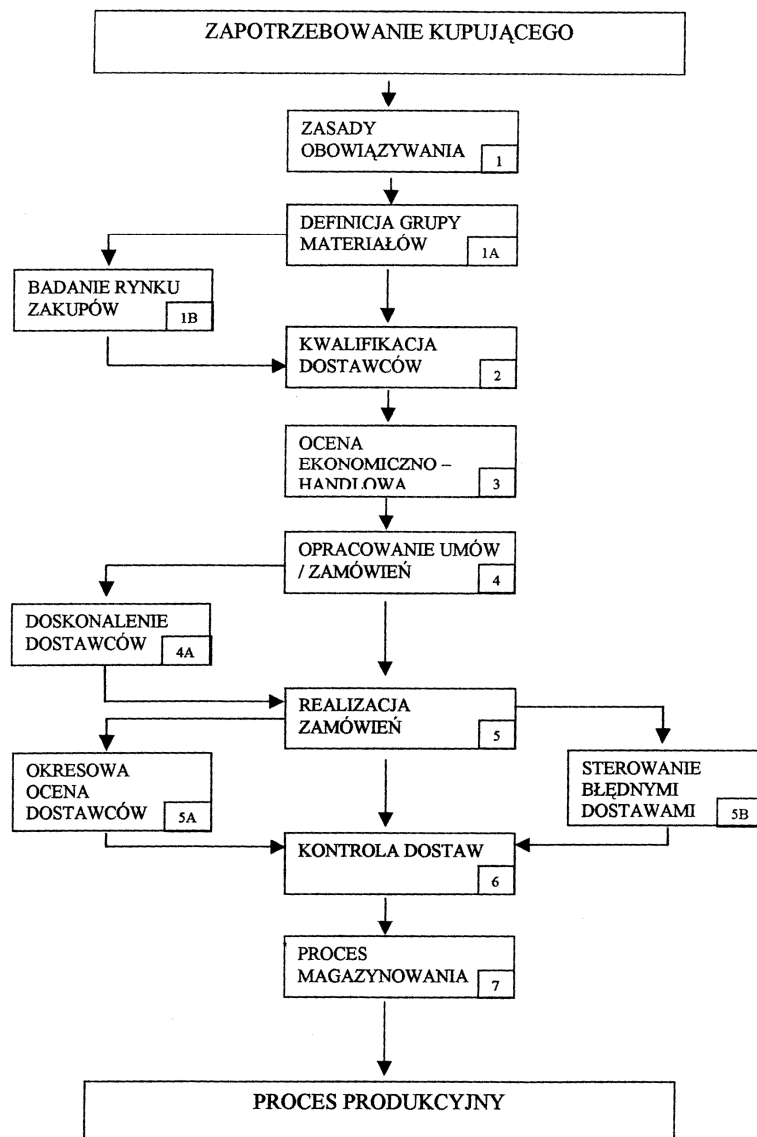
NIEZAWODNOŚĆ SYSTEMU LOGISTYCZNEGO

Metoda podnoszenia niezawodności systemu logistycznego zabezpieczenia produkcji bazuje na sformułowaniu przebiegu od zapotrzebowania kupującego do dostarczenia wyrobu klientowi. Na rys. 2 przedstawiono przebieg takiej procedury. W przemyśle motoryzacyjnym przyjęto pewne zasady zakupu i sprzedaży wyprodukowanych dóbr.

Kooperanci są zobowiązani do przestrzegania wzajemnych ustaleń i przepisów związanych z dostawą jak i sprzedażą określonych wyrobów lub surowców.

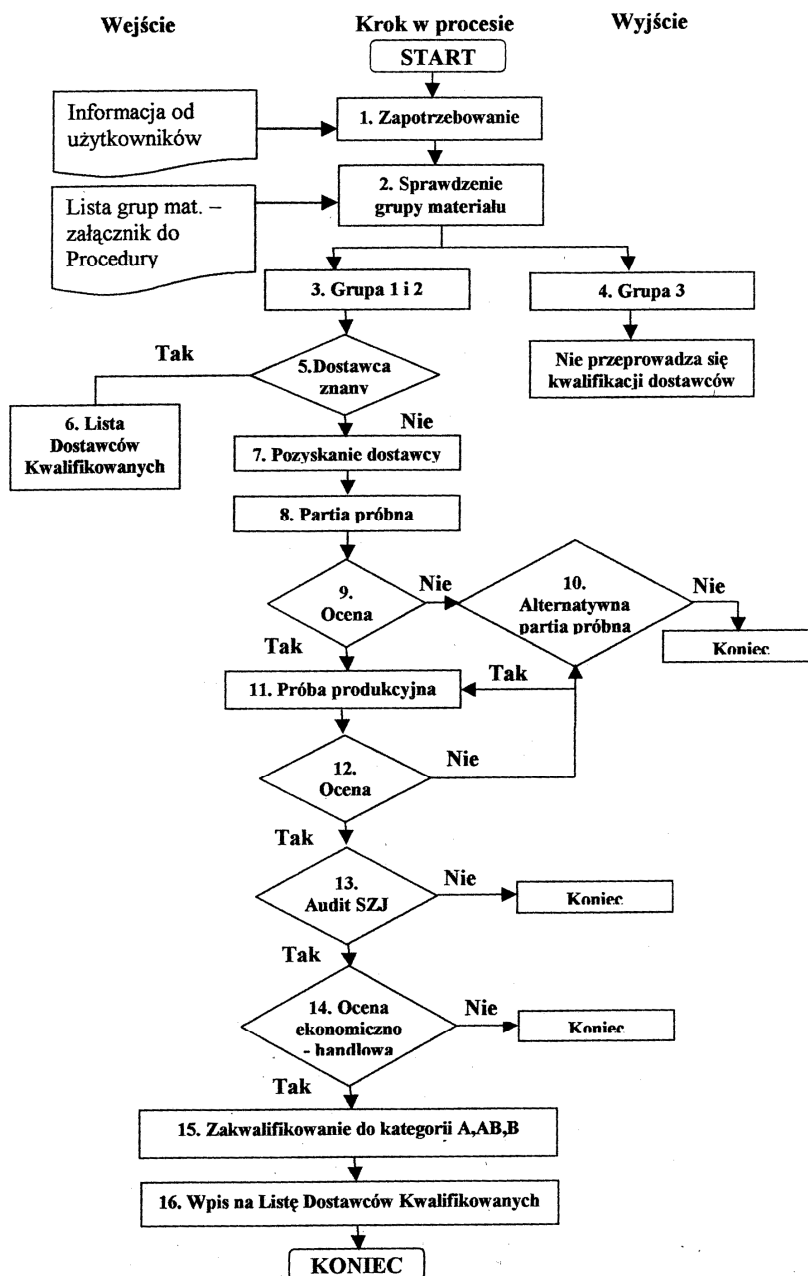
Ustalenia te dotyczą:

1. Formy zamówienia
2. Warunków rozliczeń finansowych,
3. Terminu i niezawodności dostaw (newralgiczna część umowy),
4. Jakości i niezbędnej dokumentacji,
5. Ustaleń końcowych (tajemnica produkcji).



Rys. 2. Ogólny schemat metody podnoszenia niezawodności systemu logistycznego

Z punktu widzenia procesu produkcyjnego najważniejsze są pozycje 3 i 4. Czas dostaw, jej terminowość, jakość i ilość mają dla zakładu znaczenie strategiczne. Tu również ustala się skutki prawne i finansowe dotyczące odstępstw od przyjętych zobowiązań. Dostawcy zapoznają się również z procedurą dostaw (rys. 2) i wyrażają zgodę na przeprowadzenie audytów Systemów Zarządzania Jakością (QM) oraz stosowania aktualnych norm VDA. [7], [8]. Dostawca musi zadeklarować się, czy będzie ubiegał się o umieszczenie go na liście kwalifikowanych dostawców.



Rys. 3. Kwalifikacja dostawcy

Kwalifikowany dostawca może liczyć na szereg przywilejów ze strony zakładu: stałą, wysoką cenę za swoje wyroby, gwarantowany zbyt, terminowość odbioru swoich wyrobów, odbioru wyrobów bez kontroli (po zarejestrowaniu w systemie SAP-R3 [5]), z możliwością dostawy bezpośrednio na produkcję (np. montaż – ograniczenie operacji pakowania i konserwacji wyrobu do niezbędnego minimum), co obniża pracochłonność produktu.

Odbiorca towaru jest zainteresowany posiadaniem wyłącznie kwalifikowanych dostawców, lecz dla zabezpieczenia płynności własnej produkcji przeprowadza okresową weryfikację dostawców, korzystając ze specjalnie opracowanych procedur. Na rysunku 3 przedstawiono przykładową procedurę stosowaną w części zakładów motoryzacyjnych.

Analizując przedstawioną procedurę widać, że uzyskanie statusu „kwalifikowanego dostawcy” jest bardzo złożone, jednak płynące z tego zyski wskazują na opłacalność jego posiadania. Jest oczywiste, że spełnienie wszystkich wymagań bywa trudne w danym momencie, dlatego zakład (odbiorca) klasyfikuje dostawców i umieszcza ich w jednej z kategorii.

W przemyśle motoryzacyjnym przyjęto następujące kategorie: A – najwyższa, AB – średnia, B – dostateczne i C – nie do zaakceptowania. Każda kategoria wymaga zdobycia przez dostawcę określonej liczby punktów. I tak: A, to 90-100 punktów – maksymalna liczba punktów, AB to 80 – 89 punktów, B to 60 – 79 punktów i C – poniżej 60 punktów. Punkty są sumą ocen uzyskanych w czterech kategoriach. Są to: zakupy – niezbędna dokumentacja, cena dostarczanego towaru i możliwość jej negocjacji, posiadanie systemu SAP-R3 do ewidencjonowania dostaw; jakość – posiadane certyfikaty, audyty, wskaźniki jakości oraz PPM (reklamacji na milion sztuk); logistyka – terminowość, kompletność dostaw, pakowanie i wysyłka w specjalnych pojemnikach; technika – wyposażenie techniczne zakładu dostawcy oraz jego zdolności rozwojowe.

Kryteria zakupu i techniki mają wpływ na długoterminową współpracę oraz zdolność do unowocześniania produktu oraz obniżania jego ceny. W celu przybliżenia problemu autorzy przedstawiają ocenę punktową do kryterium „Jakość produktu”. Liczba punktów za tą cechę wynikała z okresowego zestawienia ocen dostaw sporządzonego na podstawie kart kontroli dostaw wystawionych w okresie objętym oceną (około 1 roku).

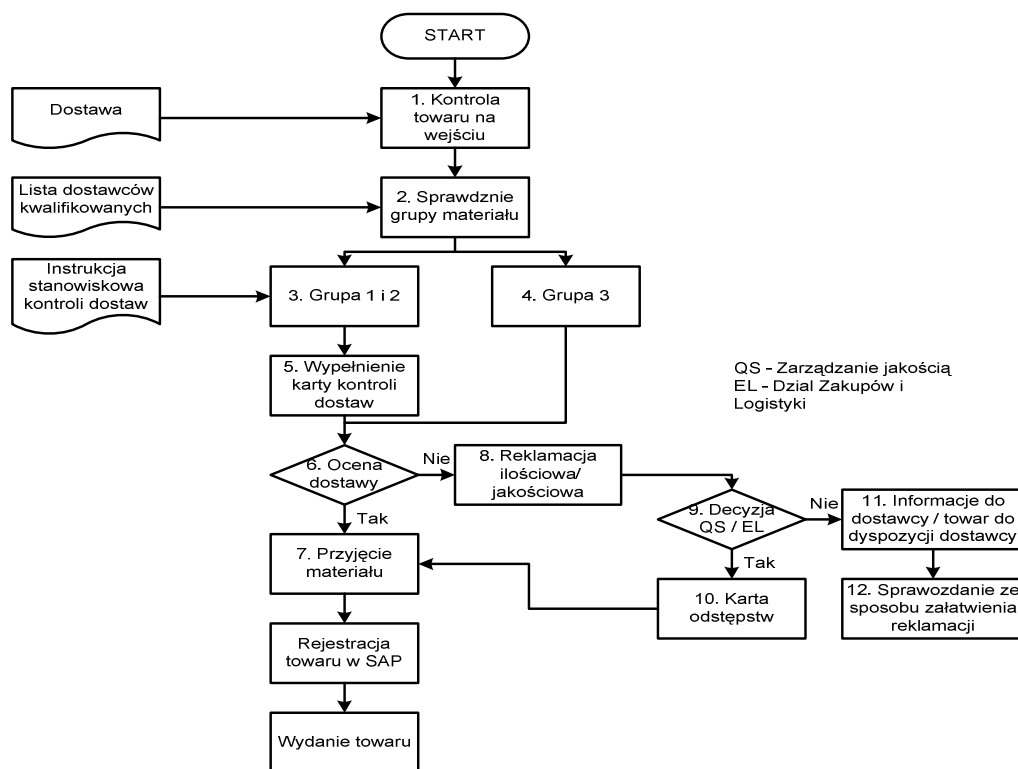
Przyznanie 100 punktów było możliwe, gdy dostawca spełnił następujące wymogi:

- posiadany aktualny certyfikat motoryzacyjny: ISO/TS oraz certyfikat 16949 Systemu Zarządzania Jakością, (10 pkt.),
- brak uwag do jakości aktualnie dostarczanego materiału, (35 pkt.),
- brak reklamacji (35 pkt.),
- ilość dostaw (powyżej 10 dostaw w okresie podlegającym ocenie), (10 pkt.),
- wieloletnia współpraca powyżej 3 lat, (10 pkt.)
- 90 punktów:
- posiadany aktualny certyfikat tylko Systemu Zarządzania Jakością, (8 pkt.),
- uwagi odnośnie jakości dostarczanego materiału z możliwością warunkowego przyjęcia (max. 2 dostawy w okresie podlegającym ocenie), (33 pkt.),
- reklamacja max. 1 dostawa, (33 pkt.),
- ilość dostaw (5-9 dostaw w okresie podlegającym ocenie), (8 pkt.),
- początek współpracy od 1 roku do 3 lat, (8 pkt)
- 80 punktów:
- dostawca był w trakcie certyfikacji, (6 pkt.),
- wielokrotne uwagi odnośnie jakości dostarczanego materiału z możliwością warunkowego przyjęcia (powyżej 2 dostaw w okresie podlegającym ocenie), (31 pkt.),
- reklamacja max 2 dostaw, w tym jedna dostawa nie nadawała się do wykorzystania (31 pkt.),
- ilość dostaw (do 4 dostaw w okresie podlegającym ocenie), (6 pkt.),
- pierwsza ocena powyżej 5 dostaw w okresie podlegającym ocenie, (6 pkt.)
- 70 punktów:

- dostawca planował certyfikację, (4 pkt.),
- wielokrotne uwagi odnośnie jakości dostarczanego materiału z możliwością warunkowego przyjęcia (powyżej 5 dostaw w okresie podlegającym ocenie), (28 pkt.),
- reklamacja max. 2 dostaw, które nie nadawały się do wykorzystania (28 pkt.),
- ilość dostaw (do 4 dostaw w okresie podlegającym ocenie), brak możliwości dokonania odbioru jakościowego dostawy, brak dowodów jakości dostawy, (6 pkt.),
- początek współpracy, zbyt mało dostaw (4 pkt.)
- 0 punktów:
- dostawca nie posiada certyfikatu, (0 pkt.),
- powtarzające się reklamacje (dotyczące tych samych zagadnień), dostawca podejmuje nieskuteczne działania korygująco - zapobiegawcze z zakresu Systemu Zarządzania Jakością, (0 pkt.),
- realizacja dostaw po rocznej przerwie, konieczność korzystania z innego dostawcy, (0 pkt.).

Osobne zagadnienie, to problemy związane z magazynowaniem dostarczonych wyrobów. Zagadnienie to częściowo omówiono we wcześniejszej publikacji [11].

Dzięki kwalifikowanym dostawcom proces magazynowania sprowadza się do kontroli według procedury przedstawionej wcześniej (rys. 4.) oraz zarejestrowanie dostawy w systemie SAP-R3 [5]. W zależności od organizacji zakładu, dostarczone elementy przekazywane są bezpośrednio do montażu lub do podręcznego magazynu.



Rys. 4. Kontrola dostaw [11]

PODSUMOWANIE

We współczesnej gospodarce nastąpiła wysoka specjalizacja zakładów, co szczególnie widoczne jest zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym. Szczególny problem stanowi produkcja seryjna i masowa. Proces wytwarzania odbywa się na liniach produkcyjnych gdzie istotne jest dostarczenie elementów w określonym czasie. W Polsce, w latach 90-tych zagadnienie to było marginalne.

Najczęściej na początku roku zamawiano ilość niezbędne do rocznej produkcji, składowane później w magazynach. W tym okresie nie zwracano uwagi na koszt i niezawodność dostarczonych części, ponieważ duże zapasy magazynowe gwarantowały ciągłość produkcji. Często zdarzało się, że przerywano produkcję, wiązało się to ze złomowaniem już dostarczonych i składowanych w magazynie części, co oczywiście generowało dodatkowe koszty.

Rosnąca konkurencja na rynku wymusiła zmianę podejścia do zagadnień produkcji. Zauważono, że poprawienie jakości elementów, zmniejszenie zapasów magazynowych oraz wyznaczenie nowej roli dla logistyki stanowi drogę do obniżenia kosztów produkcji jak i wzrostu konkurencyjności wyrobów na rynku.

Stwierdzono, że poprawienie jakości otrzymywanych elementów oraz terminowość dostaw (nawet przy wyższych ich kosztach) jest korzystne dla zakładu. Pozytywną rolę odgrywa posiadanie stałych dostawców, gwarantujących dostarczenie towaru o najwyższej jakości, za który otrzymują wyższą cenę. Kategorizacja dostawców i ich okresowa ocena gwarantuje obopólnie korzystną współpracę.

LITERATURA

1. Bussiek J., Ehrmann H., „*Buchführung 7. Auflage*” Ludwigshafen/Rhein 2002.
2. Fey P., „*Logistik Managment und integrierte Unternehmensplanung*”. München 1989.
3. Kempny D., „*Logistyka. Zarządzanie logistyczn*”. Zarządzanie łańcuchem dostaw 1997.
4. Kempny D., „*Logistyczna obsługa klienta*” AE Katowice 2000.
5. Kosicki A., Kuprowska I., Lubniewski R., Streubel A., „*Komputeryzacja procesów logistycznych w przedsiębiorstwie*” WNT 2004.
6. Kuprowska I., „*Metody podwyższenia poziomu niezawodności systemu logistycznego w produkcji wielkoseryjnej w przemyśle motoryzacyjnym*” Praca doktorska. Politechnika Wrocławska 2006.
7. Miehele, „*Produktionswirtschaft, 8 Auflage*” Ludwigshafen/Rhein 2003.
8. Norma Niemieckiego Przemysłu Motoryzacyjnego VDA 6 część 4.1, tom 2.
9. Rupper P., „*Die Logistik organisatorisch verankern*” Unternehmenlogistik, Zürich/Köln 1991.
10. Schwajca D., „*Problemy oceny i pomiaru poziomu logistycznej obsługi klienta*” Materiały Międzynarodowej Konferencji Logistics '98. IliM Poznań 1998
11. Streubel A., Kuran M., Kuprowska I. „*Logistyczne zabezpieczenie seryjnego montażu tłoka silnika spalinowego*” Technologia i Automatyzacja Montażu 3/2010.

LOGISTICAL ENSURING OF THE ASSEMBLY PRODUCTION

Abstract. The paper discusses the challenges facing a modern logistics in the production system. Showing the problems that must be overcome by automotive, aerospace and electronics industries to guarantee reliable delivery of high quality production. The schema of increase reliability of logistic system is presented. Drew attention to the suppliers and their classification into categories adopted in the automotive industry. It also discusses the method of scoring classification suppliers. Showing the dependence between control of deliveries and suppliers category.

Zbigniew BOROWSKI

Bydgoska Szkoła Wyższa

Maciej MATUSZEWSKI

Janusz MUSIAŁ

Michał STYP-REKOWSKI

Uniwersytet Technologiczno-

Przyrodniczy w Bydgoszczy

Bydgoszcz

ORGANIZACYJNE I EKONOMICZNE UWARUNKOWANIA PROCESÓW WYTWARZANIA ELEMENTÓW WIELKOGABARYTOWYCH

ORGANIZATIONAL AND ECONOMICAL CONDITIONING OF PRODUCTION PROCESS OF LARGE-SIZE ELEMENTS

WPROWADZENIE

Definicji elementu wielkogabarytowego, którego obróbka jest przedmiotem niniejszej pracy, w literaturze fachowej nie znaleziono. Intuicyjnie przyjmuje się, że jest to element o dużych wymiarach zewnętrznych i jednocześnie dużej masie. Dla celów niniejszego opracowania jako elementy wielkogabarytowe (EWg) przyjęto elementy, których gabaryty wyznaczają jego graniczną objętość $V > 0,125 \text{ m}^3$. Takie kryterium przyjęto jako rezultat następującego rozumowania:

- tolerancje wykonania są znormalizowane, zasady obliczania ich wartości w funkcji wymiaru nominalnego zawarte są w normach krajowych i europejskich [3÷6]. Wartości tolerancji dla wymiarów nominalnych do 3150 mm zawarte są w normach [3, 4], dla większych zakresów wymiarowych - powyżej 3150 mm do 10000 mm w [5], a powyżej 10 000 mm do 40 000 mm w [6];
- najmniejszy wymiar graniczny (500 mm) przyjęty w normach o zasięgu europejskim można uznać za graniczny wymiar przy klasyfikacji elementów maszynowych jako wielkogabarytowych. przyjęcie tej granicy dla jednego wymiaru spowodowałoby potencjalną sytuację, że pręt $\varnothing 5$ o długości, np. 1000 mm należałoby przyjąć jako EWg. Podobna sytuacja byłaby gdy dwa wymiary są większe niż wymiar graniczny – arkusz blachy o grubości 1 mm i wymiarach, np. 600x600 mm także należałby już do EWg;
- ostatecznie przyjęto więc kryterium, że za element wielkogabarytowy uznaje się taki, którego wszystkie trzy wymiary przekraczają wymiar 500 mm, i jest ono równoważne kryterium objętościowemu, że $V > 0,125 \text{ m}^3$.

Ponieważ warunek trzech wymiarów gabarytowych większych niż wymiar graniczny znacznie ograniczyłby zbiór EWg (wykluczyłoby to elementy typu tarcza, płyta, pokrywa itp.) przyjęto ostatecznie, że jeden z wymiarów gabarytowych może być mniejszy, lecz element taki kwalifikuje się również jako wielkogabarytowy wówczas, gdy spełniony jest dodatkowo warunek objętości. Przyjęcie dodatkowego warunku powoduje pewne uelastycznienie klasyfikacji. Tworzenie różnych klasyfikacji ma na celu typizację procesów technologicznych, która powinna sprzyjać zwiększeniu produktywności procesu wytwórczego.

Zasadniczym celem podjęcia niniejszych badań było zidentyfikowanie czynników charakterystycznych dla obróbki EWg i wskazanie tych, które w istotny sposób determinują procesy wytwórcze elementów o dużych gabarytach, głównie w aspekcie ich dokładności.

PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ ELEMENTÓW WIELKOGABARYTOWYCH

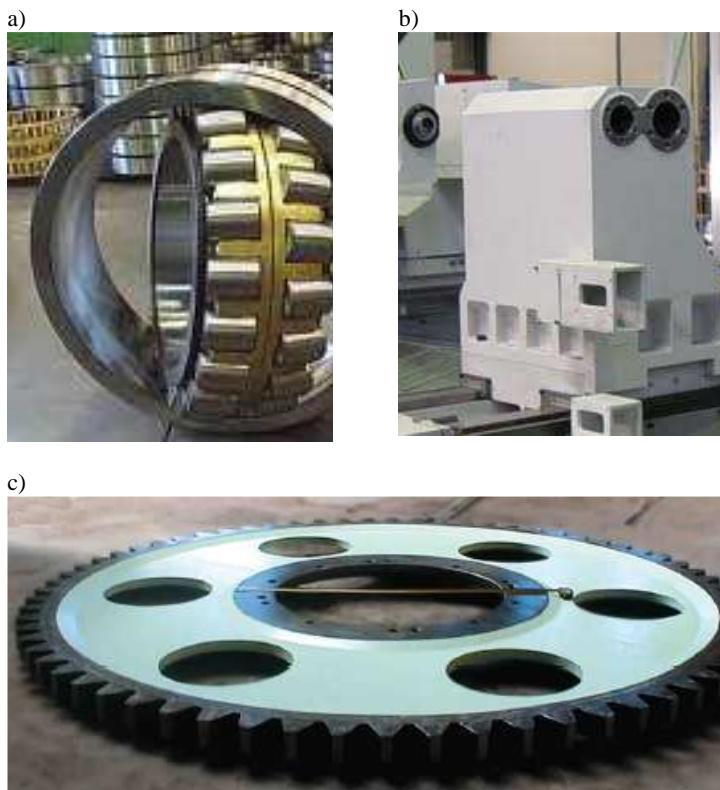
Elementy wielkogabarytowe znajdują coraz szersze zastosowania. Z jednej strony wynika to z zapotrzebowania na coraz większe znane już rodzaje obiektów technicznych, czego przykładami mogą być:

- coraz większe budowane i użytkowane samoloty (pasażerskie i transportowe),
- duże tankowce, masowce i inne specjalistyczne obiekty pływające,
- pojazdy drogowe (samochody, ciągniki),
- maszyny budowlane,
- obrabiarki itp.

Rosnące zapotrzebowanie na duże elementy wynika także z pojawiania się rozwiązań konstrukcyjnych do niedawna nieznanymi. W tej grupie zastosowań EWg można wymienić:

- siłownie wiatrowe,
- wielozadaniowe maszyny rolnicze,
- maszyny technologiczne realizujące nowe procesy technologiczne, np. prasy hartownicze lub procesy znane lecz ze skokowo większą niż dotychczas wydajnością, np.: koparki, kruszarki.

Na rys. 1. przedstawiono kilka przykładów elementów, ze względu na swoje wymiary zaliczanych do grupy EWg.



Rys. 1. Przykłady elementów zaliczanych do wielkogabarytowych: a) dwurzędowe łożysko baryłkowe ($d=1000\text{ mm}$), b) korpus maszynowy, c) koło zębate ($m=30$, $z=70$)

Prezentowane elementy wykonywane są różnymi technikami: obróbką skrawaniem, spawaniem lub odlewaniem, przy czym wymienionymi technikami kształtowane są ich gabaryty, a do obróbki wykończającej wykorzystywane mogą być inne rodzaje obróbek.

SPECYFIKA OBRÓBKII ELEMENTÓW O DUŻYCH WYMIARACH

W obróbce EWg obserwuje się szereg trendów charakterystycznych dla tego typu elementów. Coraz większa jest na przykład oczekiwana ich dokładność geometryczna. Przejawem wychodzenia na przeciw tego trendu jest budowa obrabiarek umożliwiających obróbkę takiego elementu z kilku stron, minimalizując w ten sposób liczbę niezbędnych mocowań. W skrajnych przypadkach możliwa jest obróbka elementu z 5 stron, co w praktyce pozwala wykonać taki element „na gotowo” w jednym mocowaniu. Taka realizacja procesu technologicznego jest bardzo istotnym krokiem prowadzącym do uzyskania dużej dokładności obróbki.

Innym obserwowanym trendem w obróbce EWg jest zastępowanie szlifowania w obróbce wykończącej dokładnym frezowaniem. Szlifowanie, stanowiące w wielu przypadkach ostatnią operację technologiczną w procesie wytwórczym, jest bardzo energochłonnym sposobem obróbki, która to cecha wynika z samej istoty tej obróbki. Zastąpienie szlifowania dokładnym frezowaniem powoduje więc zmniejszenie kosztów produkcji, jednak przy spełnieniu wymagań jakościowych dotyczących obrabianych powierzchni. W obróbce EWg wymagania stawiane strukturze geometrycznej powierzchni są najczęściej mniejsze dlatego też można je zaspokoić frezując je.

SPOSOBY OBRÓBKII I NARZĘDZIA W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH EWg

Analiza procesów produkcyjnych elementów o dużych gabarytach pozwoliła zidentyfikować w nich następujące operacje technologiczne:

- frezowanie: obróbka płaszczyzn o tworzących prosto- i krzywoliniowych,
- wytaczanie: obróbka powierzchni wewnętrznych, przede wszystkim obrotowych, lecz nie tylko,
- wiercenie, rozwiercanie, gwintowanie: obróbka otworów,
- dłutowanie, przeciąganie, inne rodzaje: obróbki występujące sporadycznie w odniesieniu do EWg.

Na podstawie powyższej analizy można stwierdzić, że liczba rodzajów operacji technologicznych jest w nich mniejsza niż w przypadku elementów o gabarytach mniejszych niż EWg.

Najczęściej realizowanymi sposobami obróbki EWg są: frezowanie, wytaczanie i wiercenie. Wszystkie one należą do grupy obróbek skrawaniem, przy czym pierwsza z nich wykorzystywana jest przede wszystkim do obróbki powierzchni płaskich, druga i trzecia – do powierzchni obrotowych. Podstawowymi narzędziami, którymi realizuje się wymienione obróbki są odpowiednio:

- frezowanie: głowice frezowe z różnego rodzaju ostrzami, frezy, np. palcowe, walcowe, kształtowe i inne,
- wytaczanie: noże wytaczaki, wytaczadła lub głowice wytaczarskie, z ostrzami różnego rodzaju, zarówno pod względem materiałowym jak i geometrycznym,
- obróbka otworów (w zależności od ich rodzaju): wiertła, rozwiertaki, gwintowniki, pogłębiacze.

Zakres zastosowania frezowania w obróbce EWg jest duży, m.in. z powodu wykorzystywania go zarówno w obróbce zgrubnej jak i wykończącej – zamiast szlifowania. Po to, aby zastąpienie jednej obróbki drugą było możliwe niezbędne są zarówno odpowiednie obrabiarki jak również narzędzia.

Wszystkie obrabiarki muszą charakteryzować się, m.in. dużą sztywnością oraz możliwością realizacji obróbki z parametrami kinematycznymi o odpowiednich wartościach, np. duże prędkości obrotowe wrzeciona, małe i dokładne przemieszczenia zespołów roboczych. Przykładem obrabiarek o dużej sztywności są obrabiarki o strukturze portalowej dlatego też coraz więcej obrabiarek do obróbki EWg ma taką strukturę. Moduły robocze współczesnych obrabiarek (wrzecienniki, suporty), usytuowane w takiej strukturze mają

zazwyczaj duże możliwości ruchowe, co łącznie powoduje zaspokojenie wspomnianych wyżej potrzeb na wysokim, satysfakcjonującym poziomie.

Inną niezbędną cechą, stanowiącą o innowacyjności obrabiarek, jest zdolność do automatycznego korygowania położenia ostrza skrawającego względem obrabianej powierzchni. Ze względu na dokładność obróbki – zwłaszcza EWg, jest to cecha bardzo istotna. Zużycie ostrza powoduje bowiem zmianę wymiaru obrabianej powierzchni, przy czym w przypadku powierzchni wewnętrznych wymiar zmniejsza się, natomiast podczas obróbki powierzchni zewnętrznych – powiększa się. Możliwość automatycznego korygowania zmiany względnego położenia ostrza, wynikającej z jego zużycia, to jednocześnie czynnik zwiększający ekonomiczną trwałość ostrza – stan narzędzia (ostrza), wynikający z postępującego procesu zużywania narzędzia (ostrza), nie warunkuje bowiem jego wyłączenia z użytkowania. Decydować o tym będzie czas osiągnięcia granicznej wartości wielkości przyjętej jako miara zużycia, a jest on zazwyczaj większy.

Narzędzia realizujące dokładne frezowanie także powinny charakteryzować się odpowiednimi cechami, wśród których jako najistotniejsze należy uznać:

- trwałość ostrza – zwiększona w porównaniu do narzędzi używanych w obróbce małych elementów (jednym narzędziem – bez ostrzenia – należy obrobić dużą powierzchnię),
- możliwość obróbki z dużymi wartościami parametrów technologicznych.

Powyższe cechy narzędzi uzyskuje się doskonaląc ich cechy materiałowe. Realizuje się to poprzez pokrywanie ostrzy skrawających powłokami wykonanymi najczęściej z tworzyw należących do grupy ceramiki technicznej. Używa się do tego celu: azotków, borków, węglików takich pierwiastków jak: tytan, krzem, cyrkon, wolfram oraz ich różne kompozycje. Coraz częściej ostrza narzędziowe pokrywa się powłokami z grupy DLC (*Diamond Like Carbon*). Współczynnik tarcia takich powłok o materiał obrabiany jest znacząco mniejszy niż materiałów tradycyjnych, co powoduje, że opory skrawania są mniejsze i tym samym temperatura w strefie skrawania jest także mniejsza. Te nakładające się nawzajem zjawiska powodują mniejszą intensywność procesu zużywania i w efekcie – większą trwałość narzędzia.

Wytaczanie, podobnie jak frezowanie stanowi najczęściej ostatnią operację danej powierzchni w procesie obróbki EWg. Narzędzia używane do wytaczania powierzchni obrotowych w elementach wielkogabarytowych powinny charakteryzować się podobnymi cechami jak narzędzia do frezowania z tych samych powodów jak one. W przypadku standardowych narzędzi do wytaczania (wytaczadeł, np. rys. 2, głowic wytaczarskich) występuje dodatkowe ograniczenie wymiaru obrabianego otworu. Ze względu na sztywność takiego narzędzia wytaczaniem obrabia się otwory o średnicach nie większych niż 1000 mm wykorzystując do tego celu narzędzia standardowe. W przypadku konieczności obróbki większego otworu zachodzi potrzeba zastosowania narzędzia specjalnego, co zazwyczaj generuje duże koszty.



Rys. 2. Standardowe wytaczadło z aluminiowym korpusem o zakresie wytaczanych średnic: 100÷1025 mm; dokładność nastawy: 0,01 mm na średnicę, maksymalne dopuszczalne obroty : 2.500 min⁻¹

Współczesne obrabiarki, także te do obróbki elementów o dużych gabarytach, wyposażone są zazwyczaj w magazyny narzędzi, zawierające nawet do kilkuset różnych narzędzi, automatycznie wybieranych i wymienianych podczas obróbki. W takim systemie narzędzia usytuowane są w specjalnych oprawkach lub uchwytach zapewniających szybkość, trwałość i dokładną jego wymianę. Ze względu na dokładność obróbki istotne jest użycie właściwej oprawki, gdyż inne są one do obróbki kształtującej (zgrubnej), inne – do obróbki wykończającej. Stosowanie oprawek stwarza potrzebę istnienia w strukturze zakładu produkcyjnego narzędziowni, w której narzędzia są nie tylko ostrzone lecz przede wszystkim dokładnie ustawiane.

ASPEKTY MONTAŻOWE W PRODUKCJI DUŻYCH ELEMENTÓW

W przypadku elementów o dużych gabarytach demontaż w celach remontowych i powtórny montaż jest ze względów oczywistych trudny. Po to aby tych trudności uniknąć lub minimalizować je, o ile jest to możliwe obróbki dokonuje się bez demontażu – podczas użytkowania. Do tego celu służą obrabiarki modułowe, które coraz częściej wykorzystywane są w obróbce skrawaniem, zwłaszcza EWg [2, 7, 9]. Jako przykłady stosowania takiej obróbki można przytoczyć obróbkę elementów podporowych obrotowych pieców cementowniczych lub młynów obrotowych.

Jest to jednak reakcja na skutki procesu zużycia, a wiadomo, że profilaktyka jest lepsza niż terapia. Aby opóźnić wystąpienie stanu powodującego konieczność dokonania napraw podejmuje się działania o różnym charakterze. Jednym z nich jest zwiększenie dokładności obróbki obrabianych elementów. W ten sposób można w bardzo znaczący sposób zwiększyć okres poprawnego działania maszyny, w której strukturalnie taki element występuje. Reprezentatywnym przykładem potwierdzającym powyższe stwierdzenie jest przekładnia obiegowa występująca w turbinie wiatrowej. Dokładność usytuowania i rozstawu osi kół zębatach determinuje jej trwałość, gdyż niewielkie nawet odchyłki, np. współosiowości otworów pod łożyska przy dużych wymiarach wywołują duże przemieszczenia elementów i tym samym gorsze warunki współpracy zębów. W konsekwencji prowadzi to do intensyfikacji procesu zużycia i konieczności remontu. Przekładnia o gabarytach rzędu tysięcy milimetrów usytuowana jest na dużej wysokości na maszynie w związku z czym jej demontaż jest już operacją trudną i kosztowną.

ASPEKTY EKONOMICZNE PRODUKCJI EWg

W przypadku elementów o gabarytach nie kwalifikujących je jako elementy wielkogabarytowe typową obróbką wykończającą, zapewniającą oczekiwaną dokładność, jest szlifowanie. Ze względów technologicznych, w przypadku EWg szlifowanie zastępuje się dokładnym frezowaniem, za pomocą którego można uzyskać parametry struktury geometrycznej powierzchni porównywalne ze szlifowaniem, a nawet lepsze. Zastąpienie szlifowania frezowaniem wywołuje skutki w sferze ekonomicznej procesu produkcyjnego. Szlifowanie jest bowiem najbardziej energochłonnym rodzajem obróbki skrawaniem. Dowodzą tego rezultaty licznych badań, np. [1, 8], a uzasadnić słuszność tego stwierdzenia można w prosty sposób – obserwując te dwa rodzaje obróbki. Podczas szlifowania przedmiot nagrzewa się do wyższych temperatur (przy takich samych głębokościach skrawania), a wiadomo, że ciepło dyssypuje do otoczenia stanowiąc część włożonej energii, która jest bezpowrotnie tracona. Energetycznie, szlifowanie jest więc obróbką mniej efektywną niż frezowanie, co jest równoznaczne z tym, że ekonomicznie jest to także obróbka gorsza.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone rozważania wykazały jednoznacznie, że w przypadku elementów wielkogabarytowych w analizach ekonomicznych należy uwzględniać także koszty – najczęściej duże – demontażu i montażu po naprawie. Przede wszystkim ze względów ekonomicznych należy przestrzegać zasady, że nie zawsze i nie wszystkie wymiary należy wykonywać z dużą dokładnością. Dokładność bowiem kosztuje, a technicznie nieuzasadnione zwiększanie dokładności obróbki powoduje znaczny wzrost kosztów jednostkowych produktu.

W kalkulacjach ekonomicznych należy jednak obligatoryjnie uwzględnić również racje techniczne. Ich pominięcie mogłoby bowiem doprowadzić do absurdalnych sytuacji.

LITERATURA

1. Kwapisz L., Przybył R., Frącki W.: Obrabiarki do skrawania metali. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999.
2. Musiał J., Styp-Rekowski M.: Technologiczne uwarunkowania modułowej budowy obrabiarek skrawających. *Technologia i Automatyzacja Montażu* nr 2/2006, s. 26-29.
3. Norma PN-EN 20286-1: 1996. Układ tolerancji i pasowań ISO. Podstawy tolerancji, odchyłek i pasowań.
4. Norma PN-EN 20286-2: 1996. Układ tolerancji i pasowań ISO. Tablice klas tolerancji normalnych oraz odchyłek granicznych otworów i wałków.
5. Norma PN-84/M-02108. Tolerancje i pasowania. Tolerancje wymiarów powyżej 10000 mm do 40000 mm.
6. Norma PN-91/M-02106. Podstawy zamienności. Układ tolerancji i pasowań. Pola tolerancji i odchyłki graniczne wymiarów powyżej 3150 do 10000 mm.
7. Pogodin A., Churtasienko A.W.: Modułowe technologie w obróbce wielkogabarytowych elementów w procesie eksploatacji bez ich demontażu. *Technologia i Automatyzacja Montażu* nr 1/2003, s.30-33.
8. Robert Polasik: Metoda doboru warunków szlifowania stali na sucho. Rozprawa doktorska, UTP Wydział Mechaniczny, Bydgoszcz 2007.
9. Rychlik K., Jastrzębski M.: Problemy technologiczne obróbki otworów w wielkogabarytowych przedmiotach – modułowe obrabiarki przenośne. *Technologia i Automatyzacja Montażu* nr 2/2009, s. 28-31.

ORGANIZATIONAL AND ECONOMICAL CONDITIONING OF PRODUCTION PROCESS OF LARGE-SIZE ELEMENTS

Abstract. *The tendency to intensification of technological processes is one of causes of enlarged interest with a large-size elements observed in last years. Next, this fact this is the reason of undertaken works aiming to production processes optimizing in all their phases. Realized technological processes use the well-known techniques and method of processing, however in relation to large-size elements some specific features are visible. In presented paper these special features were described and discussed. Moreover, in introduced analysis the factor of costs of production was also considered was. – It is also different than in production processes of small dimensions elements.*

Konrad KLUSEK
Kazimierz RYCHLIK
Jacek TYLEND
Instytutu Mechanizacji Budownictwa
i Górnictwa Skalnego
Warszawa

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH OKUĆ BUDOWLANYCH

TESTING THE MECHANICAL PROPERTIES OF BUILDING HARDWARE

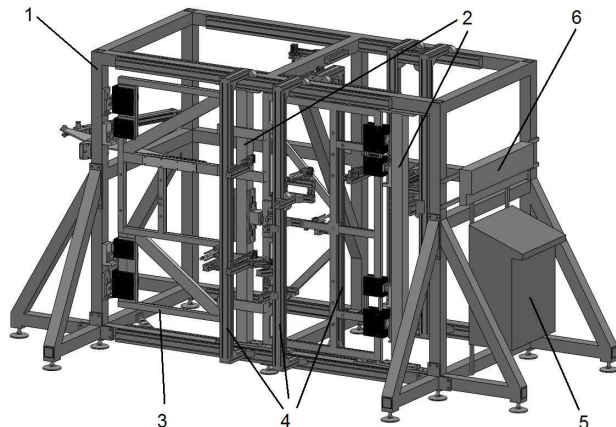
Podstawowym dokumentem regulującym zagadnienia związane z wyrobami budowlanymi w krajach należących do UE jest Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich 89/106/EWG wraz ze zmianami ujętymi w Dyrektywie 93/68/EWG. Zgodnie z dyrektywą wyrób budowlany może być stosowany w obiektach pod warunkiem posiadania znaku CE, który wskazuje na zgodność produktu ze stosowną europejską specyfikacją techniczną, do których należą krajowe normy zharmonizowane oraz europejskie aprobaty techniczne. Europejska specyfikacja techniczna określa min. klasy właściwości użytkowych i wymagań technicznych, oraz sposoby określania właściwości wyrobu budowlanego w oparciu o wspólne europejskie metody badań. Przed umieszczeniem swoich produktów na rynku europejskim producent powinien mieć pewność, że jego produkt został wykonany w sposób spełniający wymogi dyrektywy „wyroby budowlane”. W tym celu producent jest zobowiązany do przeprowadzenia oceny zgodności wyrobu z dyrektywą, co wiąże się z przeprowadzeniem szeregu badań opisanych w normach zharmonizowanych. Celem tych badań jest zapewnienie by wyroby budowlane stosowane na terenie UE były bezpieczne dla ludzi, zwierząt oraz mienia, miały odpowiednie cechy użytkowe i spełniały wymagania podstawowe, a dzięki ujednoliconej klasyfikacji w ramach wspólnoty pozwalały na swobodny obrót wyrobami we wszystkich krajach członkowskich.

Obowiązek przeprowadzenia szerokiego zakresu badań produktu w celu uzyskania przez niego znaku CE zmusza producenta do inwestowania w specjalistyczne urządzenia badawcze, które byłyby wykorzystane jedynie przy uruchomieniu nowej produkcji. Wychodząc naprzeciw potrzebom producentów okuć budowlanych w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie opracowano, na podstawie wytycznych zawartych w odpowiednich normach, zestaw stanowisk do badania właściwości mechanicznych okuć budowlanych. W procesie ich projektowania duży nacisk został położony na możliwość wykonania badań na jak największej liczbie produktów z danej klasy, różniących się od siebie budową, wielkością czy sposobem mocowania.

Przykładem takiego urządzenia jest stanowisko do badania trwałości i wytrzymałości okuć budowlanych, którego schemat konstrukcyjny przedstawiono na rys.1. Zostało ono skonstruowane do przeprowadzania badań mechanicznych okuć budowlanych typu zawiasy [1], zamki mechaniczne [2], zamknięcia przeciwpancerne [4] oraz zamknięcia awaryjne [3]. Ze względu na podobieństwa w cyklach badawczych wymaganych przez odpowiednie normy dotyczące badanych okuć powstało jedno stanowisko badawcze umożliwiające wykonanie łącznie trzynastu badań mechanicznych okuć budowlanych. Każde badanie wymaga wybrania jednej z sześciu konfiguracji stanowiska.

Głównym elementem jest rama spawana rys.1. poz. 1 wykonana z profili zamkniętych, której zadaniem jest przenoszenie obciążeń powstałych podczas prac badawczych. Do ramy są zamocowane specjalne prowadnice umożliwiające precyzyjne ustawienie przestawnych belek wspornikowych 2. Służą one do mocowania na stanowisku drzwi próbnych 3 o różnej szerokości w taki sposób, by zamki i zamknięcia przeciwpancerne i awaryjne zamocowane na drzwiach mogły właściwie ze sobą współpracować. Do ramy zamocowano również aluminiowe profile prowadzące, do których mocowane są z kolei ramki przestawne z siłownikami pneumatycznymi 4. Ze względu na konieczność przykładania sił o różnych wartościach w wielu miejscach jednocześnie, ramki aluminiowe zapewniają możliwość szybkiego przeobrażenia położenia siłowników pneumatycznych.

Zespół napędu i sterowania pneumatycznego zbudowany jest z aparatury i siłowników firmy FESTO. Elementy napędu i sterowania pneumatycznego są zamontowane na płytach montażowych przytwierdzonych do ramy stanowiska, a siłowniki są umieszczone na wspornikach wykonanych z profili aluminiowych. Zasilanie powietrzem układu odbywa się przez zespół przygotowania powietrza w skład którego wchodzi filtr sprężonego powietrza z zaworem redukcyjnym, zawory załączający start, i przełącznik pneumo - elektryczny. Ciśnienie pracy układu pneumatycznego wynosi 0,6 MPa.



Rys. 1. Stanowisko do badania trwałości i wytrzymałości okuć budowlanych – schemat konstrukcyjny
1 – rama główna; 2 – zespół przestawnych belek wspornikowych; 3 – drzwi próbne; 4 – ramki przestawne z siłownikami pneumatycznymi; 5 – szafa sterownicza; 6 – wyspa zaworowa sterowania pneumatycznego.

W przypadku spadku ciśnienia poniżej 0,55 MPa nastąpi wyłączenie pracy układu pneumatycznego przez przełącznik pneumo - elektryczny. Wznowienie pracy układu pneumatycznego będzie możliwe po ponownym osiągnięciu wartości ciśnienia powyżej 0,6 MPa. Filtr sprężonego powietrza ma za zadanie usuwać z czynnika roboczego zanieczyszczenia stałe i ciekłe. W układzie napędu i sterowania pneumatycznego połączenia pomiędzy aparatami, siłownikami pneumatycznymi zrealizowane są za pomocą przewodów elastycznych z tworzywa sztucznego. Każdy siłownik posiada możliwość regulacji siły za pomocą zaworu redukcyjnego. Zawory zwrotno - dławiące zapewniają możliwość regulacji szybkości pracy siłowników.

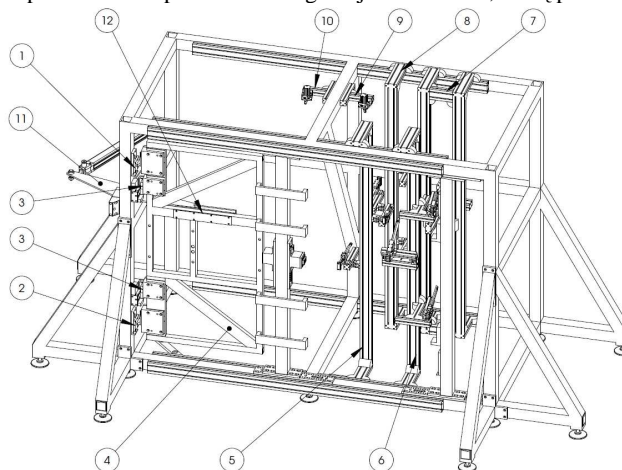
Zawory i rozdzielacze pneumatyczne wraz ze sterownikiem PLC są elementami wyspy zaworowej, zamocowanej na prawej ścianie stanowiska (6 – rys.1). W celu łatwej zmiany konfiguracji stanowiska, przewody pneumatyczne prowadzące bezpośrednio do wyspy zaworowej zostały wyposażone w złącza wtykowe samoodcinające (3 z rys.4). Zaletą złączy jest możliwość odłączania i przyłączania siłowników do stanowiska, bez konieczności ponownego prowadzenia przewodów od siłownika do wyspy zaworowej w sposób uniemożliwiający kolizję. Każdy przewód i złącze wtykowe samoodcinające są oznaczone zgodnie z symboliką zawartą na schemacie pneumatycznym stanowiska. Zasada ta obowiązuje również w odniesieniu do przyłączy elektrycznych dla czujników położenia tłoczek siłowników.

Zespół napędu i sterowania pneumatycznego jest samodzielnym zespołem bezobsługowym, który wymaga jedynie kontroli poprawności przyłączenia przewodów pneumatycznych do wyspy i złącz wtykowych oraz kontroli zanieczyszczenia filtra.

Instalacja elektryczna stanowiska wykonana jest na napięcie sieci jednofazowej 230 VAC 50Hz (sieć z trzema przewodami L1, N, PE). Główne źródło zasilania dla elementów wyposażenia stanowi zasilacz FESTO o nominalnej wartości napięcia wyjściowego DC wynoszącej 24 V przy wydajności prądowej do 10 A. W szafie sterowniczej znajduje się wyłącznik różnicowoprądowy o czułości 30 mA stanowiący drugi stopień ochrony przeciwporażeniowej oraz wyłącznik nadprądowy. Dodatkowe gniazdo serwisowe w szafie

sterowniczej umożliwiające podłączenie np. komputera przenośnego w celach diagnostycznych również zabezpieczone jest wyłącznikiem nadprądowym.

Badania zawias są przeprowadzane zgodnie z wytycznymi z normy PN-EN 1935:2003 + AC:2005 [1] i polegają na odwzorowaniu warunków pracy badanego okucia. Zadaniem zawias jest utrzymywanie elementu o określonej masie w pionie przy zapewnieniu jego możliwości obrotu wokół osi zawias o kąt określony przez producenta. Badania zawias wykonywane na stanowisku polegają na odpowiednim obciążeniu drzwi próbnych, do których mocowane są zawiasy, a następnie na ich cyklicznym otwieraniu i zamykaniu. Do badania zawias jest przeznaczona pierwsza konfiguracja stanowiska, którą przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko w konfiguracji pierwszej:

1 – badane okucie, 2 – okucie pomocnicze, 3 – zawiasy zabezpieczające, 4 – drzwi próbne, 5 – ramka III, 6 – ramka I, 7 – ramka IV, 8 – ramka II, 9 – siłownik zderzakowy prawy, 10 – siłownik zderzakowy lewy, 11 – mechanizm dźwigniowy, 12 – prowadnica łożyska.

Przed badaniami każdorazowo wykonywany jest pomiar odległości pomiędzy stałymi bazami pomiarowymi znajdującymi się w ramie stanowiska badawczego, oraz ruchomą bazą pomiarową znajdującą się na drzwiach próbnych. Po badaniach pomiar wykonywany jest ponownie i na podstawie dopuszczalnych przemieszczeń na obu kierunkach pomiarowych dokonywana jest ocena poprawności działania okucia.

Stanowisko umożliwia wykonanie czterech badań zawias na wszystkich czterech klasach zawias:

1. badanie wstępne,
2. badanie wytrzymałości na obciążenia statyczne,
3. badanie podczas próby przeciążenia,
4. badanie trwałości.

Zgodnie z wymaganiami normatywnymi badania przeprowadza się na dwóch zawiasach, z czego badaną jest zawiasa górna. Masa elementu próbnego musi być w całości utrzymywana jedynie przez badaną zawiasę. Odległość pomiędzy środkami badanej zawiasy a dolnej zawiasy powinna wynosić $1540 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Osie obrotu zawias powinny być pionowe, z tolerancją w granicach $0,1^\circ$ oraz współliniowe z tolerancją w granicach 2 mm . Dolna zawiasa powinna być umiejscowiona tak, aby pozwoliła na swobodny ruch pionowy, w tym celu, aby każde zużycie lub odkształcenie w obrębie badanej zawiasy wywoływało przemieszczanie się elementu próbnego (drzwi próbnych) osadzonego na zawiasach. Moment tarcia na dolnej zawiasie powinien być mniejszy niż 1 Nm .

Badania są przeprowadzane wg sposobu postępowania zawartego w wymaganiach normatywnych, który zakłada przeprowadzenie badań 1-3 na tej samej zawiasie, oraz badania 4 na nowej, wcześniej nie

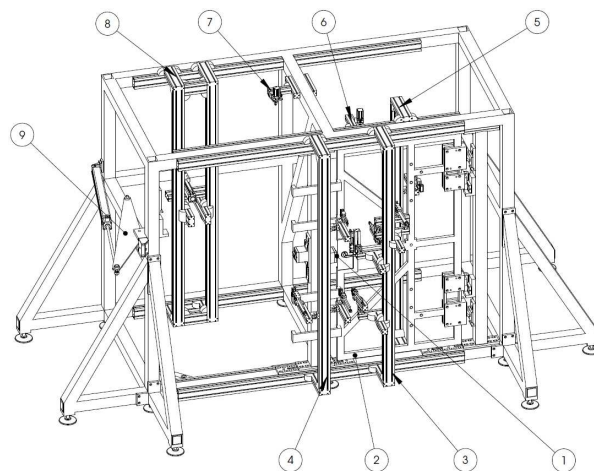
badanej zawiasie. Jeżeli wynik któregośkolwiek badania poprzedzającego jest negatywny, uznaje się że badana zawiasa nie spełnia wymagań.

Badania 1-3 polegają na sprawdzeniu stanu zawiasy po wykonaniu 20 cykli w przypadku badania pierwszego i drugiego oraz 6 cykli w przypadku badania trzeciego. W badaniu pierwszym masa drzwi próbnych jest właściwa dla danej klasy zawiasy, w badaniu drugim zostaje podwojona, a w badaniu trzecim potrójona. Badanie czwarte jest badaniem zmęczeniowym, gdzie w zależności od klasy zawiasy wykonywane jest od 10 000 cykli do 200 000 cykli.

Jeden cykl próbny składa się z otwarcia drzwi o mniejszy z kątów $90^\circ \pm 2,5^\circ$ lub zalecony przez producenta, a następnie zamknięcia drzwi próbnych – całość w czasie 6 sekund.

Drzwi próbne są napędzane siłownikiem pneumatycznym o średnicy tłoka $\varnothing 63$. Wysuwanie siłownika powoduje ruch mechanizmu dźwigniowego, który wymusza ruch łożyska po prowadnicy zamocowanej do drzwi próbnych, tym samym wymuszając otwieranie się drzwi próbnych. Kąt otwarcia drzwi próbnych jest zależny od wysunięcia siłownika otwierającego, dzięki czemu jest on ustawiany za pomocą czujnika kontaktronowego zamocowanego na tłoczysku siłownika. Po osiągnięciu wymaganego kąta otwarcia następuje zatrzymanie ruchu drzwi próbnych za pomocą układu luzownika, który został zamocowany na siłowniku otwierającym. Następnie układ wraca do pozycji początkowej, w której drzwi próbne dotykają zderzaków stanowiska badawczego, co jest wykrywane za pomocą czujnika indukcyjnego. Sterownik PLC pozwala na ustawienie wymaganej liczby cykli, zlicza cykle wykonane oraz zapewnia możliwość zatrzymania stanowiska badawczego po upływie określonej liczby cykli bez przerywania badania, np. w celu przesmarowania zawias.

Badania zamków są przeprowadzane zgodnie z wytycznymi z normy PN-EN 12209:2005 + AC:2006 [2], i polegają na odwzorowaniu pracy badanego okucia w warunkach rzeczywistych. Stanowisko umożliwia przeprowadzenie badań trwałości mechanizmu zapadki zamków mechanicznych w dwóch wariantach. Badanie polega na cyklicznym otwieraniu drzwi próbnych o założony kąt, a następnie na zamykaniu ich poprzez zatrzasknięcie przy wykorzystaniu stałej, ściśle określonej siły. Do badań zamków stanowisko powinno zostać przebudowane do konfiguracji drugiej (rys.3).



Rys .3. Konfiguracja druga:

1 – badany zamek, 2 – drzwi próbne, 3 – ramka I, 4 – ramka II, 5 – ramka III, 6 – siłownik zderzakowy prawy, 7 – siłownik zderzakowy lewy, 8 – ramka IV, 9 – mechanizm dźwigniowy.

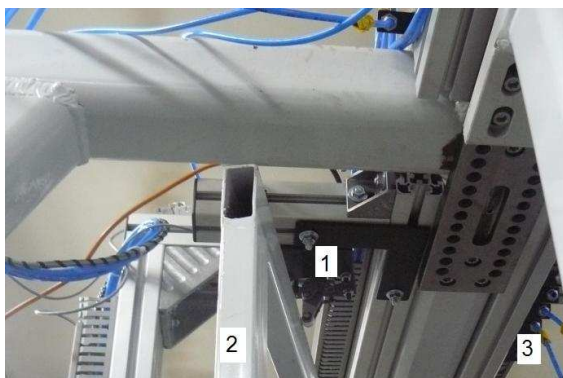
W zależności od klasy badanego okucia stosuje się różne siły nacisku na klamkę od 5 do 50N, oraz siły zamykające od 7 do 50N. W drugim wariantcie badania dodatkowo sprawdzane jest, czy po zastosowaniu

siły naciskowej prostopadłej do powierzchni drzwi próbnych zapadka zamka zadziała prawidłowo i pozwoli na otwarcie drzwi próbnych. Siła nacisku zależy od klasy badanego okucia i wynosi od 10 do 120 N. Ilość cykli w obu przypadkach wynosi od 50 000 do 200 000 cykli, wykonywanych z prędkością 10 cykli na minutę. Każdy siłownik wykorzystany w badaniu jest zasilany oddzielną drogą i ma programowalną wartość ciśnienia, co przy danej średnicy tłoka pozwala na zastosowanie sił określonych w wymaganiach normatywnych.

Norma szczegółowo podaje nie tylko kierunki i wartości, ale również i punkty przyłożenia siły zarówno na drzwiach próbnych jak i na kłamce badanego zamka.

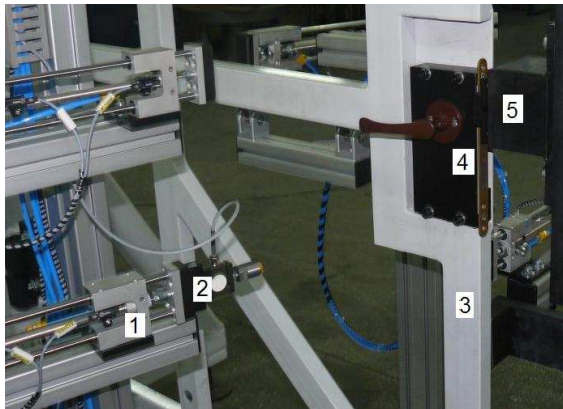
Każdy cykl składa się z naciśnięcia kłamki z określoną siłą, następnie otwarcia drzwi próbnych o zadanej masie o kąt 10° , a po osiągnięciu wymaganej pozycji na trzaśnięciu drzwiami w taki sposób, by siła zamknięcia była zgodna z wymaganiami normatywnymi. W celu spełnienia tego wymagania zastosowano specjalny układ, który został przedstawiony na rys. 4 i rys. 5.

Układ ten pozwala na zatrzaśnięcie drzwi próbnych z wymaganą siłą, która wynika jedynie z dynamiki ruchu drzwi. Po otwarciu drzwi próbnych o założony kąt zostaje wysunięty siłownik rolkowy (1 z rys.4), który blokuje zamknięcie drzwi. Następnie zostaje uruchomiony siłownik zatraskujący (1 z rys.5), który został wyposażony w czujnik siły (2 z rys.5).



Rys. 4. Mechanizm zatrzymywania drzwi próbnych.

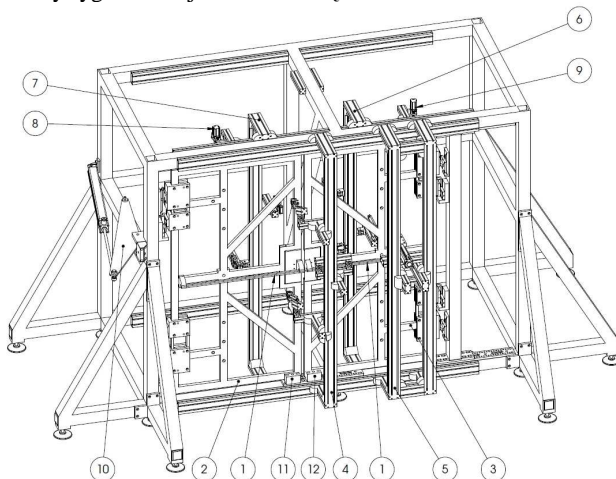
1 – siłownik rolkowy, 2 – drzwi próbne, 3 – złącza wtykowe samoodcinające do podłączania siłowników



Rys. 5. Pomiar siły zamykania drzwi próbnych: 1 – siłownik zatraskujący, 2 – dynamometr, 3 – drzwi próbne, 4 – badana zapadka zamka, 5 – zaczep współpracujący z zapadką zamka

Narastające ciśnienie w siłowniku powoduje wzrost siły zatraskiwania aż do osiągnięcia wymaganej wartości, którą sygnalizuje dynamometr. W momencie osiągnięcia wymaganej wartości siłownik rolkowy gwałtownie się wycofuje pozwalając na uderzenie zapadki zamka (4 z rys.5.) we współpracujący z nią zaczep (5 z rys. 5). Opisany układ jest używany również podczas badań zamknięć przeciwpanicznych i awaryjnych, a bliźniaczy układ pozwala również na regulację siły zatraskiwania drugiego skrzydła drzwiowego (rys.6).

Zatrzaśnięcie drzwi próbnych jest wykrywane przez czujnik. W przypadku nie wykrycia zatrzaśnięcia drzwi próbnych po czasie 6 sekund (czas trwania 1 cyklu) na ekranie operatora wyświetlany jest błąd, a badana zapadka uznana jest za niespełniającą wymagań normatywnych. Do rozpoczęcia nowego cyklu każdorazowo jest potrzebny sygnał z czujnika zatrzaśnięcia drzwi.



Rys. 6. Konfiguracja szóstą: 1 – badane okucia, 2,3 – drzwi próbne dwuskrzydłowe, 4 – ramka I, 5 – ramka IV,6 – ramka II, 7 – ramka III, 8 – siłownik zderzakowy lewy, 9 – siłownik zderzakowy prawy, 10 – mechanizm dźwigniowy, 11,12 – zderzaki do mocowania czujników zamknięcia.

Badania zamknięć przeciwpanicznych są przeprowadzane zgodnie z wytycznymi z normy PN-EN 1125:2009 [4], a badania zamknięć awaryjnych zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 179:2009 [3]. W obu przypadkach wykonywane są badania zwolnienia, badania ponownego zaczeplenia oraz badania trwałości. W przypadku zamknięć przeciwpanicznych stosowane są dodatkowo badania pod naciskiem. Stanowisko jest przystosowane do badania zamknięć przeciwpanicznych i awaryjnych montowanych zarówno na drzwiach jednoskrzydłowych jak i dwuskrzydłowych.

Przebieg cyklu badawczego zależy ilości skrzydeł drzwi próbnych. W przypadku badań zwolnienia cykl polega na określeniu, czy przy użyciu wymaganej siły zamknięcie pozwoli na ich otwarcie. Cykl badawczy zwolnienia pod naciskiem polega na określeniu, czy drzwi próbne obciążone siłą 1000N prostopadłą do czoła będą mogły być zwolnione określoną siłą przykładaną do zamknięcia. Cykle badań trwałości polegają na otwieraniu i zamykaniu poprzez trzaśnięcie drzwi próbnych. W przypadku drzwi próbnych dwuskrzydłowych należy dodatkowo dbać, by odpowiednie skrzydła otwierały się i zamykały we właściwej kolejności.

Badania zamknięć przeciwpanicznych i awaryjnych mają identyczny przebieg, różnią się jedynie miejscem i wartościami przykładanych sił. W przypadku zamknięć awaryjnych siła uruchamiająca klamkę wynosi 70N, a siła uruchamiająca płytkę naciskową 150N. W przypadku zamknięć przeciwpanicznych pręt uruchamiany jest w trzech miejscach siłą 80N. Siła zamykająca drzwi próbne wynosi 50N. Masa jednego skrzydła drzwi próbnych może wynosić 100 lub 200 kg w zależności od klasy badanego okucia. Badania trwałościowe polegają na wykonaniu odpowiedniego cyklu zależnego od klasy badanego okucia 100 000

lub 200 000 razy, z prędkością 6 cykli na minutę. Podobnie jak w badaniach zamków wykrywane jest zatrzaśnięcie drzwi próbnych w celu rozpoczęcia następnego cyklu badawczego. Na rys. 6 pokazano stanowisko w konfiguracji szóstej, która pozwala na badanie zamknięć przeciwpanicznych i awaryjnych zamocowanych na drzwiach próbnych dwuskrzydłowych.

Stanowisko badawcze zostało tak skonstruowane, by maksymalnie zabezpieczyć operatora przed skutkiem zdarzeń niepożądanych. Stanowisko wykonuje badania trwałościowe, które wymagają jego ciągłej pracy przez 334 godziny, co oznacza konieczność maksymalnego zautomatyzowania badania i ograniczenia konieczności ciągłego nadzoru operatora. Ze względu na dużą masę drzwi próbnych, w ekstremalnym przypadku dochodzącą do 480kg, na ramie stanowiska zamontowano dodatkowe zawiasy zabezpieczające, których zadaniem jest uniemożliwienie upadku drzwi po zerwaniu zawias. Stan zerwania zawias jest monitorowany przez dwa czujniki odpowiedzialne za oba skrzydła drzwiowe, po zerwaniu zawias uruchamia się stan alarmowy. Każde niezazębienie się zamknięcia lub zamka ze współpracującym zaczepem jest wykrywane, a po przekroczeniu czasu trwania pojedynczego cyklu uruchomiony jest stan alarmowy. W celu zachowania stałości sił używanych w badaniu w układzie sterowania pneumatycznego zastosowano przekładnik pneumo - elektryczny wykrywający spadek ciśnienia poniżej odpowiedniej granicy. Wszystkie stany alarmowe powodują natychmiastowe odcięcie zasilania pneumatycznego oraz uruchomienie sygnałów dźwiękowego i świetlnego.

PODSUMOWANIE

1. Badania walidacyjne stanowiska wykazały, że jego właściwości użytkowe zapewniają możliwość poprawnego i bezpiecznego wykonywania badań decydujących o bezpieczeństwie wyrobów budowlanych zgodnie z wymaganiami przytaczanymi w normach.
2. Skonstruowane stanowisko charakteryzuje się dużą uniwersalnością pozwalającą na przeprowadzenie badań okuć budowlanych wszystkich klas opisanych w normach.
3. Usługi badawcze związane z oceną cech wytrzymałościowych i użytkowych okuć budowlanych mogą być realizowane przez nowo uruchomione laboratorium badawcze zlokalizowane w siedzibie IMBiGS w Warszawie.

LITERATURA

1. PN-EN 1935:2003 + AC:2005 „Okucia budowlane. Zawiasy jednoosiowe. Wymagania i metody badań.”
2. PN-EN 12209:2005 + AC:2006. „Okucia budowlane. Zamki. Zamki mechaniczne wraz z zaczepami. Wymagania i metody badań.”
3. PN-EN 179:2009 „Okucia budowlane. Zamknięcia awaryjne do wyjść uruchamiane klamką lub płytka naciskową, przeznaczone do stosowania na drogach ewakuacyjnych.. Wymagania i metody badań.”
4. PN-EN 1125:2009. „Okucia budowlane. Zamknięcia przeciwpaniczne uruchamiane prętem poziomym, przeznaczone do stosowania na drogach ewakuacyjnych. Wymagania i metody badań.”
5. Wzór przemysłowy WP-15272 „Stanowisko badawcze okuć budowlanych”
6. Łabęda M., Łunarski J., Rychlik K., Tyłenda J.: Półautomatyczne testy bezpieczeństwa urządzeń rekreacyjnych. Technologia i Automatyzacja Montażu nr 1/2010 s.16.
7. Łabęda M., Łunarski J., Rychlik K., Tyłenda J.: Badania właściwości wytrzymałościowych urządzeń sportowo-rekreacyjnych. Technologia i Automatyzacja Montażu nr 2/2010 s.52.

TESTING THE MECHANICAL PROPERTIES OF BUILDING HARDWARE

Abstract. *New building hardware which is put on European market, should meet defined safety requirements. This article presents the constructional solution of automatic device for testing the mechanical properties of building hardware such as single-axis hinges, locks, panic exit devices and emergency exit devices.*

Aleksey MAKAROV
Leonid A. RABINOVICH
Wołgogradzki Państwowy
Uniwersytet Techniczny
Wołgograd, Rosja

ATOMATYZACJA DOZOWANIA MATERIAŁÓW SYPKICH DO MAŁO SZTYWNYCH OPAKOWAŃ

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСФАСОВКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В НЕЖЕСТКУЮ ТАРУ

Разработаны рычажно-шарнирные захватные устройства для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков при наполнении сыпучим материалом с последующей возможностью их прошивки. Произведенные расчеты и моделирование динамики движения устройств подтверждают их работоспособность. Предложена схема комплексной автоматизации процесса расфасовки сыпучих материалов в мешки.

Сыпучие материалы естественного происхождения или созданные искусственно получили широкое применение в различных отраслях промышленности (пищевой, химической, перерабатывающей и т.д.), в строительстве, сельском хозяйстве, а также в повседневной жизни человека. Очевидно, что существует ряд предприятий, которые занимаются расфасовкой сыпучих материалов. Чаще всего расфасовка осуществляется в нежесткие виды тары: мешки, пакеты, эластичную пленку и т.д. Анализ процессов расфасовки сыпучих продуктов в мешки из различных материалов в объемах от 5 до 50 килограмм показал, что они проходят с применением ручного труда. Так, захват расфасовочной тары, ее раскрытие и подача под выбойный патрубок дозирующего устройства обычно выполняется вручную. Сыпучие вещества, как правило, сильно пылящие, иногда взрывоопасные и токсичные. Для человека операции расфасовки трудоемки, утомительны, часто вредны для здоровья, травмоопасны, и, поэтому, требуют автоматизации.

Для автоматического раскрытия и закрытия мешков могут быть использованы рычажно-шарнирные захватные устройства (РШЗУ), содержащие рычажно-шарнирный механизм (РШМ) и пневматический привод его перемещения [1, 2]. Для автоматизации процесса захвата мешков из стопы предлагается шестизвенное РШЗУ [3], способное самостоятельно захватить мешок, раскрыть его и подать под загрузочный патрубок (рис. 1).

Устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков содержит раму 1, смонтированную на пневмоцилиндре 2, на которой посредством подвижных шарниров 3 установлен РШМ 14, состоящий из двух криволинейных рычагов 4, планки 6, связанной со штоком 5 пневмоцилиндра 2, двух силовых миницилиндров двустороннего действия 10 с штоками 9 и дополнительной тяги 13. При этом криволинейные рычаги 4 связаны с планкой 6 подвижными шарнирами 7, а с штоками 9 – осевыми шарнирами 8. Дополнительная тяга 13 посредством осевых шарниров 12 и накладок 11 связана с основаниями миницилиндров 10. Все пальцы 15, выполняющие функции захватов, расположены соосно осям соответствующих шарниров и перпендикулярно плоскости шарнирного механизма 14 (Вид А на рис. 1).

РШМ 14 при выдвинутом штоке 5 пневмоцилиндра 2 обеспечивает расположение пальцев 15 в ряд, при этом при втянутых штоках 9 силовых миницилиндров 10 расстояние между крайними боковыми пальцами (I на рис. 1) меньше размера горловины сложенного мешка. Поэтому, если обеспечить провисание непрошитой горловины мешка (например, приподняв горловину верхнего из стопы мешков, лежащих горизонтально, с помощью вакуумных захватов), можно автоматически ввести пальцы РШЗУ в образовавшуюся открытую полость. Затем, посредством выдвигания штоков

9 силовых миницилиндров боковые пальцы устройства раздвигаются, захватывая горловину мешка с внутренней стороны и удерживая ее (рис. 2а). При втянутом штоке пневмоцилиндра 2 РШМ 14 обеспечивает расположение пальцев 15 в вершинах правильного выпуклого многоугольника (рис. 2б), тем самым раскрывая мешок для наполнения. После наполнения горловина мешка закрывается для прошивки выдвиганием штока 5 пневмоцилиндра 2.

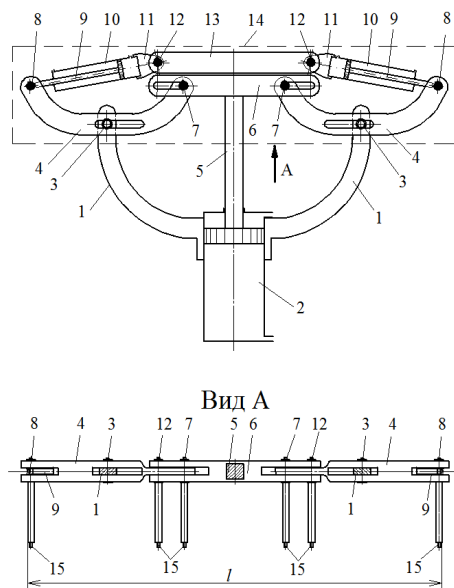


Рис. 1. Рычажно-шарнирное захватное устройство в закрытом положении

Rys. 1. Dźwigniowo-przegubowe urządzenia chwytne w położeniu zamkniętym

Данное РШЗУ может применяться на линиях расфасовки сыпучих материалов как захватное устройство (ЗУ) манипулятора, раскрывающего и подающего мешок под засыпку, а затем растягивающего его для прошивки.

Для задания размеров звеньев и других элементов РШЗУ необходимо установить максимально допустимое расстояние l между крайними пальцами ЗУ в сложенном состоянии. Для этого методами вариационного исчисления, решением задачи провисания нити, свободно подвешенной на двух опорах, получено уравнение кривой провисания нижней части горловины приоткрытого мешка [2]:

$$y = C_1 * ch \frac{x-C_2}{C_1} - \lambda, \quad (1)$$

где λ - неопределенный множитель, C_1, C_2 – произвольные постоянные интегрирования, значения которых определяются из граничных условий.

С помощью уравнения (1) можно вычислить расстояние l , на основе которого найти значения остальных параметров звеньев РШЗУ.

Поскольку в открытом положении горловина мешка, удерживаемого пальцами РШЗУ [2,3] имеет вид правильного выпуклого шестиугольника с длиной стороны R (м), сечение загрузочного патрубка, свободно помещаемого внутрь горловины мешка, имеет вид окружности радиуса $r_{пат.}$,

вписанной в этот шестиугольник. Длина горловины мешка $L_{\text{мешк}} = 6R = 2B$, где B – ширина мешка (м). Тогда максимально допустимый диаметр патрубка $D_{\text{патб}} = 2r_{\text{патб}} = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} R$. Или:

$$D_{\text{патб}} = \frac{\sqrt{3}B}{3} \text{ (м)}. \quad (2)$$

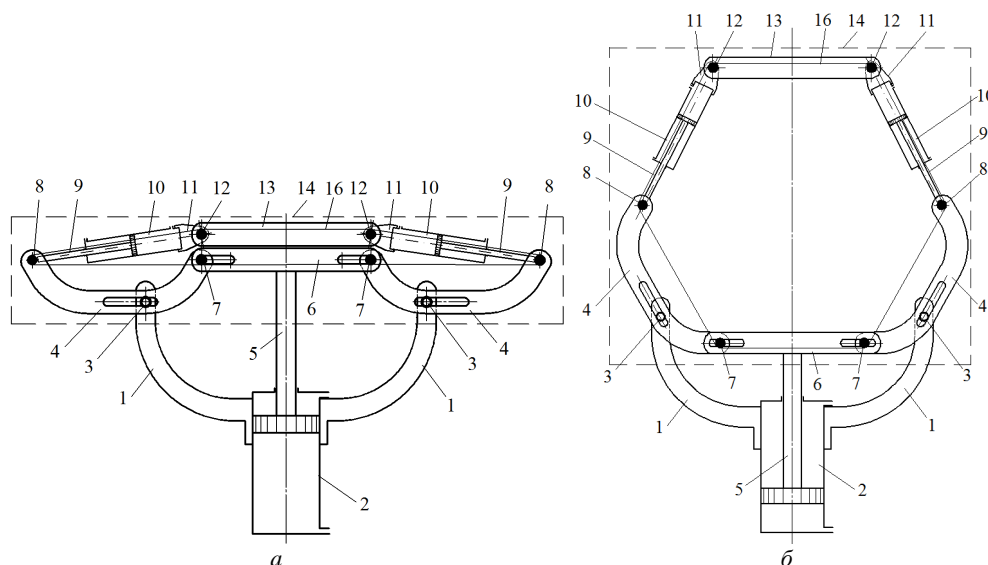


Рис. 2. Рычажно-шарнирное захватное устройство в двух положениях: а – в закрытом, мешок удерживается пальцами; б – в раскрытом, мешок открыт

Rys. 2. Dźwigniowo-przegubowe urządzenia chwytne w dwóch położeniach: a) w zamkniętym, mieszek utrzymywany jest palcami, b) w otwartym, mieszek otwarty

Определение давления загружаемого сыпучего материала на стенки мешка с использованием методов прикладной механики (элемент горловины мешка представлен в виде гибкой нити) позволило рассчитать минимальное необходимое усилие для удержания мешка в процессе его наполнения:

$$T_{\min} = \frac{0,86\rho B^4}{2L-B} \text{ (Н)}, \quad (3)$$

где L – ширина мешка (м), а ρ – насыпная плотность материала (кг/м^3). Знание минимальных усилий, достаточных для удержания мешка при его наполнении необходимо для расчета и подбора пневмоцилиндров привода РШЗУ.

С помощью программных средств проектирования произведена трехмерная визуализация механики движения РШЗУ. При соблюдении требований к точности и простоте модели визуализация является весьма наглядной демонстрацией функциональных возможностей в части механики движения РШЗУ. Проведенные расчеты и моделирование движения устройства подтверждают его работоспособность.

В [4] предложено устройство для раскрытия и надевания мешков на загрузочный патрубок, содержащее раму, внутри которой расположен стол со стопой мешков, уложенных горизонтально, над горловиной которых находятся вакуумные захваты, закрепленные на рычаге, установленном с возможностью осевого перемещения на валу посредством привода продольного перемещения. Вал

смонтирован на раме, на ней же закреплен неподвижно привод продольного перемещения рычага. На валу неподвижно установлен кронштейн и шарнирно соединенная с ним поворотная пластина. Один конец пластины связан посредством пружины с кронштейном и взаимодействует с укрепленным на рычаге упором, выполненным, например, в виде ролика, а другой конец пластины взаимодействует с боковой кромкой мешка. Нижняя часть загрузочного патрубка выполнена из двух разъемных по вертикали частей. Дальняя от вакуумного захвата часть загрузочного патрубка выполнена с приводом горизонтального возвратно-поступательного перемещения. Ближняя к вакуумному захвату часть патрубка установлена неподвижно и выполнена с шарнирно соединенными с ней боковыми поворотными стенками, связанными через систему рычагов с приводом горизонтального возвратно-поступательного перемещения.

При начале очередного цикла вакуумный захват прижимается к горловине верхнего мешка и захватывает его. При возвращении захвата в исходное положение мешок поднимается, при этом нижняя стенка мешка провисает, а кронштейны сжимают стенки мешка в боковом направлении, дополнительно приоткрывая его. Затем вакуумный захват с мешком посредством привода поворачивается на валу к загрузочному патрубку, при этом нижняя часть загрузочного патрубка заходит в полость раскрытой горловины мешка и с помощью привода горизонтального возвратно-поступательного перемещения раскрывается, растягивает и удерживает мешок для наполнения. После наполнения стенки загрузочного патрубка возвращаются в исходное положение, и мешок опускается на транспортер.

Данное устройство позволяет захватывать мешок, лежащий на подъемном столе, раскрывать его и надевать на загрузочный патрубок. Однако недостатком устройства является сложность конструкции. Выполнение нижней части загрузочного патрубка в виде двух разъемных частей может привести к разрыву верхней кромки мешка при его надевании. Мешок удерживается захватами лишь с одной стороны, при этом другая не контролируется, то есть мешок может раскрываться самопроизвольно. Для раскрытия мешка используются вакуумные захваты, что может привести к неправильному или неполному раскрытию мешка из различных воздухопроницаемых материалов и ненадежному закреплению его на загрузочном патрубке. Это снижает надежность устройства. К тому же, после наполнения мешок опускается на ленту конвейера с непрошитой горловиной и в таком состоянии направляется на прошивку, что может привести к просыпке части продукта при транспортировке.

Использование в данном устройстве для захвата, раскрытия и удержания мешка РШЗУ, конструкция которого описана выше (рис. 1 и 2), позволяет ограничить функции вакуумного захвата лишь предварительным открытием горловины мешка, при котором нижняя часть горловины провисает, открывая внутреннюю полость для входа пальцев РШЗУ. Кроме того, выполнение захватного устройства в виде РШМ, приводимого в движение пневмоцилиндрами, позволяет осуществлять ряд дополнительных технологических операций с мешком, необходимых для его затаривания в автоматическом режиме, например, растягивание его горловины в линию и прошивку. При этом упрощается конструкция загрузочного патрубка, так как функции раскрытия и удержания мешка выполняет РШЗУ и лента транспортера, на которой стоит мешок. Использование в процессе захвата, раскрытия и удержания мешка РШЗУ, осуществляющее удержание мешка пальцами с внутренней стороны силами фрикционного взаимодействия поверхности пальцев с материалом стенок мешка и под действием демпфирующих свойств воздуха в миоцилиндрах повышает надежность устройства. Предложенное устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков позволяет вывести человека из вредной для здоровья рабочей зоны, и выполнять все операции расфасовки сыпучих материалов в нежесткую тару автоматически.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. м. 88339 РФ, МПК В 65 В 67/12. Устройство для захвата, раскрытия и удержания мешков / Л. А. Рабинович, Г. П. Барабанов, А. М. Макаров; ВолгГТУ.- 2009.
2. Рабинович, Л. А. Автоматизация подачи мешков из ткани на рабочие позиции фасовочного оборудования / Л. А. Рабинович, Е. С. Брискин, А. М. Макаров // Сборка в машиностроении, приборостроении.- 2009.- №11. – С. 35-39.
3. **Заявка на Патент № 2010122140** от 31.05.2010 на изобретение. Устройство для автоматического захвата, раскрытия и удержания мешков / Л.А. Рабинович, А.М. Макаров; ВолгГТУ. Решение о выдаче патента 12.01.2011.
4. Патент № 2050308 РФ, МПК В 65 В 7/00. Устройство для раскрытия и надевания мешков на грузочный патрубок / А.Ф. Суворов, И.Н. Барышев, Ю.В. Волков, И.А. Егоров; Дзержинский научно-иссл. и констр. институт хим. Машиностроения.- 1995.

AUTOMATION OF PACKAGING OF FREE-FLOWING MATERIALS IN NONRIGID PACKAGE

Abstract. *Stick-hinged capturing devices for automatic capture, opening and holding of bags at filling by free-flowing material with possibility of their following closing for insertion are developed. The produced calculations and modeling of dynamics of movement of devices confirm their efficiency. The scheme of complex automation of packaging process of free-flowing materials in bags is offered.*

Edward GAWLIK
Stanisław GIL
Politechnika Krakowska
Kraków

KONCEPCJA SYSTEMU OCENY TECHNOLOGICZNOŚCI KONSTRUKCJI CZĘŚCI MASZYN I ZESPOŁÓW MASZYNOWYCH

THE CONCEPT OF THE SYSTEM FOR THE EVALUATION OF THE MANUFACTURABILITY OF MACHINE PARTS AND ASSEMBLIES

Montażowa technologiczność konstrukcji jest ważnym etapem modułu projektowania procesu technologicznego montażu. Pomimo wzrostu stopnia mechanizacji i automatyzacji prac montażowych, w dalszym ciągu w procesie montażu przeważają prace ręczne. Przyczyn tego stanu należy przede wszystkim upatrywać w nieodpowiednim poziomie technologiczności konstrukcji wyrobu, zespołów maszynowych, podzespołów i części maszyn oraz w niskich nakładach środków finansowych na badania przeznaczone na mechanizację i automatyzację montażu.

Szczególnie istotne są działania na etapie projektu koncepcyjnego wyrobu, zespołów maszynowych i części maszyn, ponieważ na tym etapie istnieją największe możliwości wprowadzenia zmian konstrukcyjnych, tak by zminimalizować koszty wszystkich etapów ich rozwoju. Na tym etapie dokonuje się oceny technologiczności konstrukcji wyrobu, zespołów i części na podstawie analizy technologiczności konstrukcji. Ocena ta powinna być również wykonana na prototypie wyrobu. Jeżeli konstrukcja wyrobu jest technologiczna w danych warunkach produkcji, to można przyjąć, że koszt jego wytworzenia w tych warunkach będzie najmniejszy. W związku z tym konieczne jest zastosowanie komputerowego systemu podejmowania decyzji, aby można było działać szybko i skutecznie. Przedstawiona w referacie koncepcja systemu umożliwia ocenę technologiczności konstrukcji części maszyn, zespołów i wyrobów oraz takiej ich modyfikacji, aby w efekcie uzyskać konstrukcję o największej wartości ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji.

Technologiczność konstrukcji wyrobu określa stopień jej przystosowania do warunków produkcji, przy których można uzyskać najniższy koszt jego wytworzenia w określonym czasie. Miarą technologiczności konstrukcji może być wartość ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji [1]. Konstrukcja o możliwie najwyższej wartości ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji jest konstrukcją technologiczną. W danych warunkach produkcyjnych, zapewnia wytworzenie wyrobu, zespołu lub części o najniższych kosztach [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]. Zaproponowana ocena technologiczności konstrukcji jest szczególnie przydatna na etapie projektu koncepcyjnego wyrobu, gdy nie jest możliwe dokładne oszacowanie kosztu jego wytworzenia.

OCENA TECHNOLOGICZNOŚCI KONSTRUKCJI CZĘŚCI MASZYN, ZESPOŁÓW MASZYNOWYCH I WYROBU

Technologiczność konstrukcji w odniesieniu do części maszyn, zespołów czy urządzeń, oznacza taką konstrukcję, której montaż w danych warunkach zakładu i przy określonej wielkości produkcji jest ekonomiczny i najprostszy. Podstawową przesłanką technologiczności konstrukcji montażu jest uzyskanie najmniejszej pracochłonności. Analiza technologiczności konstrukcji pozwala na ocenę stopnia technologiczności konstrukcji na podstawie przyjętych kryteriów, które określają wymagania jakim powinna odpowiadać konstrukcja technologiczna. W oparciu o te kryteria można dokonać oceny technologiczności konstrukcji przez określenie jej ilościowego wskaźnika.

SPOSÓB PRZEPROWADZENIA ANALIZY TECHNOLOGICZNOŚCI KONSTRUKCJI ZE WZGLĘDU NA WYTWARZANIE I MONTAŻ

Analizę technologiczności konstrukcji części maszyn, zespołów i wyrobu przeprowadzono na podstawie przyjętych kryteriów, które określają wymagania jakie powinna spełniać konstrukcja technologiczna.

Analiza technologiczności konstrukcji wyrobu (maszyny, urządzenia) obejmuje:

- ogólną ocenę technologiczności konstrukcji wyrobu,
- ocenę technologiczności konstrukcji części zorientowaną na wytwarzanie,
- ocenę technologiczności konstrukcji części, podzespołów, zespołów i wyrobu zorientowaną na montaż.

Danymi wejściowymi do oceny technologiczności konstrukcji są:

- program produkcyjny wyrobu i wynikający z niego program produkcyjny poszczególnych części, podzespołów i zespołów wchodzących w skład tego wyrobu,
- projekt konstrukcyjno-technologiczny wyrobu, poszczególnych części i zespołów,
- klasa części lub jej typ technologiczny,
- okres eksploatacji,
- warunki odbioru technicznego (WOT),
- klasyfikacje jednostek montażowych.

Analizując technologiczność konstrukcji zespołu lub elementu maszyny należy mieć na względzie zadanie, które ma on spełniać w pracy maszyny, oraz kryteria funkcjonalności, niezawodności i trwałości. Temu celowi trzeba podporządkować wszystkie inne względy, a więc i technologiczność konstrukcji maszyny.

Ogólną ocenę technologiczności konstrukcji wyrobu (maszyny, urządzenia) można przeprowadzić na podstawie następujących kryteriów, takich jak [4], [6]:

- masa wyrobu,
- liczba części w wyrobie,
- stopień normalizacji i unifikacji zespołów i części,
- liczba gatunków materiałów zastosowanych na części.

Ocenę technologiczności konstrukcji części maszyn ze względu na wytwarzanie należy przeprowadzić w pierwszym etapie na podstawie kryteriów, które są wspólne dla części należących do różnych klas lub typów technologicznych. W drugim etapie na podstawie kryteriów charakterystycznych dla danej klasy lub typu technologicznego części i kryteriów wynikających z różnych technik wytwarzania półfabrykatów oraz różnych sposobów i metod obróbki, dysponując odpowiednią bazą wiedzy i danymi o systemie wytwarzania przedsiębiorstwa. Kryteriami wspólnymi dla części maszyn należących do różnych klas są [2], [3], [4], [5], [6], [7], [9], [10]:

- *złożoność części* – ocenić czy istnieje możliwość uproszczenia konstrukcji części bez pogorszenia jej funkcjonalności,
- *gatunek materiału części* – ocenić czy przyjęty gatunek materiału spełnia wymagania wytrzymałościowe stawiane danej części i czy jest łatwo obrabialny,
- *wymiary gabarytowe części i masa* – ocenić czy możliwe jest wytworzenie części w istniejącym systemie wytwarzania przedsiębiorstwa,
- *kształt i wymiary części* – ocenić czy kształt i wymiary części umożliwiają zastosowanie do ich wykonania katalogowych wyrobów hutniczych przy jak najmniejszym udziale obróbki skrawaniem,
- *postać i sposób wykonania półfabrykatu* – ocenić czy postać i sposób wykonania półfabrykatu jest ekonomicznie uzasadniony,
- *kształt i wymiary powierzchni obrabianych* – ocenić czy możliwe jest zastosowanie prostych i tanich metod obróbki,
- *sposób ustalenia części* – ocenić czy do obróbki poszczególnych powierzchni istnieje łatwy i pewny sposób ustalenia części umożliwiający zastosowanie typowego i znormalizowane-go oprzyrządowania przedmiotowego zapewniającego wymaganą dokładność obróbki,

- *szttywność części* – ocenić czy część jest dostatecznie sztywna tak by możliwe było zastosowanie wysoko wydajnych metod obróbki,
- *dostęp narzędzia* – ocenić czy do obróbki wszystkich powierzchni możliwy jest łatwy dostęp narzędzi, a w przypadku obróbki powierzchni przelotowych – łatwe i właściwe wyjście narzędzi,
- *liczba powierzchni obrabianych* – ocenić czy istnieje możliwość zmniejszenia liczby powierzchni obrabianych,
- *wielkość powierzchni obrabianych* – ocenić czy istnieje możliwość zmniejszenia powierzchni obrabianych,
- *wymiary powierzchni po obróbce* – ocenić czy podane wymiary odpowiadają wymiarom znormalizowanych narzędzi i znormalizowanego oprzyrządowania technologicznego,
- *dokładność wymiarowo-kształtowa i chropowatość powierzchni po obróbce* – sprawdzić czy podane parametry dokładności i chropowatości powierzchni są ekonomicznie uzasadnione i konieczne dla prawidłowego działania części w wyrobie,
- *obróbka cieplna* – ocenić czy konieczna jest obróbka cieplna części, a jeżeli tak – czy pomiędzy powierzchniami występują łagodne przejścia i zaokrąglenia,
- *korozyjność części* – ocenić stopień korozyjności części, który decyduje o dodatkowych operacjach technologicznych takich, jak malowanie, piaskowanie, konserwacja itp.

Ocenę technologiczności konstrukcji części maszyn, podzespołów, zespołów i wyrobu ze względu na montaż, należy przeprowadzić na podstawie następujących kryteriów [2], [3], [5], [6], [7], [8], [11], [12]:

- liczba części w wyrobie,
- gatunek materiału części,
- wymiary gabarytowe części i masa,
- możliwość podziału wyrobu na jednostki montażowe złożone (zespoły główne, zespoły, podzespoły),
- jakość wykonania,
- dostępność części,
- stałość baz, dokładność wykonania,
- możliwość uproszczenia konstrukcji par roboczych i zespołów przy zachowaniu ich wymagań eksploatacyjnych i jakości,
- stopień zamienności jednostek montażowych (zespołów i części), normalizacja, typizacja, unifikacja części,
- sposób bazowania części, jednoznaczność określenia bazy montażowej, bazowanie części może być, w kierunku poosiowym, w kierunku promieniowym na powierzchniach walcowych, na powierzchniach płaskich z zachowaniem dokładności wzajemnego położenia elementów,
- samonastawności – w konstrukcji łożysk ślizgowych wałów, przy dużym stosunku długości panewki do jej średnicy,
- eliminowania naprężeń – przyczyną powstawania naprężeń jest błędna konstrukcja, np. przestalenie, wadliwy montaż,
- błędny montaż - montowane elementy powinny być tak skonstruowane, aby nie było możliwości złożenia ich w niewłaściwym położeniu,
- niezmienność kształtu części pod wpływem sił mocujących,
- zmniejszenie czynności pomocniczych,
- pozyskiwanie zespołów i części z innych wyspecjalizowanych zakładów (możliwość kooperacji),
- uproszczenie operacji montażowych,
- możliwość montażu za pomocą prostych czynności i jednokierunkowych ruchów,
- możliwość jednoznacznej orientacji i bazowania montowanych zespołów i części,
- możliwość kontroli dokładności par roboczych w różnych fazach procesu technologicznego montażu,
- dokładność montażu,
- dostępność narzędzi montażowych,
- prawidłowość doboru pasowań,
- łańcuchy wymiarowe, określające położenie współpracujących części,

- oryginalność konstrukcji,
- wymiary gabarytowe,
- stopień trudności montażu,
- sztywność statyczna i dynamiczna,
- korozyjność,
- funkcjonalność (łatwość obsługi),
- łatwość konserwacji (montaż i demontaż, czyszczenie).
- estetyka wyglądu zewnętrznego,
- koszt wykonania wyrobu,
- masa wyrobu,
- wymiary gabarytowe wyrobu,
- stopień specjalizacji,
- kształt i wymiary części,
- dokładność wymiarowo-kształtowa i chropowatość powierzchni.

Na podstawie każdego z kryteriów należy dokonać oceny technologiczności konstrukcji przypisując jej określoną liczbę punktów P z przedziału od 0 ÷ 5 i przyjęciu wartości wskaźnika ważności w dla przyjętego kryterium oceny z przedziału 0 ÷ 1, a następnie obliczyć iloczyn $P \cdot w$ [1]. W przedstawionej metodzie należy przyjąć skalę ocen punktowych P zgodnie z zasadami podanymi w pracy [10].

Wyniki oceny technologiczności konstrukcji danej części, zespołu, należy zestawić w odpowiedniej tabeli zakładając, że jest to pierwszy wariant konstrukcji. Jeżeli technologiczność konstrukcji części, zespołu, została oceniona liczbą punktów $P = 2, 1$ lub 0 na podstawie przynajmniej jednego kryterium, należy zmodyfikować konstrukcję danej części i przyjąć ją jako drugi wariant. Modyfikacja konstrukcji powinna być taka, aby w wyniku jej oceny na podstawie tych samych kryteriów uzyskać możliwie maksymalne liczby punktów P . Nie może to być jednak taka modyfikacja konstrukcji, która spowoduje obniżenie założonej jakości i zmianę wymagań technicznych wyrobu. Jeżeli w zakresie danego kryterium nie jest możliwa modyfikacja konstrukcji części, to wartości P należy wpisać takie same jakie były przyjęte w pierwszym wariantcie. Dla obu wariantów konstrukcji należy obliczyć wskaźniki jakości konstrukcji i ilościowe wskaźniki technologiczności konstrukcji z podanych wzorów. Wskaźnik jakości konstrukcji W_k oblicza się ze wzoru:

$$W_k = \frac{\sum P \cdot w}{5 \sum w} \quad (1)$$

Ilościowy wskaźnik technologiczności konstrukcji części oblicza się z wzoru

$$N_k = 5W_k \quad (2)$$

Na podstawie przyjętych kryteriów należy dokonać oceny technologiczności konstrukcji części. Miarami technologiczności konstrukcji danej części są: wskaźnik jakości konstrukcji W_k oraz ilościowy wskaźnik technologiczności konstrukcji N_k . Na podstawie obu wskaźników można ocenić jakość i technologiczność konstrukcji części bez konieczności szacowania kosztów jej wytworzenia.

Ocenę ułatwia porównanie danej konstrukcji z podobnymi konstrukcjami wyróżniającymi się wysokim poziomem technicznym i sprawdzonymi w warunkach eksploatacyjnych. Często zachodzi potrzeba oceny i wyboru optymalnego wariantu konstrukcji części spośród kilku proponowanych. Opracowanie wariantów konstrukcyjnych części i zespołów jest właściwą metodą projektowania umożliwiającą znalezienie optymalnego rozwiązania [6]. Dla przeprowadzenia oceny konstrukcji pod kątem technologiczności potrzebna jest wiedza teoretyczna i praktyczna w zakresie procesów wytwarzania – obróbka mechaniczna, technologia montażu, eksploatacja maszyn.

Jeśli będzie brak oceny niektórych kryteriów oznacza to niemożność oszacowania go na podstawie rysunku, bądź oszacowanie wiązałoby się z dużym ryzykiem popełnienia błędu. Nie sposób np. ocenić stopnia

specjalizacji danej części nie wiedząc w jakiej konstrukcji jest ona podzespołem, to samo dotyczy oceny funkcjonalności.

Podane kryteria części maszyn i zespołów można uzupełniać o nowe, w zależności od rodzaju ocenianego wyrobu i jego specyficznych cech. Liczba kryteriów ocenionych ma znaczenie w tym sensie, że im więcej atrybutów danej części lub zespołu zostanie ocenionych, tym pełniej oddawany jest wskaźnik stopnia technologiczności konstrukcji. Należy pamiętać, że metoda ta jest subiektywna i można przewidzieć różnicę w liczbie punktów przyznanej danej części lub zespołowi pomiędzy jednym oceniającym, a drugim. Dotyczy to nawet ekspertów, którzy daną część lub zespół znają bardzo dobrze. Można założyć, że różnice te nie będą duże. Rzecz w tym, że ocena ta będzie jednoznacznie wskazywać, która część lub zespół jest bardziej zbliżony do punktowej oceny maksymalnej.

Na podstawie obu wskaźników można ocenić jakość i technologiczność konstrukcji części bez konieczności szacowania kosztów jej wytworzenia. Należy przyjąć ten wariant konstrukcji części, dla którego wartość ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji będzie większa. Można się spodziewać, że koszty wytworzenia części dla tego wariantu konstrukcji będą możliwie najniższe.

Zaproponowana metoda oceny technologiczności konstrukcji części pozwala na łatwy i szybki wybór takiej konstrukcji, która zapewni możliwie najniższy koszt jej wytworzenia bez konieczności jego szacowania. Metoda jest szczególnie przydatna na etapie projektowania koncepcyjnego wyrobu, gdy trudne jest oszacowanie spodziewanego kosztu jego wytworzenia.

SZACOWANIE KOSZTU WYTWARZANIA CZĘŚCI LUB ZESPOŁÓW

Koszt wytworzenia wyrobu jest równy sumie kosztów wytworzenia i zakupu wszystkich części wchodzących w skład wyrobu oraz kosztu montażu wyrobu. Podstawowymi składnikami kosztu wytworzenia wyrobu (kosztu wytworzenia części, kosztu montażu wyrobu) są [13], [14], [15], [16]:

- koszty bezpośrednie:
 - koszty materiałowe,
 - koszty robocizny,
 - koszty specjalne,
- koszty pośrednie:
 - koszty wydziałowe, są to koszty ruchu maszyn, urządzeń technologicznych i koszty ogólnowydziałowe,
 - koszty ogólnozakładowe.

Największy udział w koszcie wytworzenia wyrobu mają koszty wytworzenia poszczególnych części, z których składa się wyrób. Koszt wytworzenia określonej części wyrobu zależy w znacznym stopniu od tego czy półfabrykat jest zakupiony czy też jest wytworzony we własnym zakresie. Strukturę kosztu wytworzenia części danego wyrobu przedstawiono na rys. 1. Koszt ten jest równy sumie kosztów bezpośrednich i pośrednich związanych z wytworzeniem części.

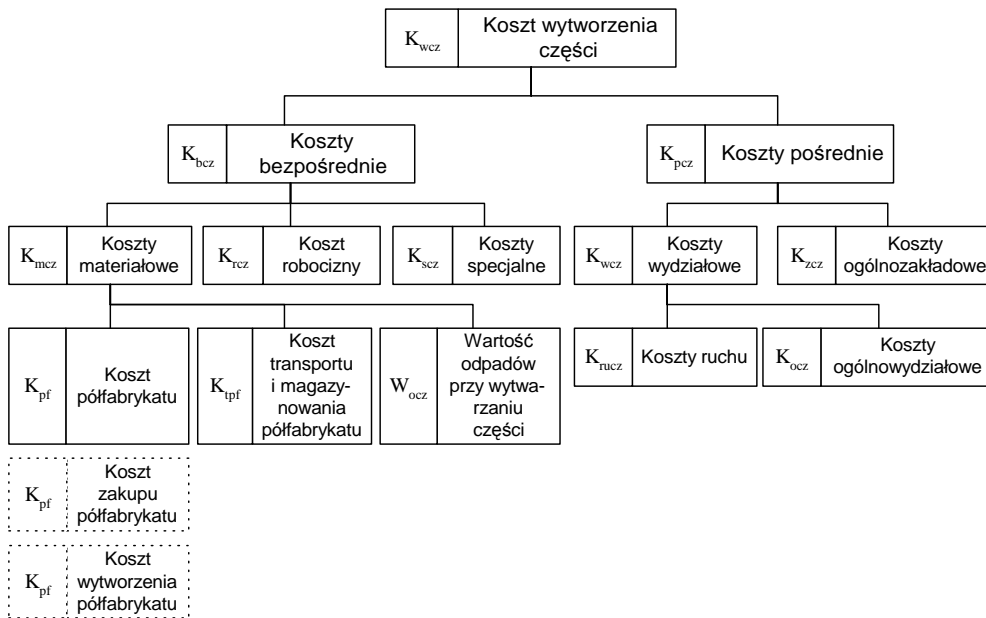
Koszty bezpośrednie związane z wytworzeniem części (K_{bcz}) można określić na podstawie następujących danych:

- programu produkcyjnego wyrobu i wynikającego z niego programu produkcyjnego części,
- wielkości serii wytwarzanej części,
- kosztów materiałowych (K_{mcz}), na które składają się koszty półfabrykatu, koszty jego transportu i magazynowania pomniejszone o wartość odpadów powstałych po wytworzeniu części,
- całkowitego kosztu robocizny (K_{rcz}) związanej z wytworzeniem części równego sumie kosztów robocizny wszystkich operacji technologicznych. Koszt operacji technologicznej można określić znając normę czasu tej operacji, wielkość serii wytwarzanej części oraz stawkę godzinową operatora. Jeżeli czynności przygotowawczo-zakończeniowe na stanowisku wytwarzania wykonuje ustawiacz, koszt operacji technologicznej można określić znając czas czynności przygotowawczo-zakończeniowych, wielkość serii wytwarzanej części, stawkę godzinową ustawiacza, czas jednostkowy operacji oraz stawkę godzinową operatora.

W koszcie robocizny bezpośredniej uwzględniane są również świadczenia socjalne i dodatki dla pracowników bezpośrednio produkcyjnych,

- kosztów specjalnych związanych z wytworzeniem części (K_{scz}), na które składają się koszty technicznego przygotowania produkcji, koszty oprzyrządowania specjalnego, koszty szkolenia załogi.

Koszty pośrednie związane z wytworzeniem części (K_{pcz}) są sumą kosztów wydziałowych (K_{wcz}) i ogólnozakładowych (K_{zcz}).



Rys. 1. Struktura kosztu wytworzenia części

Koszty wydziałowe (K_{wcz}) obejmują koszty ruchu maszyn i urządzeń technologicznych (K_{rcz}) przy wytwarzaniu części oraz koszty ogólnowydziałowe związane z wytworzeniem części (K_{ocz}).

Koszty ruchu maszyn i urządzeń (K_{rcz}) można określić mając następujące dane:

- koszty pracy narzędzi i oprzyrządowania technologicznego,
- koszty pracy maszyn,
- koszty remontów maszyn,
- koszty amortyzacji maszyn i ewentualnie leasingu maszyn.

Koszty ogólnowydziałowe związane z wytworzeniem części (K_{ocz}) obejmują koszty amortyzacji budynku lub koszty dzierżawy budynku, koszty oświetlenia, koszty ogrzewania, koszty bieżących napraw i konserwacji budynku.

Koszty ogólnozakładowe związane z wytworzeniem części (K_{zcz}) określane są na podstawie sumy kosztów robocizny bezpośredniej i kosztów wydziałowych po przyjęciu odpowiedniej wielkości narzutu kosztów ogólnozakładowych.

Ocena technologiczności konstrukcji części powinna zmierzać nie tylko do uzyskania najniższych kosztów wytwarzania wyrobu, ale również do usprawnienia procesów technologicznych oraz poprawy organizacji produkcji z jednoczesnym zachowaniem wymaganej jakości wyrobu i spełnienia określonych jego wymagań technicznych. Szczegółowe zasady szacowania kosztu wytworzenia części przedstawiono w pracy [16].

KONCEPCJA SYSTEMU DO OCENY TECHNOLOGICZNOŚCI KONSTRUKCJI CZĘŚCI MASZYN, ZESPOŁÓW I WYROBU

Na pracochłonność a więc i koszt wytworzenia wyrobu w największym stopniu wpływa pracochłonność wytworzenia wszystkich części wchodzących w jego skład. Pracochłonność wytworzenia danej części zależy od technologiczności konstrukcji części. Wartość ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji N_k decyduje o stopniu technologiczności konstrukcji części. Im większy jest stopień technologiczności konstrukcji części, tym pracochłonność jej wytworzenia jest mniejsza.

Zgodnie z tą metodyką na rys.1 przedstawiono koncepcję systemu do oceny technologiczności części i zespołów maszynowych na etapie projektu koncepcyjnego wyrobu oraz na dalszych etapach jego rozwoju umożliwiającemu zaprojektowanie konstrukcji części i zespołów maszynowych wchodzących w skład wyrobu o możliwie największej wartości ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji, a tym samym o możliwie najniższym spodziewanym koszcie wytworzenia.

Danymi wejściowymi systemu są:

- program produkcyjny wyrobu i wynikający z niego program produkcyjny danej części. Program produkcyjny wyrobu zależy przede wszystkim od rodzaju produkcji i orientacyjnej masy projektowanego wyrobu [10]. Dysponując programem produkcyjnym wyrobu można określić program produkcyjny danej części W_i wchodzącej w jego skład na podstawie wzoru [4],

$$W_i = W m_i \left(1 + \frac{z_i}{100\%} \right) \left(1 + \frac{b_i}{100\%} \right) \quad (3)$$

gdzie:

W – roczny program produkcji wyrobu, do którego należy dany przedmiot [szt/rok],

m_i – liczba i -tej części w wyrobie,

z_i – procent części zapasowych (zamiennych) [%],

b_i – przewidywany procent braków [%],

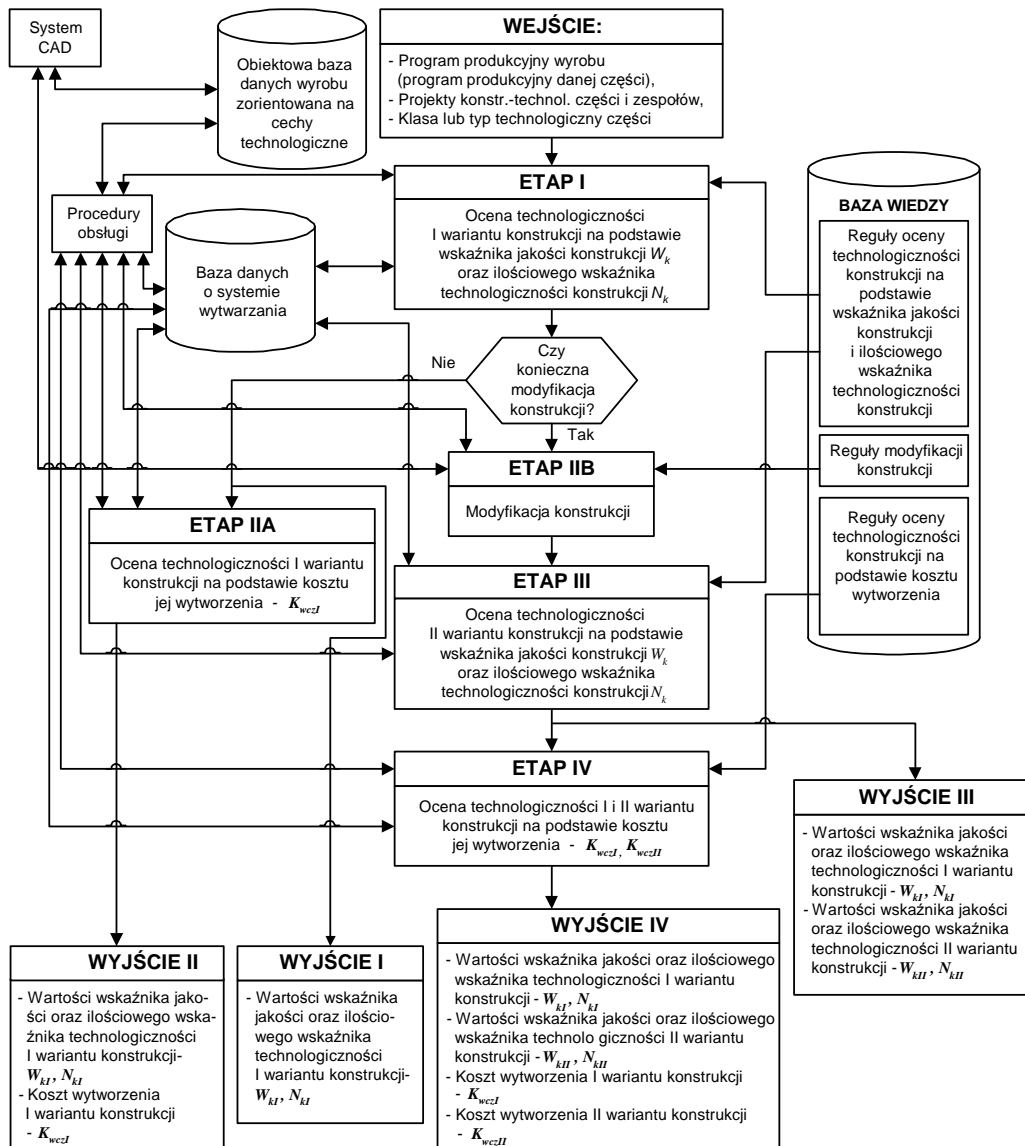
- projekt konstrukcyjno-technologiczny danej części. Projekt ten powinien być opracowany przy wykorzystaniu odpowiedniego systemu CAD. Model rozpatrywanej części opracowany za pomocą tego systemu powinien być zorientowany na cechy technologiczno-konstrukcyjne tak, by umożliwiał łatwą i szybką ocenę technologiczności konstrukcji,

- klasa lub typ technologiczny części, należy określić za pomocą klasyfikatora części maszyn [17], [18].

Ocenę technologiczności konstrukcji montażu, na podstawie wskaźnika jakości konstrukcji oraz ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji należy przeprowadzić osobno dla części maszyn i zespołów maszynowych.

Realizacja działań zmierzających do oceny technologiczności konstrukcji części maszyn lub zespołów maszynowych obejmuje następujące etapy:

- ETAP I – Ocena technologiczności I wariantu konstrukcji na podstawie wskaźnika jakości konstrukcji oraz ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji. W etapie tym, zgodnie z określonymi regułami, dokonywana jest ocena technologiczności konstrukcji części, zespołów i wyrobu na podstawie przyjętych kryteriów [1], [6], [7], [8], [10], [11]. Efektem tej oceny jest podjęcie decyzji, czy należy dokonać modyfikacji konstrukcji części, zespołów, czy też nie. Jeżeli zostanie podjęta decyzja, że nie należy modyfikować konstrukcji części, zespołu, to należy uznać tę konstrukcję za technologiczną;
- ETAP II – Ocena technologiczności I wariantu konstrukcji na podstawie kosztu wytworzenia części, zespołu. Etap ten pojawi się wtedy, gdy po ETAPIE I zostanie podjęta decyzja dotycząca kosztu wytworzenia części lub zespołu [14], [15], [16], [19];



Rys. 2. Schemat systemu do oceny technologiczności konstrukcji części maszyn i zespołów

- ETAP IIB – Modyfikacja konstrukcji części lub zespołu. W etapie tym dokonywana jest modyfikacja konstrukcji zgodnie z regułami modyfikacji konstrukcji podczas analizy technologiczności konstrukcji [3], [6], [9], [10];
- ETAP III – Ocena technologiczności II wariantu konstrukcji na podstawie wskaźnika jakości konstrukcji oraz ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji. W etapie tym, zgodnie z tymi

samymi regułami, jak w ETAPIE I, dokonywana jest ocena technologiczności konstrukcji części lub zespołu;

- ETAP IV - Ocena technologiczności I i II wariantu konstrukcji na podstawie kosztu wytworzenia części lub zespołu. W etapie tym nastąpi oszacowanie kosztów wytworzenia pierwszego i drugiego wariantu konstrukcji części lub zespołu, na podstawie tych samych reguł jak w ETAPIE IIA. Koszt wytworzenia drugiego wariantu konstrukcji powinien być niższy niż pierwszego wariantu, co powinno potwierdzić efekt trzeciego etapu, że konstrukcja drugiego wariantu jest technologiczna.

W systemie występują następujące wyjścia:

- WYJŚCIE I – jest efektem realizacji ETAPU I i podjęcia decyzji o tym, że nie jest konieczna modyfikacja konstrukcji;
- WYJŚCIE II – jest efektem realizacji ETAPU I, podjęcia decyzji o tym, że nie jest konieczna modyfikacja konstrukcji oraz ETAPU IIA;
- WYJŚCIE III – jest efektem realizacji ETAPU I, podjęcia decyzji o tym, że konieczna jest modyfikacja konstrukcji części lub zespołu, ETAPU IIB oraz ETAPU III;
- WYJŚCIE IV – jest efektem realizacji ETAPU I, podjęcia decyzji o tym, że konieczna jest modyfikacja konstrukcji części lub zespołu, ETAPU IIB, ETAPU III oraz ETAPU IV. Ocena technologiczności konstrukcji jest dokonywana na podstawie obliczonego wskaźnika jakości konstrukcji, ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji oraz oszacowanego kosztu wytworzenia części lub zespołu.

Na wyjściu systemu są obliczone wartości jakościowego wskaźnika technologiczności I wariantu konstrukcji i II wariantu konstrukcji części lub zespołu. Wartość jakościowego wskaźnika technologiczności II wariantu konstrukcji powinna być wyższa niż dla I wariantu konstrukcji. Świadczyć to będzie o poprawie technologiczności konstrukcji części lub zespołu, a tym samym o zmniejszeniu kosztów jej wytworzenia.

Na etapie projektu koncepcyjnego wyrobu należy wykorzystać WYJŚCIE I w przypadku, gdy nie jest konieczna modyfikacja konstrukcji części lub zespołu w celu jej u technologicznienia oraz WYJŚCIE II w przypadku, gdy w celu uzyskania konstrukcji technologicznej konieczna jest modyfikacja konstrukcji części lub zespołu. Ocenę technologiczności konstrukcji uzyskuje się bez konieczności szacowania kosztu wytworzenia części lub zespołu, które na tym etapie jest trudne i mało dokładne.

Na dalszych etapach rozwoju wyrobu należy wykorzystać WYJŚCIE III w przypadku, gdy nie jest konieczna modyfikacja konstrukcji części lub zespołu w celu jej u technologicznienia oraz WYJŚCIE IV w przypadku, gdy w celu uzyskania konstrukcji technologicznej konieczna jest modyfikacja konstrukcji. Ocenę technologiczności konstrukcji uzyskuje się na podstawie oszacowanego kosztu wytworzenia części lub zespołu.

PODSUMOWANIE

Zaproponowana koncepcja systemu umożliwia łatwą i szybką ocenę technologiczności konstrukcji części maszyn lub zespołów maszynowych oraz wybór konstrukcji optymalnej po ewentualnej ich modyfikacji.

Na etapie projektu koncepcyjnego wyrobu system zapewnia wybór optymalnej konstrukcji części lub zespołów maszynowych w wyniku oceny technologiczności konstrukcji na podstawie obliczonych wartości wskaźnika jakości konstrukcji i ilościowego wskaźnika technologiczności konstrukcji.

Na dalszych etapach rozwoju wyrobu system zapewnia wybór optymalnej konstrukcji części maszyn lub zespołu maszynowego w wyniku oceny technologiczności konstrukcji na podstawie oszacowanego ich kosztu wytworzenia.

Zaproponowana metoda oceny technologiczności konstrukcji części lub zespołu pozwala na łatwy i szybki wybór takiej konstrukcji, która zapewni możliwie najniższy koszt jej wytworzenia bez konieczności jego szacowania. Metoda jest szczególnie przydatna na etapie projektowania koncepcyjnego wyrobu i do oceny zespołu maszynowego i wytworzonego prototypu wyrobu, gdy trudne jest oszacowanie kosztu ich wytworzenia.

Efektem działania systemu jest możliwość uzyskania, na wszystkich etapach rozwoju wyrobu, najniższych kosztów wytworzenia części maszyn i zespołów maszynowych, a tym samym najniższego kosztu wytworzenia wyrobu, usprawnienia procesów technologicznych obróbki i montażu oraz poprawy organizacji produkcji i technologicznej elastyczności systemów z jednoczesnym zachowaniem wymaganej jakości wyrobu i spełnienia określonych jego wymagań technicznych zaproponowanych przez konstruktora.

LITERATURA

1. Wrotny L., Projektowanie obrabiarek. Zagadnienia ogólne i przykłady obliczeń, WNT, Warszawa 1986.
2. Choroszy B., Technologia maszyn, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
3. Feld M., Technologia budowy maszyn, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
4. Praca Zbiorowa, Poradnik Inżyniera. Mechanika. T. 3. Zagadnienia Technologiczne, WNT, Warszawa 1970.
5. Samek A., Projektowanie procesów technologicznych. Skrypt dla studentów wyższych szkół technicznych, Politechnika Krakowska, Kraków 1981.
6. Skarbiński M., Skarbiński J., Technologiczność konstrukcji maszyn, WNT, Warszawa 1982.
7. Wieczorowski K., Żurek J., Próba ustalenia ilościowego kryterium oceny rozwiązania technicznego w aspekcie technologiczności konstrukcji, V Międzynarodowa Konferencja, Postępy w Teorii i Technice Obróbki Materiałów, Kraków 1979.
8. Żurek J., Bartczak S., Kryteria i wskaźniki technologiczności konstrukcji, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Mechanika nr 38, Poznań 1993.
9. Tymowski J., Technologia budowy maszyn, WNT, Warszawa 1970.
10. Gawlik E., Gil S., Ocena technologiczności konstrukcji części, Proceedings of IV Conference, Process and Manufacturing Equipment Design Systems, CA Systems and Technologies and DAAAM activities, 5th – 6th October 2004, Cracow, Poland 2004.
11. Żurek J., Boratyński M., Bartczak S., Bębel R., Zasady kształtowania oraz ocena technologiczności konstrukcji wyrobu w montażu automatycznym. Technologia i automatyzacja montażu, 2/1993, s.2-4.
12. Łunarski J., Szabajkiewicz W., Automatyzacja procesów technologicznych montażu maszyn, WNT, Warszawa 1993.
13. Farineau T., Rabenasolo B., Castelain J. M., Meyer Y., Duverlie P., Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2001) 17.
14. Karpiński T., Inżynieria produkcji, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2002.
15. Chwastyk P., Knosala R., Koncepcja systemu wspomagającego projektowanie maszyn zorientowanego na koszty, Politechnika Opolska, Opole.
16. Gawlik E., Gil S., Szacowanie kosztów wytwarzania, International DAAAM Workshop CA SYSTEMS AND TECHNOLOGIES, Integration and Intelligence of CA Systems, 29th September – 1th October 2003, Žilina – Strečno, Slovak Republic 2003.
17. Praca Zbiorowa, Jednolity klasyfikator konstrukcyjno-technologiczny przedmiotów produkcji, Centralny Ośrodek Badawczy, Zakład Klasyfikacji i Informatyki. Wydawnictwa Normalizacyjne, Warszawa 1977.
18. Praca zbiorowa, Technologiczny klasyfikator części maszyn, Instytut Organizacji Przemysłu Maszynowego, Warszawa 1966.
19. Eversheim W., Gupta Ch., Kümper R., Methods and Tools for Cost Estimation in Mechanical Manufacturing, Production Engineering, Vol. I/2 (1994).

THE CONCEPT OF THE SYSTEM FOR THE EVALUATION OF THE MANUFACTURABILITY OF MACHINE PARTS AND ASSEMBLIES

Abstract: *This paper presents the concept of the system for the evaluation of the manufacturability of machine parts and assemblies on the stage of the initial design of the machine. The other development stages were also taken into account. In the introductory stage the quantitative factor of the construction manufacturability was used. On the other stages of the development, the cost of part manufacturing was considered.*

Andrzej KOMOREK
Paweł PRZYBYŁEK
Wyższa Szkoła Oficerska
Sił Powietrznych w Dęblinie

NAPRAWA USZKODZEŃ KOMPOZYTOWYCH ELEMENTÓW LOTNICZYCH WYWOŁANYCH NISKOENERGETYCZNYM OBCIĄŻENIEM UDAROWYM

THE REPAIR OF LOW-ENERGY IMPACT-RELATED DAMAGES IN AVIATION COMPOSITE ELEMENTS

Od połowy XX wieku w lotnictwie wykorzystywane są materiały kompozytowe, które przy niewielkiej masie, cechują się bardzo korzystnymi właściwościami mechanicznymi (R_m/ρ) co pozwala na budowę bardzo wytrzymałych i lekkich konstrukcji lotniczych, a w związku z tym na obniżenie kosztów eksploatacji statków powietrznych. Przemysł lotniczy szczególnie chętnie wykorzystuje kompozyty warstwowe (laminaty) stosowane na elementy pokryć samolotów i śmigłowców. Niestety bardzo dobre właściwości mechaniczne kompozytów ulegają znacznemu pogorszeniu w momencie pojawienia się uszkodzenia. Materiały kompozytowe są wrażliwe na oddziaływanie karbu, więc punktowe, nawet niewielkie uszkodzenia lub przebicia powodują istotną degradację właściwości mechanicznych materiału. Należy zatem, w procesie projektowania, wytwarzania a szczególnie eksploatacji, w znacznie większym stopniu zwrócić uwagę na warunki pracy lotniczych struktur kompozytowych oraz metodyki napraw tychże struktur.

USZKODZENIA STRUKTUR KOMPOZYTOWYCH

Statki powietrzne oraz ich zespoły napędowe mogą być eksploatowane w dwóch systemach organizacyjnych:

- według resursu,
- według stanu technicznego.

W obu systemach, celem jest dążenie do realizacji nakazanych zadań w ustalonym czasie pracy (nalogu) z jednoczesnym zachowaniem ustalonych parametrów i charakterystyk lotno-technicznych. Zdolność do realizacji tego celu nazywana jest niezawodnością. Niestety w eksploatacji każdego sprzętu zdarzają się odchylenia w stanie technicznym od norm określonych w przepisach dotyczących eksploatacji i obsługi technicznej tego sprzętu, co nazywa się niesprawnością obiektu eksploatacji. Specyficznym rodzajem niesprawności jest uszkodzenie, które może być zdefiniowane jako: utrata fizycznych własności i/lub właściwości elementu konstrukcyjnego lub zdarzenie polegające na przejściu struktury technicznej (elementu) ze stanu podatności do stanu niezdadności. [1]

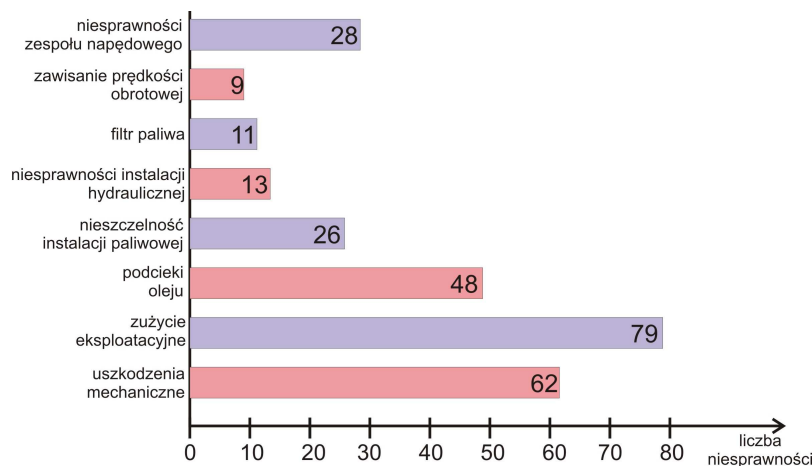
Uszkodzenie jest często efektem pracy konstrukcji w warunkach do których nie jest ona przystosowana. Innymi przyczynami powstawania uszkodzeń są m.in. błędy konstrukcyjne, wady materiałowe, nadmierne zużycie lub niedotrzymanie technologii produkcji. Uszkodzenia można podzielić na:

- konstrukcyjne,
- technologiczne,
- eksploatacyjne,
- awaryjne,
- bojowe.

Uszkodzenia awaryjne (np. zużycie eksploatacyjne) oraz różnorodne uszkodzenia mechaniczne są najczęściej spotykanymi w lotnictwie niesprawnościami, które wywierają największy wpływ na niezawodność statków powietrznych (rys. 1). Mogą być one spowodowane zderzeniami na ziemi podczas kołowania z innymi samolotami lub przeszkodami terenowymi, zderzeniami z ptakami w czasie lotu, twardym ląd-

waniem, uderzeniem tylną częścią kadłuba o ziemię przy lądowaniu lub lądowaniu bez podwozia, albo z częściowo wypuszczonym podwoziem.

Statki powietrzne są często eksploatowane w warunkach zagrożenia wystąpieniem uszkodzeń udarowych niebezpiecznych dla elementów wykonanych z kompozytów wzmacnianych włóknami, które są niezwykle trudne do wykrycia. W zastosowaniach lotniczych nawet niewielkie uszkodzenie struktury kompozytu na skutek uderzenia: upuszczonego narzędzia, ciała obcych wyrzucanych spod kół samolotu podczas startu lub ptaka w trakcie lotu, może drastycznie obniżyć margines bezpieczeństwa konstrukcji ze względu na obniżenie wytrzymałości materiału. Tego typu obciążenia charakteryzują się oddziaływaniem stosunkowo małej masy przy niewielkiej prędkości a tym samym niewielką energią uderzenia.

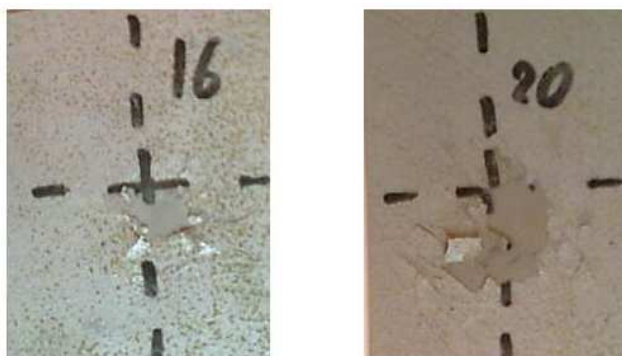


Rys. 1. Liczba niesprawności samolotu M28 w grupach wydzielonych wg symptomów niesprawności

Lokalizacja niskoenergetycznych uszkodzeń lotniczych struktur kompozytowych (BVID - barely visible impact damage) jest niezwykle trudna. Wewnątrz materiału, w rejonie uderzenia, występuje siatka rozwarstwień i poprzecznych pęknięć warstw, nie ma natomiast obszarów masowego pęknięcia włókien. Na powierzchni, w miejscu uszkodzenia powstaje niewielki, często niewidoczny ślad, na powierzchni przeciwległej uszkodzenie jest wyraźnie bardziej rozległe, jednak często nie ma możliwości inspekcji tej strony elementu [2] (rys.2).



Rys. 2. Próbkę po działaniu obciążenia udarowego o energii 10J. Na dolnych zdjęciach widoczne miejsca przyłożenia obciążenia. Na górnych zdjęciach widok próbek od przeciwnej strony

Rys. 2. *cd.*

TECHNOLOGIA NAPRAW USZKODZEŃ

Statki powietrzne zostają skierowane do napraw zarówno z powodu wypracowania ресурсu, jak również z powodu uszkodzeń.

Naprawa jest to przywrócenie wartości użytkowej (eksploatacyjnej) obiektu technicznego, np. samolotu lub silnika, przez całkowite lub częściowe usunięcie zużycia lub uszkodzenia [3]. Naprawy powinny przywracać statkom powietrznym ich pierwotne własności użytkowe i wytrzymałość. Powinny być wykonane na podstawie dokumentacji technologicznej opracowywanej przez producenta lub wykwalifikowane biuro technologiczne.

Stopień uszkodzenia statków powietrznych jest określany na podstawie:

- ilości uszkodzonych agregatów i podzespołów;
- charakteru uszkodzeń;
- wymiarów uszkodzeń i ich ilości.

Z racji na wysoką cenę statków powietrznych, każdy uszkodzony egzemplarz powinien zostać usprawniony, jeżeli jest to możliwe ze względów technicznych i koszty naprawy nie przekraczają jego wartości, czyli ceny nowego egzemplarza, pomniejszonej o amortyzację. W naprawach konstrukcji płatowców należy dążyć do:

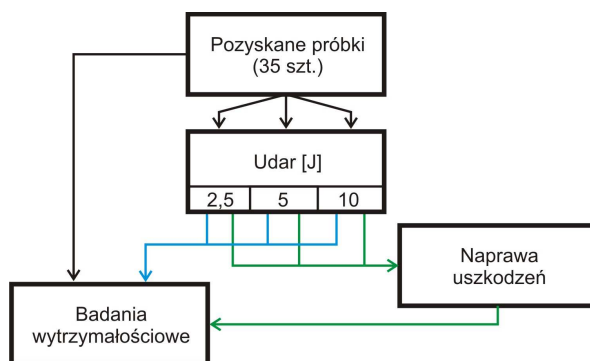
- zapewnienia równoważnej wytrzymałości naprawianego elementu,
- uzyskania zbliżonej, a najlepiej identycznej sztywności naprawianego układu,
- uzyskania identycznego przyłożenia sił do elementów,
- ewentualnego zwiększenia masy płatowca nie większego niż 2%,
- zachowaniu położenia środka ciężkości naprawianego statku powietrznego.

Bardzo duże prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń struktur statków powietrznych wywołanych obciążeniami udarowymi oraz konieczność ich identyfikacji i naprawy (dla wojskowych samolotów i śmigłowców często prowadzone w warunkach polowych) stanowiło impuls do rozpoczęcia badań eksperymentalnych.

BADANIA EKSPERYMENTALNE

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu niskoenergetycznego udaru na właściwości mechaniczne materiału kompozytowego (laminatu) zastosowanego na poszycie przedniej części kadłuba w samolocie TS 11 „Iskra”, oraz skuteczności napraw takich uszkodzeń dokonywanych w warunkach polowych. Dodatkowo, ze względu na fakt, iż element z którego pozyskano próbki był eksploatowany na statku powietrznym, uzyskano dane na temat jakości napraw (wykonywanych w zakresie remontów polowych) tego rodzaju elementów, poddanych procesom starzeniowym.

Badania zostały zrealizowane według programu badań, określonego algorytmem:



Rys. 3. Algorytm programu badań

Próbki w kształcie płytki prostokątnej o wymiarach 60x80mm i grubości 4mm pozyskano z elementu poszycia samolotu TS 11 „Iskra”, zwracając szczególną uwagę, na istnienie uszkodzeń eksploatacyjnych i uszkodzeń powstałych w późniejszym czasie podczas składowania oraz pobierając próbki z miejsc w których krzywizna elementu jest jak najmniejsza, mając na celu uzyskanie próbek jak najbardziej zbliżonych do prostopadłościanu.



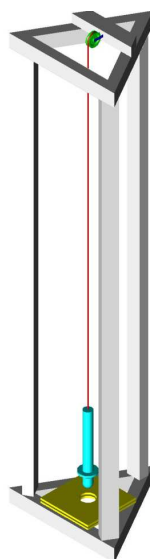
Rys. 4. Samolot TS 11 „Iskra”, zaznaczony element z którego wykonano próbki wykorzystane do badań (fot. P. Dzikiewicz)

Na potrzeby badań pozyskano 35 próbek o wymiarach 60x80mm i grubości 4mm. Trzy serie liczące po 10 próbek zostały poddane działaniu poprzecznego obciążenia uderowego o energii odpowiednio: 2.5J, 5J i 10J. Następnie 5 próbek z każdej serii było poddawanych badaniu w celu określenia wpływu zadanego uderu na wytrzymałość badanego materiału kompozytowego na zginanie. Kolejne 5 próbek z każdej serii, było naprawiane metodami z zakresu remontów polowych (każda próbka została wzmocniona jedną warstwą maty szklanej). W kolejnym etapie realizowanych badań były one poddawane badaniu wytrzymałości na zginanie.

Na potrzeby badań zostało skonstruowane stanowisko do zadawania poprzecznego obciążenia uderowego. Stanowisko posiada możliwość regulacji wysokości, z jakiej spada bijak. Bijak wyposażony jest

w sferyczną końcówkę o średnicy 25 mm, oraz posiada możliwość zainstalowania końcówek o innych rozmiarach.

Energia uderzenia jest dobierana na podstawie zasady zachowania energii. Pomijając znikomo małe opory, założono, że cała energia potencjalna bijaka, zostanie przekształcona w jego energię kinetyczną w momencie uderzenia w próbkę.



Rys. 5. Model przyrządu do wytwarzania obciążenia udarowego

Wysokość spadku bijaka można regulować w zakresie do jednego metra, maksymalną masę bijaka ogranicza w zasadzie wytrzymałość linki mocującej i konstrukcja bijaka. Masa bijaka wynosi 460 gramów.

W przeprowadzonych badaniach, urządzenie posiadało 3 konfiguracje energii uderzenia (tabela 1).

Tabela 1. Zestawienie energii uderu i odpowiadających im konfiguracji urządzenia

Lp.	Energia uderzenia	Masa bijaka	Wysokość spadku
1	2,5 J	460 g	554 mm
2	5 J	920 g	554 mm
3	10 J	1460 g	698 mm

Naprawy próbek poddanych obciążeniu udarowemu dokonano w technologii remontu polowego, stosując nakładkę z tkaniny szklanej o gramaturze 150 g/m² i żywicę Epidian 53 + Z1. Wszystkie próbki zostały naprawione w tych samych warunkach, z wykorzystaniem tej samej technologii naprawy. Każda próbka została wzmocniona jedną warstwą maty szklanej przesyconej żywicą. Powierzchnia próbek została przygotowana do klejenia metodą szorstkowania papierem ściernym o uziarnieniu 240 i przemyta benzyną ekstrakcyjną. Kompozycję klejową sporządzono, na bazie żywicy epoksydowej Epidian 53 i utwardzacza Z1 w proporcji 10:1.

Do wykonania badań wytrzymałości na zginanie wykorzystano maszynę wytrzymałościową Zwick Roell Z100.

W celu określenia danych wyjściowych do badań porównawczych 5 próbek zostało poddane próbie zginania 3-punktowego, w celu określenia pierwotnej wytrzymałości na zginanie badanego materiału. Oce-

na wpływu niskoenergetycznych obciążeń uderowych na doraźną wytrzymałość kompozytu warstwowego przebiegła w dwóch etapach.

W pierwszym etapie, próbka w kształcie płytki prostokątnej o wymiarach 60x80 mm i grubości 4 mm była umieszczana w specjalnym uchwycie w formie dwóch żeliwnych płyt z centralnym otworem o średnicy 40mm, a następnie była obciążana uderowo, z określoną energią, poprzecznie wzdłuż osi symetrii.

W drugim etapie, próbka była badana pod kątem doraźnej wytrzymałości na zginanie, zgodnie z normą PN – EN ISO178, która zakłada stosunek rozstawu podpór do grubości próbki wynoszący 16:1.

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano wyniki średniej wytrzymałości na zginanie próbek materiału kompozytowego poddanego poprzecznemu obciążeniu uderowemu o różnych energiach uderzenia, oraz wytrzymałości na zginanie po wykonanej naprawie (tabela 2).

Tabela 2. Średnia wytrzymałość na zginanie

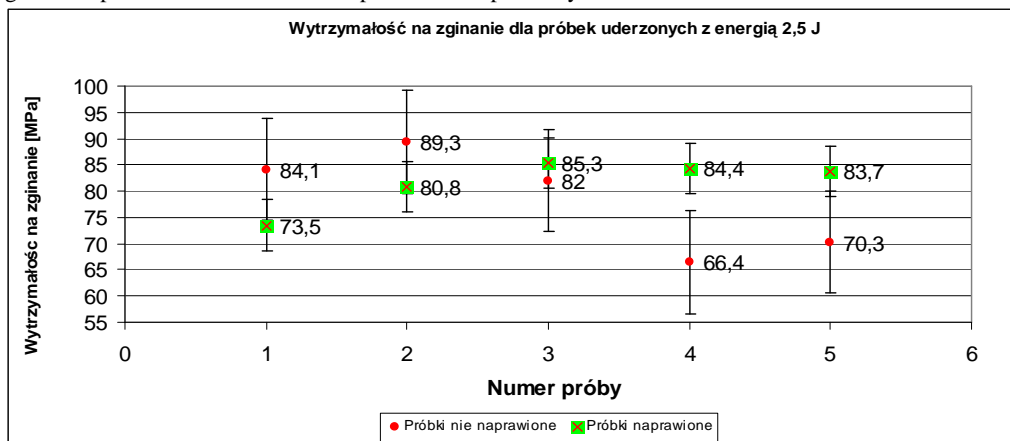
Energia uderu [J]	Naprawa	$R_{g\bar{s}r}$ [MPa]
2,5	BRAK	79,09
	NIE	78,34
	TAK	81,54
5	NIE	77,68
	TAK	90,92
10	NIE	49,01
	TAK	90,72

W pierwszej serii próbek, która została obciążona poprzecznym uderem o energii 2,5 J, jedynie nieznacznie obniżyła się wytrzymałość na zginanie badanego materiału. Następnie na próbkach została przeprowadzona naprawa technologią remontu połowego.

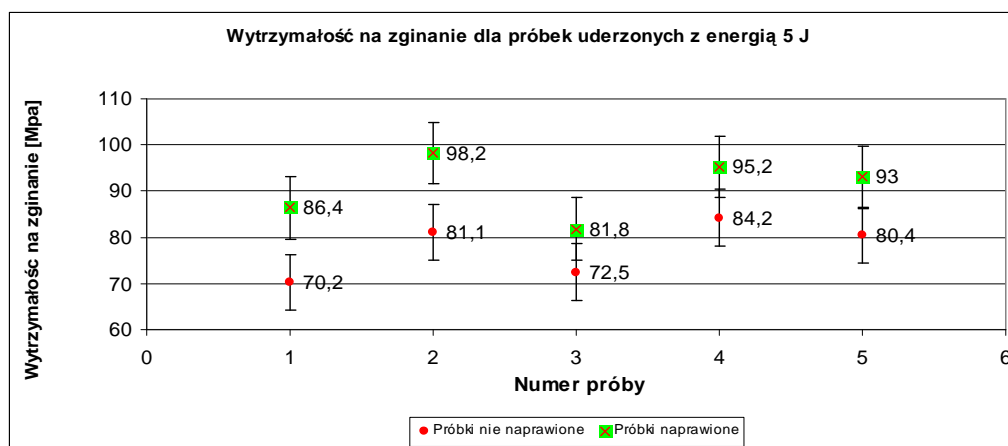
Wytrzymałość próbek naprawionych w ten sposób, wzrasta nieznacznie (4% w stosunku do materiału nie naprawianego).

Druga seria próbek została poddana oddziaływaniu poprzecznego obciążenia uderowego o energii 5 J. Ich wytrzymałość doraźna, mimo że zmniejsza się, nie jest znacząco mniejsza od wytrzymałości próbek w obciążonych z energią 2,5 J (spadek o 1,8%).

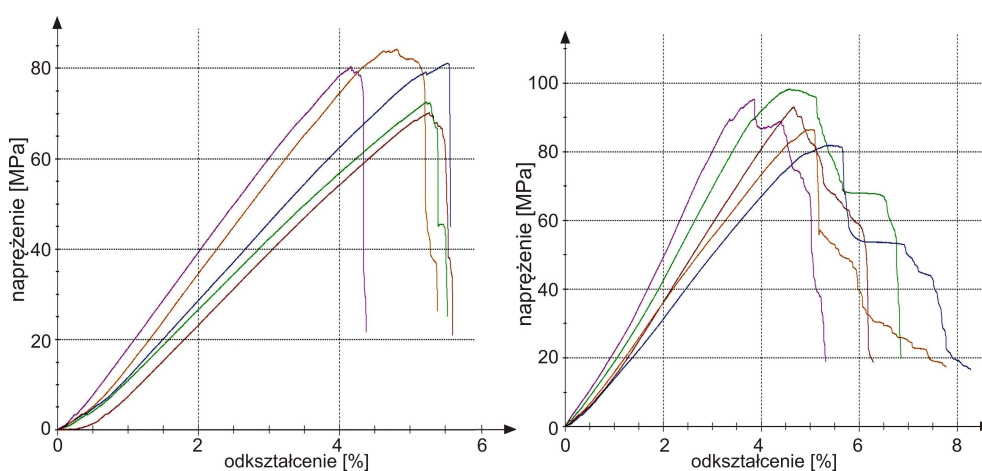
Seria próbek naprawionych w zakresie napraw połowych wykazała wzrost średniej wytrzymałości na zginanie o ponad 17% w stosunku do próbek nie naprawianych.



Rys. 6. Wytrzymałość na zginanie próbek poddanych obciążeniu uderowemu o energii 2,5 J



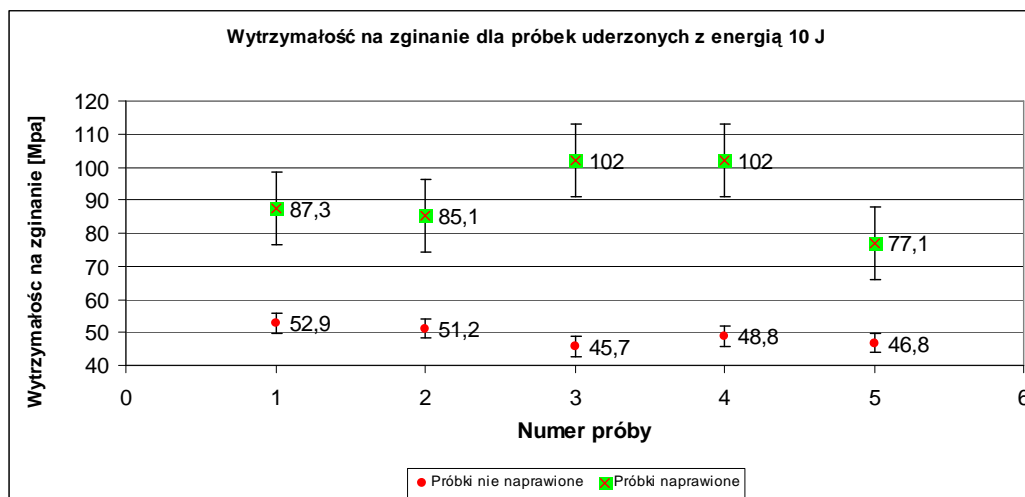
Rys. 7. Wytrzymałość na zginanie próbek poddanych obciążeniu uderowemu o energii 5 J



Rys. 8. Charakterystyki wytrzymałości na zginanie próbek po obciążeniu uderowym o energii 5 J: nie naprawiane (z lewej) oraz poddane naprawie w warunkach polowych (z prawej)

Mniej gwałtownie w tym przypadku przebiega również proces zniszczenia próbek. W przypadku naprawy próbek obciążonych uderowo z energią 5 J, porównując charakterystyki wykresów wytrzymałościowych można wyraźnie zauważyć różnicę w ich przebiegu, szczególnie po przekroczeniu dopuszczalnej wytrzymałości na zginanie (rys. 8).

Próbki naprawione, po oddziaływaniu poprzecznego obciążenia uderowego o energii 10 J wykazały wzrost wytrzymałości na zginanie w stosunku do próbek z tym samym uszkodzeniem lecz nie poddawanych naprawie o ponad 80% (rys. 9). W tym przypadku, celowość naprawy uszkodzenia, nawet technologiami remontów polowych jest bezdyskusyjna.



Rys. 9. Wytrzymałość na zginanie próbek poddanych obciążeniu udarowemu o energii 10 J

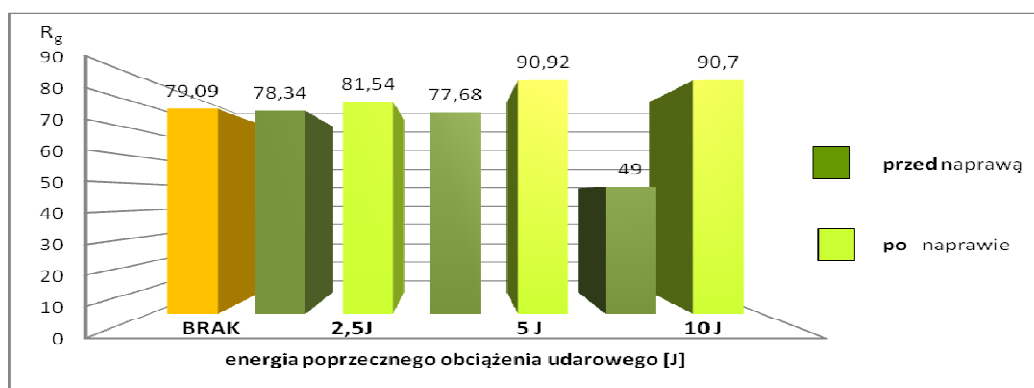
WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdziły wpływ niskoenergetycznych poprzecznych obciążeń udarowych na wytrzymałość doraźną materiału kompozytowego (laminatu). Energia uderzenia 10 J odpowiada upadkowi przedmiotu o masie około 1,5 kg z wysokości około 70 cm, zatem upuszczenie narzędzia o podobnej masie z takiej wysokości może powodować znaczne osłabienie struktury laminatu. Uszkodzenie w przypadku uderzenia o niższych energiach jest zwykle trudne do zlokalizowania, ponieważ zewnętrzna powłoka zazwyczaj pozostaje nieuszkodzona.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

- uszkodzenie spowodowane poprzecznymi obciążeniami udarowymi powoduje degradację właściwości wytrzymałościowych materiałów kompozytowych,
- naprawa w technologii napraw polowych, z zastosowaniem najprostszych technologii skutkuje:
 - o poprawą wytrzymałości doraźnej w każdym przypadku uszkodzenia udarowego;
 - o wyraźnym wzrostem wytrzymałości doraźnej w przypadku uszkodzeń wywołanych obciążeniami udarowymi o energii 10 J (rys.10),
 - o złagodzeniu charakteru przebiegu zniszczenia.

Charakter przebiegu wykresu wytrzymałości na zginanie materiałów kompozytowych poddanych poprzecznemu obciążeniu udarowemu i dokonaniu naprawy technologią remontu polowego świadczy o celowości dokonywania takiej drobnej naprawy w przypadku nawet niewielkiego (2,5 J) uderzenia. Po przekroczeniu wytrzymałości na zginanie proces zniszczenia w próbkach poddanych naprawie przebiega łagodniej, skąd wynika, że trwa dłużej do całkowitego zniszczenia materiału. W konstrukcjach lotniczych należy to zinterpretować jako czas, który może być wykorzystany na wykonanie np. pełnego manewru do lądowania zanim element kompozytowy statku powietrznego ulegnie zniszczeniu.



Rys. 10. Wytrzymałość doraźna na zginanie dla poszczególnych serii

Przeprowadzone badania wykazały celowość napraw polowych uszkodzeń lotniczych struktur kompozytowych wywołanych niskoenergetycznym obciążeniem uderowym nawet o niewielkiej energii (2,5 J). Ponadto pozwoliły określić orientacyjny zakres energii poprzecznych obciążeń uderowych dla których należałoby przeprowadzić bardziej szczegółowe badania (5...10 J). Wykonane badania wskazują również na potrzebę przeprowadzenia badań wytrzymałości zmęczeniowej materiałów kompozytowych obciążonych uderowo.

LITERATURA

1. J. Lewitowicz, Podstawy eksploatacji statków powietrznych, ITWL, Warszawa 2001
2. A. Bełzowski, Z. Rechul, J. Stasiński, Uszkodzenia uderowe w laminacie wzmocnionym tkaniną szklaną *Kompozyty* 5/2002
3. J. Godzimirski, Technologia napraw samolotów i śmigłowców – naprawy polowe, WAT, Warszawa, 1987

THE REPAIR OF LOW-ENERGY IMPACT-RELATED DAMAGES IN AVIATION COMPOSITE ELEMENTS

Abstract. Composites are one of ultramodern materials used in aviation constructions. In such applications, a very high strength and low density of these materials are very important. Aircraft's service conditions jeopardize composite structures on impact loading. Composites can fail in wide variety of modes and contain barely visible impact damage (BVID) which nevertheless severely reduces the structural integrity of component. Moreover, low-energy impact weaken the composite laminates properties. The influence on the flexural strength R_g and vital necessity of the repair after low-energy impact composite aerial elements is presented in the paper.

Dorota STADNICKA
Politechnika Rzeszowska
Rzeszów

SYMULACYJNA LINIA MONTAŻOWA DO NAUCZANIA NARZĘDZI LEAN MANUFACTURING

SIMULATION ASSEMBLY LINE FOR LEARNING LEAN MANUFACTURING TOOLS

WPROWADZENIE

Firmy funkcjonujące na dzisiejszym rynku, aby się na nim utrzymać, muszą być konkurencyjne. Można wymieniać wiele czynników konkurencyjności firmy, ale dwoma najbardziej oczywistymi są jakość wyrobów i ich cena. Jakość i cena są ze sobą bardzo ściśle związane. Firmy chcąc konkurować ceną często obniżają jakość. Ale powszechnie stosowane są również inne praktyki obniżania ceny, takie jak obniżanie kosztów poprzez zwalnianie pracowników z pracy i przydzielanie pracy przez nich wykonywanej pozostałym osobom w firmie. Nie może być to dobre rozwiązanie, szczególnie na dłuższą metę, ponieważ przepracowani pracownicy popełniają więcej błędów, a to generuje koszty organizacji. I koło się zamyka.

Pod koniec ubiegłego stulecia pojawiła się filozofia szczupłego myślenia. Za twórców *lean management* uważa się Sakichi Toyoda, Kaiichiro Toyoda i Taiichi Ohno. [1]. Jednakże nazwę *lean manufacturing* po raz pierwszy zastosowali James P. Womack, Daniel T. Jones i Daniel Roos w książce „*The Machine That Changed the World*” [3].

Głównym założeniem szczupłego myślenia jest stwierdzenie faktu, że w organizacji występują straty. Singeo Singo zidentyfikował osiem głównych strat w procesach. Są to straty wynikające z nadprodukcji, utrzymywania nadmiernych zapasów, zbędnego transportu, oczekiwania, zbędnych ruchów wykonywanych przez pracowników, zbędnego przetwarzania, błędów i braków oraz ze straconej kreatywności pracowników [6].

Głównym celem koncepcji *lean* stała się eliminacja tych strat. Z czasem dla realizacji tego celu rozwinęły się różne narzędzia zwane narzędziami *lean manufacturing*.

PRZEGLĄD METOD I NARZĘDZI LEAN MANUFACTURING

Znanych jest wiele narzędzi *lean*. Koncepcja stosowania większości z nich jest bardzo prosta, a ich stosowanie wiąże się w większości przypadków z niewielkimi kosztami. Najbardziej popularnymi narzędziami są:

- *Metoda 5S* – wprowadzanie 5S w organizacji, czy na stanowisku pracy wiąże się z wdrożeniem następujących działań: selekcja, systematyka, sprzątanie, standaryzacja i samodyscyplina, które mają na celu zapewnienie, że na stanowisku pracy będą znajdowały się tylko rzeczy potrzebne do pracy, że będą one rozmieszczone w określonym porządku, ułatwiając pracę na uporządkowanym i czystym stanowisku, że będą ustalone standardy pracy dla stanowiska i że będą one przestrzegane przez świadomego pracownika. Stosowanie 5S jest powiązane z wizualizacją, która ułatwia zrozumienie tego, co dzieje się na stanowisku pracy i pomaga szybko dostrzegać pojawiające się problemy [2];

- *SMED (Single Minute Exchange of Die)* – metoda wykorzystywana do redukcja czasów przezbrajania maszyn technologicznych i czasów operacji serwisowych. Głównym celem metody jest skrócenie czasu przebrojenia maszyny, które zakłóca przepływ w strumieniu wartości, ale jednocześnie jest niezbędne przy produkcji różnorodnego asortymentu. Metoda skupia się na identyfikowaniu czynności realizowanych w procesie przezbrajania, które można zakwalifikować, jako czynności zbędne lub zewnętrzne i możliwe do

zrealizowania w czasie pracy maszyny. Zwraca również uwagę na możliwości upraszczania procesu przeobrażenia np. poprzez stosowanie szybkozłączy lub pakietów narzędzi wykorzystywanych w operacji przeobrażenia. Stosowanie metody SMED jest powiązane ze stosowaniem zasad 5S [9];

- *TPM (Total Productive Maintenance)* – kompleksowe utrzymanie maszyn jest strategią, której celem jest zapewnienie ciągłej sprawności maszyn i urządzeń i ich efektywnej i bezawaryjnej pracy. Jednym z głównych założeń *TPM* jest to, że za osiągnięcie tego celu jest odpowiedzialny nie tylko dział utrzymania ruchu firmy, ale również każdy z operatorów [7];

- *Poka Yoke* – oznacza unikanie błędów poprzez zastosowanie rozwiązań organizacyjnych bądź technicznych. Opiera się na założeniu, że każdy popełnia błędy i można im zapobiec tylko wtedy, jeżeli uniemożliwimy pracownikom popełnianie błędów. Jednym z celów wdrażania *Poka Yoke* jest eliminacja kontroli jakości tam, gdzie można zastosować rozwiązania typu *Poka Yoke*. Typowymi rozwiązaniami stosowanymi w celu zapobiegania błędom są termostaty stosowane w kuchenkach gazowych, czy różne rodzaje złączy [6];

- *Mapowanie strumienia wartości (Value Stream Mapping)* – koncepcja mapowania strumienia wartości po raz pierwszy została przedstawiona przez Mike’a Rothera i Johna Shooka w książce *“Learning to See”*. Głównym celem stosowania mapowania strumienia wartości jest zidentyfikowanie tego, co dzieje się w strumieniu przepływu wartości. Wartość wyznaczana jest z punktu widzenia klienta. Procesy realizowane w strumieniu wartości powinny ją tworzyć, ale niestety nie każdy z procesów tworzy wartość dodaną. W strumieniu występują również procesy niedodające wartości, a także inne straty, których istnienie może być zauważone po zmapowaniu całego strumienia wartości, w którym przepływają zarówno materiały jak i informacje. Metoda wykorzystuje zestaw symboli graficznych, za pomocą których w prosty wizualny sposób przedstawiane jest to, co dzieje się w całym strumieniu. Mapowanie stanu aktualnego jest pierwszym krokiem w doskonaleniu przepływu strumienia wartości, podczas którego wykorzystuje się również inne narzędzia *lean* [4];

- *Karty Kanban i system ssący typu Supermarket* – karty Kanban występują w dwóch postaciach: kart Kanban transportowych i kart Kanban produkcyjnych. Karty Kanban produkcyjne pełnią rolę zleceń produkcyjnych i krążą w systemie produkcyjnym pomiędzy supermarketem a stanowiskiem dostawczym. Karty Kanban transportowe są zleceniem dostawy i krążą pomiędzy supermarketem a stanowiskiem odbiorczym. Zadaniem Kanbanu jest sterowanie zapasami występującymi w systemie produkcyjnym. System pozwala prawie na całkowitą eliminację magazynów. Formę magazynu stanowią Supermarkety, które mieszczą określoną ilość materiałów, półwyrobów i wyrobów i rozmieszczone są w różnych miejscach systemu produkcyjnego pomiędzy stanowiskami pracy tam, gdzie nie jest możliwe wdrożenie przepływu ciągłego [8];

KONCEPCJA LEAN LEARNING AKADEMII

Chociaż koncepcja *lean manufacturing* jest szeroko znana na świecie to jednak w polskich przedsiębiorstwach nie często spotyka się zastosowanie narzędzi *lean*. Do niektórych firm wraz z kapitałem zagranicznym przyszły nowe zasady i ogórne zarządzenia dotyczące wdrażania koncepcji doskonalących procesy realizowane w przedsiębiorstwach. Szefowie firm polskich natomiast niechętnie patrzą, czy to na 5S, *TPM*, czy na inne narzędzia, oceniając je, jako niepotrzebne lub odrywające pracowników od pracy, którą powinni wykonać, czyli od produkcji. Nie rozumieją, jakie korzyści mogą przynieść ich firmom proste do wdrożenia metody i boją się, że zmiany mogą być niekorzystne dla przedsiębiorstwa.

Utworzenie *Lean Learning Akademii* oraz zaprojektowanie montażowej linii symulacyjnej zostało zainicjowane przez firmę *Volvo Cars Gent z Belgii*, która znając zalety narzędzi *lean* poszukiwała prostego sposobu, za pomocą którego mogłaby nauczać swoich pracowników, jak stosować narzędzia *lean*. A jednocześnie przekonać ich o skuteczności tych narzędzi poprzez zaskakujące korzyści z ich stosowania na symulacyjnej linii montażowej.

W celu zwiększenia wartości projektu do współpracy zaproszono następujące firmy oraz uczelnie wyższe:

- Volvo Powertrain AB Skövde, Szwecja,
- Associação Comunidade Lean Thinking, Portugalia,
- Siemens Program and System Engineering S.R.L, Rumunia,
- PRZEMOT H.P.T. Chmiel s.j., Polska,
- Katholieke Hogeschool Sint-Lieven, Belgia,
- University of Skövde, Szwecja,
- Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugalia,
- Universitatea Transilvania din Brasov, Rumunia,
- Politechnikę Rzeszowską, Polska.

W wyniku współpracy tych organizacji powstała *Lean Learning Academy* [11]. Na Politechnice Rzeszowskiej funkcjonuje rzeszowski oddział Akademii [10].

Celem funkcjonowania *Lean Learning Academy* jest:

- zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw,
- wzmocnienie zdolności studentów, absolwentów, pracowników i menedżerów do znalezienia pracy,
- uatrakcyjnienie programów nauczania inżynierów,
- zwiększenie korzyści ze studiowania w obszarze nauki i technologii.

Lean Learning Academy uczy stosowania zasad i narzędzi szczupłej produkcji, skupiając się na następujących zagadnieniach:

- myślenie kategoriami *lean*,
- ciągłe doskonalenie,
- praca standardowa,
- ustalanie taktyki,
- TPM,
- mapowanie strumienia wartości,
- FMEA,
- SMED,
- 5S,
- Poka Yoke,
- JIT/Kanban, przepływ jednej sztuki, heijunka,
- rozmieszczenie wyposażenia w zakładzie przemysłowym,
- jakość,
- ocena lean, audit lean, benchmarkingu,
- praca zespołowa,
- zarządzanie wizualne,
- bezpieczeństwo.

Jakość wyników prac podjętych w ramach projektu podlega ocenie zewnętrznego oceniającego z niezależnej firmy Amelior. Wyniki prac konsultowane są z członkami grup rezonansowych, w skład których wchodzi pracownicy uczelni wyższych i przedsiębiorstw.

KONCEPCJA LINII SYMULACYJNEJ DO MONTAŻU DŁUGOPISÓW

Dzięki symulacyjnej linii do montażu długopisów studenci mogą w praktyce poznać zalety stosowania lean. Na linii odbywa się prosty proces montażu długopisów realizowany ręcznie na kilku stanowiskach pracy. Montowany jest długopis, który składa się z 7 elementów (rys. 1). Aby rozbudować proces montażu do długopisu dodano element dekoracyjny.



Rys. 1. Montowany wyrób

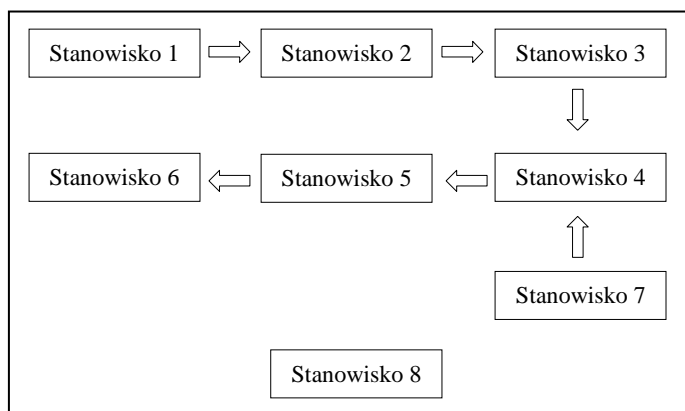
Na poszczególnych stanowiskach realizowane są następujące zadania:

- stanowisko 1 – zakładanie sprężynki na wkład,
- stanowisko 2 – nakładanie opaski gumowej na obudowę dolną i umieszczanie wkładu ze sprężynką w obudowie,
- stanowisko 3 – montaż kompletnego długopisu,
- stanowisko 4 – montaż elementu dekoracyjnego,
- stanowisko 5 – kontrola,
- stanowisko 6 – pakowanie,
- stanowisko 7 – przygotowanie elementu dekoracyjnego,
- stanowisko 8 – wystawianie zleceń produkcyjnych przez kierownika produkcji.

Rozmieszczenie stanowisk na linii prezentuje rys. 2. Na każdym stanowisku pracy znajduje się instrukcja pracy, a na stanowisku 5 instrukcja kontroli i odpowiednie formularze do rejestracji wyrobów niezgodnych. Montaż realizowany jest w oparciu o wystawiane przez kierownika produkcji zlecenia produkcyjne. Oprócz osób realizujących pracę na przedstawionych ośmiu stanowiskach w grze symulacyjnej biorą udział inne osoby realizujące następujące zadania:

- dostawy materiałowe,
- chronometraż dla poszczególnych stanowisk pracy,
- analizę SMED dla stanowiska wymagającego przezbierania.

Na linii montażowej montowane są długopisy w czterech kolorach, co powoduje konieczność przezbierania. Analizę SMED prowadzi się dla stanowiska przygotowania elementu dekoracyjnego.



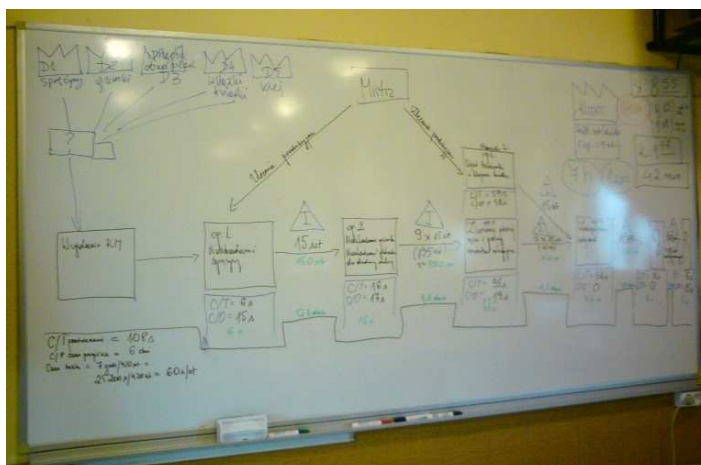
Rys. 2. Rozmieszczenie stanowisk na symulacyjnej linii montażowej

MAPOWANIE STRUMIENIA WARTOŚCI

Praca realizowana na stanowiskach podlega obserwacji chronometrażystów. Zbierają oni dane o czasach trwania poszczególnych operacji montażowych. Po określonym czasie praca na linii jest wstrzymywana celem analizy uzyskanych wyników. Przygotowywana jest mapa przepływu strumienia wartości dla stanu aktualnego. Rys. 3 prezentuje przykładową mapę przygotowaną na jednej z sesji symulacji procesu montażu długopisów.

Po narysowaniu mapy analizuje się aktualną sytuację na linii oceniając:

- Ile wyrobów gotowych wyprodukowano w założonym czasie?
- Jak długo trwało wyprodukowanie pierwszego wyrobu, który zszedł z linii?
- Ile czasu pochłaniają operacje wykonywane na linii?
- Gdzie występują i z czym są związane straty czasu?
- Gdzie pojawiły się zapasy?
- Który punkt w systemie jest „wąskim gardłem”?
- Czy w obecnej sytuacji możliwe jest wyprodukowanie zamówionej przez klienta liczby wyrobów?
- Czy zidentyfikowano wyroby niezgodne i jaki charakter miały niezgodności?
- Jakie problemy pojawiły się na linii, jakie były ich przyczyny i jak można je rozwiązać?
- Czy możliwe jest skrócenie czasu przezbroyenia na stanowisku przygotowania elementu dekoracyjnego?
- Czy można zastosować jakieś rozwiązania techniczne lub organizacyjne, które poprawiłyby funkcjonowanie linii montażowej?



Rys. 3. Mapa strumienia wartości dla linii montażowej – stan aktualny

Celem analizy stanu obecnego jest zidentyfikowanie miejsc powstawania strat i zaproponowanie sposobów ich eliminacji.

PRZEPROWADZANE ANALIZY I ZASTOSOWANE NARZĘDZIA LEAN

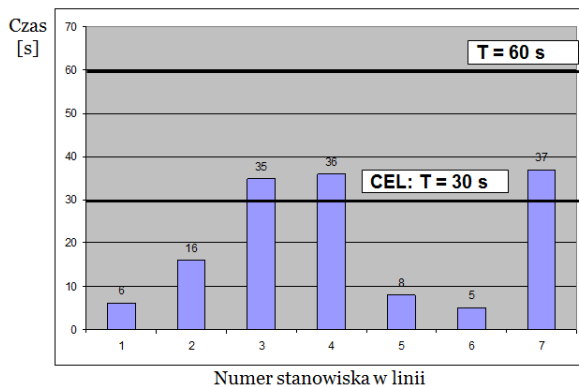
W celu doskonalenia pracy linii uczestnicy symulacji są zachęceni do stosowania następujących narzędzi *lean*:

- analizy SMED z rejestracją czynności wykonywanych podczas przezbroyenia i czasów ich trwania, rejestracją narzędzi wykorzystywanych w procesie przezbroyenia oraz narzędzi i materiałów

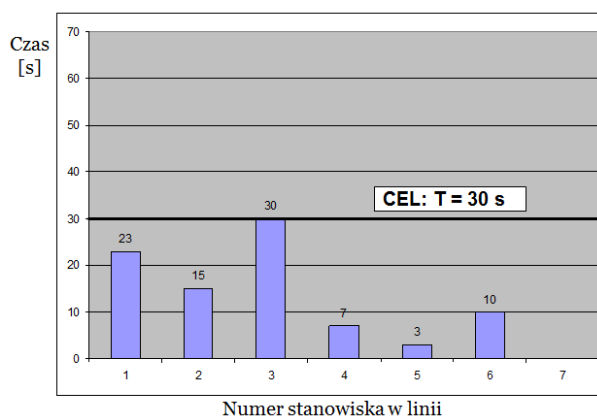
- potrzebnych do realizacji operacji produkcyjnej i rysowaniem wykresu spaghetti dla przejść operatora wykonującego przebrojenie,
- chronometrażu czasów wykonywania operacji,
 - mapowania strumienia wartości dla zobrazowania sytuacji występującej na linii montażowej,
 - metody 5S dla skrócenia czasu przebrojenia oraz uporządkowania poszczególnych stanowisk pracy,
 - wizualizacji dla lepszej oceny tego, co dzieje się na poszczególnych stanowiskach oraz łatwiejszej pracy na stanowiskach,
 - pracy zespołowej dla skuteczniejszego poszukiwania rozwiązań zidentyfikowanych problemów,
 - bilansowania linii montażowej poprzez reorganizację pracy na poszczególnych stanowiskach,
 - kart Kanban i systemu ssącego typu supermarket,
 - ciągłego przepływu,
 - kolejki FIFO,
 - rozwiązań typu Poka Yoke dla zapobiegania błędom w montażu.

Na podstawie danych z mapy strumienia wartości dokonywana jest analiza czasów trwania operacji na poszczególnych stanowiskach pracy (rys. 4). Czas taktu T uzależniony jest od zamówienia klienta. Jednym z zadań uczestników symulacji jest zbilansowanie linii montażowej. Na rys. 5 przedstawiono czasy trwania operacji na poszczególnych stanowiskach na linii montażowej po wprowadzeniu zmian na linii. Z rysunku wyraźnie wynika, że mimo poprawy linia ciągle nie jest zbilansowana i wymaga wprowadzenia dalszych zmian. Dzięki możliwości symulacji pracy studenci mogą bezkarnie wprowadzać zmiany i oceniać wyniki tych zmian. w rzeczywistym przedsiębiorstwie nie byłoby to możliwe. Dlatego tak ważna jest *Lean Learning Academy*, bo pokazuje, jakie mogą być skutki określonych działań, bez konieczności ponoszenia strat w przypadku podjęcia niewłaściwych decyzji, a jednocześnie pokazuje, że doskonalenie nigdy nie ma końca.

Duży nacisk kładziony jest na zaangażowanie operatorów w analizę problemów, które pojawiły się na ich stanowiskach pracy, co uświadamia, że to właśnie pracownicy najlepiej potrafią zidentyfikować problemy na swoich stanowiskach pracy i zaproponować ciekawe rozwiązania. Pokazuje to również, że nie wszystko jest takie, jak wydaje się być z zewnątrz i że próby narzucania rozwiązań mogą być nie tylko źle odbierane przez pracowników, ale i zupełnie niedostosowane do faktycznych przyczyn problemów. To pracownicy linii mają za zadanie opracować koncepcje pomocy warsztatowych, które mogłyby ułatwić im montaż.



Rys. 4. Analiza czasów trwania operacji na poszczególnych stanowiskach na linii montażowej



Rys. 5. Analiza czasów trwania operacji na poszczególnych stanowiskach na linii montażowej po reorganizacji i wprowadzeniu usprawnień

PROBLEMY NA LINII MONTAŻOWEJ I MAPA STANU PRZYSZŁEGO

Jednym z zadań zrealizowanych w celu doskonalenia funkcjonowania linii montażowej jest zidentyfikowanie i rozwiązanie problemów, które się pojawiają. W tabeli 1 przedstawiono problemy, które zostały zidentyfikowane podczas jednej z sesji symulacyjnych.

Uczestnicy symulacji mają za zadanie zastosować usprawnienia pracy linii. Powstaje, więc mapa przepływu strumienia wartości – stan przyszły, który od razu jest wdrażany (rys. 6).

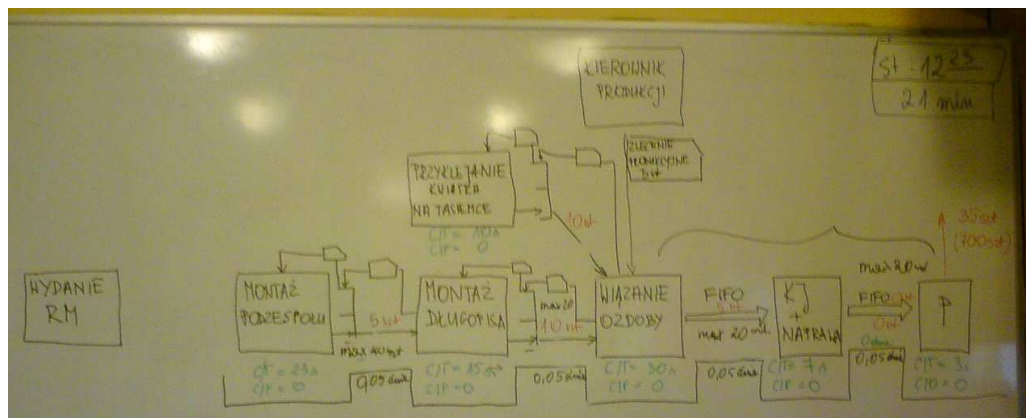
Na zmienionej linii produkcyjnej realizowana jest praca. Po określonym czasie dokonywana jest analiza pracy linii. W tabeli 2 przedstawiono problemy, które zidentyfikowano w wyniku dalszych analiz w prezentowanym przykładzie.

Tab. 1. Zidentyfikowane problemy, ich przyczyny i propozycje rozwiązań ustalone z wykorzystaniem burzy mózgów i pracy zespołowej

Problem	Przyczyna	Propozycja rozwiązania
Niewłaściwy kolor wkładu w długopisie	Pomieszane kolory wkładów w pudełku	Kontrola dostaw Kontrola na pierwszym stanowisku Zmiana koloru obudowy wkładu
Problem z montażem sprzęgła	Część sprzęgła nie wchodziła do obudowy	Zmiana dostawcy Reklamacja do dostawcy
Nie można zwolnić serii, gdy pojawiły się sztuki wadliwe	Zlecenie jest na dużą partię Brak procedur zwalniania niepełnej partii	Zwolnić wyroby zgodne. Na zleceniu adnotacja o wyrobach niezgodnych Zmniejszyć wielkość partii.
Brak technologii naprawy wadliwych wyrobów Brak zlecenia naprawy wadliwych wyrobów	Brak odpowiedniego zarządzania	Nadanie uprawnień odpowiednim osobom Próba naprawy przez kontrolera Ustawianie priorytetu naprawy Wyroby niezgodne od razu złomować

Tab. 1. cd.

Problem	Przyczyna	Proponycja rozwiązania
Zlecenia produkcyjne pokreślone na kolorowo	Brak kartki, aby operator mógł sprawdzić kolor	Zapewnić kartkę papieru do testowania koloru
Stanowisko drugie – za mało miejsc odkładczych	Za dużo zapasów Następne stanowisko za wolno pracuje	Zmniejszyć zapasy Zwiększyć zatrudnienie na następnym stanowisku
Problemy przy nakładaniu opasek gumowych	Opaski gumowe za ciasne	Poprawić kontrolę dostaw Zapewnić operatorowi przyrząd pomocniczy
Zamiana kolejności realizacji zleceń	Bałagan na stanowisku	Posprzątać – wprowadzić 5S
Odklejanie się kwiatków	Za krótki czas schnięcia Nie wiadomo, w jakiej kolejności przyklejane były kwiatki Nie wszystkie kwiatki miały taki sam czas schnięcia	Wprowadzenie kolejki FIFO
Klej za długo schnie i się ciągnie	Niewłaściwy klej Niewłaściwy dozownik – dozuje różną ilość kleju	Wymienić klej Zapewnić precyzyjny dozownik
Brak środków ochrony indywidualnej (szczególnie na stanowisku klejenia)	Nikt o tym nie pomyślał, że mogą być potrzebne	Zakupić rękawiczki
Problemy z rozwijaniem wstążki Rozpadła się szpulka	Tasiemka niewłaściwie nawinięta na szpulkę	Kontrola dostaw
Problem z przebrojeniem na stanowisku klejenia	Bo potrzebny jest klucz Bo częste zmiany szpułek ze wstążkami	Zastosowanie śruby motylkowej Zastosowanie przyrządu ze szpułkami ze wszystkimi potrzebnymi kolorami wstążek
Wielokrotny transport	Brak jasnych dyspozycji	Zapewnienie kompletu elementów



Rys. 6. Przykładowa mapa strumienia wartości – stan przyszły

Tab. 2. Zidentyfikowane na udoskonalonej linii montażowej problemy, ich przyczyny i propozycje rozwiązań ustalone z wykorzystaniem burzy mózgów i pracy zespołowej

Problem	Przyczyna	Propozycja rozwiązania
Trudno rozróżnić kolory wkładów na pierwszym stanowisku (czarny i niebieski)	Słabe oświetlenie	Zainstalować dodatkowe oświetlenie
Brak synchronizacji zleceń produkcyjnych	Brak ustalonej kolejności wracania kart Kanban Zbyt dużo kart Kanban w procesie produkcyjnym	Wprowadzenie tablic Kanban z ograniczoną liczbą miejsc Ustalenie max liczby kart Kanban
Brak wolnej karty Kanban do przekazania na poprzednie stanowisko	Nie zapewniono właściwej liczby kart	Podwojenie liczby kart Kanban do dyspozycji operatora na stanowisku 4
Problem ze zwolnieniem partii	Zidentyfikowano braki nienaprawialne	Zapewnić zapas kompensacyjny
Dużo wyrobów niezgodnych	Wada części – trudności montażu	Konsultacje z dostawcą

TESTOWANIE SYMULACYJNEJ LINII MONTAŻOWEJ

Symulacyjna linia montażowa została przetestowana z uczestnictwem studentów Politechniki Rzeszowskiej oraz pracowników firm takich jak Stomil Sanok S.A., Restol sp. z o.o., Hispano-Suiza Polska Sp. z o.o., Dezamet S.A., PZL “WSK-Rzeszów” S.A., Norbert Polska Sp. z o.o. i in. Linia montażowa jest przenośna i może zostać łatwo i szybko zorganizowana w różnych miejscach (rys. 7 i rys. 8).



Rys. 7. Instalacja linii montażowej długopisów na Politechnice Rzeszowskiej



Rys. 8. Linia montażowa zorganizowana w ośrodku szkoleniowym

PODSUMOWANIE

Nauczanie narzędzi *lean* jest niezbędne, aby dać firmom szansę na doskonalenie organizacji swoich procesów produkcyjnych. Symulacyjna linia montażowa pozwala w prosty i jednocześnie przyjemny sposób testować koncepcje i narzędzia *lean* oraz łatwiej zrozumieć możliwości ich zastosowania. Powszechnie wiadomo, że nauka poprzez gry i zabawy przynosi dużo lepsze rezultaty niż jakikolwiek inny sposób nauczania. Podczas symulacji można przekazać nie tylko wiedzę, ale także pozyskać zaangażowanie pracowników. Rozwijają się zdolności twórcze oraz praca zespołowa. Uczestnicy symulacji mają szansę przekonać się, jakie rezultaty dają ich pomysły, a nawet, gdy nie są one dobrym rozwiązaniem istniejących problemów to nie przyniesie to szkody, ponieważ wszystko to tylko symulacja. Studenci mają szansę zobaczyć, jak można stosować narzędzia *lean* i jakie efekty przynosi ich stosowanie. Studenci są zadziwieni tym, jak w prosty sposób można udoskonalić organizację procesów wytwórczych.

Mimo takich samych założeń dla funkcjonowania linii za każdym razem symulacja daje inne rezultaty. Wszystko zależy od kreatywności, ale również doświadczeń uczestników symulacji. Studenci w większości nie mają dużych doświadczeń produkcyjnych, pracownicy firm natomiast wywodzą się z różnych organizacji, które realizują różnego rodzaju produkcję. Czasem mają doświadczenia z produkcji jednostkowej, czasem z produkcji seryjnej. Ale bez względu na rodzaj realizowanej w ich firmie produkcji zawsze możliwe jest tam zastosowanie wybranych narzędzi *lean*. Uczestnictwo w symulacji daje szansę również na ocenę narzędzi *lean* i możliwości ich zastosowania we własnym przedsiębiorstwie.

LITERATURA

1. Liker Jeffrey K.: *Droga Toyoty*. MT Biznes. 2005
2. Pawlak W.R.: *Praktyki 5S w przedsiębiorstwach i instytucjach, czyli dbałość o porządek i skrzętne gospodarowanie*. Wydawnictwo: WEKA. Warszawa 2002
3. Ross Daniel, Womack James P., Jones Daniel T.: *Maszyna, która zmieniła świat*. ProdPress, 2007
4. Rother Mike, Shook John: *Naucz się widzieć*. Wydawnictwo: Lean Enterprise Institute. Wydanie 2, 2009
5. Shingo Shigeo: "Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system", Portland, Oregon, Productivity Press, 1986
6. Singo Shigeo: "Zero Quality Control". Japan Management Association. Tokio, 1985
7. Steven Borris, "Total Productive Maintenance", McGraw-Hill, 2006
8. The Productivity Press Development Team: *Kanban na hali produkcyjnej*. Wydawnictwo: ProdPress. Wrocław 2009
9. The Productivity Press Development Team: *Szybkie przebrojenie dla Operatorów: System SMED*. ProdPublishing, 2010

10. leanacademy.portal.prz.edu.pl

11. www.leanlearningacademy.eu

SIMULATION ASSEMBLY LINE FOR LEARNING LEAN MANUFACTURING TOOLS

Abstract. *In the article the concept of simulation assembly line developed in Lean Learning Academy is presented. Simulation line is going to be use in learning lean manufacturing tools students and company employees. The article includes an example of a simulation results for simulation, which has been done with employees of two production companies.*

Wykaz autorów i specjalistów

współpracujących z Wydziałem Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej
oraz Zakładem Obrabiarek i Technologii Montażu
Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego
w zakresie montażu maszyn i połączeń montażowych,
których prace opublikowano w niniejszym Zeszybie Naukowym
oraz kwartalniku naukowo-technicznym „Technologia i Automatyzacja Montażu” (nr 2/2011)

1. Abdolreza Bayesteh, Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina,
2. Antosz Katarzyna, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska
3. Bakena Mbua Z. K., mgr inż., Moskiewski Państwowy Uniwersytet Techniczny MAMI, Moskwa, Rosja, e-mail: bamjec@rambler.ru
4. Bandyra Zbigniew, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska
5. Błaziak Michał, Politechnika Lubelska, Lublin, Polska
6. Borowski Zbigniew, dr inż., Bydgoska Szkoła Wyższa, Bydgoszcz, Polska, e-mail: dzieka-nat.zip@bsw.edu.pl
7. Bożkova L. W., prof. dr hab. inż., Moskiewski Państwowy Uniwersytet Techniczny MAMI, Moskwa, Rosja, e-mail: iptm@mami.ru
8. Bramowicz M. Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska
9. Bromberek Franciszek, doc. dr inż., Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz, Polska, e-mail: bfrank@utp.edu.pl
10. Chernyshev Dmitry E., Wołgogradzki Państwowy Uniwersytet Techniczny, Wołgograd, Rosja,
11. Chomenko Dmitrij, Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
12. Chruściel M., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska,
13. Cieślak Robert, mgr inż., Instytut Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, Poznań, Polska, e-mail: robert.cieslak@put.poznan.pl
14. Ciszak Olaf, dr inż., Politechnika Poznańska, Poznań, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Polska, e-mail: olaf.ciszak@put.poznan.pl
15. Demkowski Aleksandr, Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
16. Drobotov Aleksey V., Wołgogradzki Państwowy Uniwersytet Techniczny, Wołgograd, Rosja,
17. Duras Tadeusz, mgr inż., Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego, e-mail: tduras-pwsz@wp.pl
18. Gawlik Edward, dr inż., Instytut Technologii Maszyn, Politechnika Krakowska, Kraków, Polska, e-mail: gil@mech.pk.edu.pl
19. Gil Stanisław, dr inż., Instytut Technologii Maszyn, Politechnika Krakowska, Kraków, Polska, e-mail: gil@mech.pk.edu.pl
20. Gromov Victor F., Moskiewski Instytut Lotniczy MAI, Moskwa, Rosja, e-mail: vikirin@mail.ru
21. Hyży Janusz, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, Polska, ios@ios.krakow.pl
22. Jastrzębski Robert, mgr inż. Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek sp. z o.o., Pruszków, Polska, jastrzebski@cbko.pl
23. Jastrzębski Maciej, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, e-mail: m.jastrzebski@imbigs.org.pl
24. Kasprzak Andrzej, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, Polska, ios@ios.krakow.pl
25. Kijewski Piotr, mgr inż., Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska,
26. Klusek Konrad, inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska
27. Kłonica Mariusz, mgr inż., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska, e-mail: m.klonica@pollub.pl

28. Komorek Andrzej, mgr inż., Wyższa Szkoła Oficerska Sił Lotniczych, Dęblin, Polska, kom-man@op.pl
29. Korenkov Vladimir, doc. dr inż., Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: vkorenkov@gmail.com
30. Koszel Anna, doc. inż., Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
31. Kowalski Tadeusz, dr inż., Politechnika Warszawska, Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska, e-mail: t.kowalski@wip.pw.edu.pl
32. Kozioł Stanisław, dr inż., Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom, Polska, stanislaw.koziol@itee.radom.pl
33. Kristal G. Mark, prof. dr hab. inż., Wołgogradzki Państwowy Uniwersytet Techniczny, Wołgograd, Rosja, e-mail: crysmar@mail.ru
34. Kuczmazewski Józef, prof. dr hab. inż., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska, e-mail: j.kuczmazewski@pollub.pl
35. Kuprowska Iwona, dr, Koncern MAHLE Stuttgart, Niemcy
36. Kuran Marek, dr inż., Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska, e-mail: marek.kuran@pwr.wroc.pl
37. Kyrylovych Valerii, prof. dr hab. inż., Żytomirski Państwowy Uniwersytet Techniczny, Żytomierz, Rosja, e-mail: kiril_v@mail.ru
38. Lashyna Yuliya, mgr inż., Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: tm_mmi@users.ntu-kpi.kier.ua
39. Lekki Bartłomiej, mgr inż., Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska
40. Łunarski Jerzy, prof. dr hab. inż., Politechnika Rzeszowska, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, e-mail: jlktniop@prz.edu.pl
41. Magiera Marek, dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, Polska, e-mail: magiera@zarz.agh.edu.pl
42. Makarov Aleksandr F., Uniwersytet Przyrody, Spełcezeństwa i Człowieka, Dubna, Rosja
43. Matuszewski Maciej, dr inż., Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz, Polska, e-mail: matus@utp.edu.pl
44. Melnychuk Petro, prof. dr hab. inż., Żytomirski Państwowy Uniwersytet Techniczny, Żytomierz, Rosja,
45. Musiał Janusz, dr inż., Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz, Polska, e-mail: janusz.musial@utp.edu.pl
46. Oborska Nina, Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
47. Oborskiy Artem, Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
48. Oborskiy Ivan, prof. dr inż., Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina, e-mail: ivan.oborskiy@mail.ru
49. Oborskiy Siergiej, Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
50. Oroń Grzegorz, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska
51. Osówniak Paweł, mgr inż., Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska
52. Ovsyannikov Dmitriy A., Moskiewski Instytut Lotniczy MAI, Moskwa, Rosja,
53. Pasichnyk Vitalii, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: pasichnyk@ukr.net
54. Pergałowski Stanisław, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, s.pergalowski@imbigs.org.pl
55. Polyakova Maria, mgr inż., Wołgogradzki Państwowy Uniwersytet Techniczny, Wołgograd, Rosja, e-mail: Polyakova-M-V@yandex.ru
56. Przybyłek Paweł, mgr inż., Wyższa szkoła Oficerska Sił Lotniczych, Dęblin, Polska, e-mail: sgcdr@wp.pl

57. Pysarchuk Oleksandr, prof. dr hab. inż., Żytomirski Państwowy Uniwersytet Techniczny, Żytomierz, Rosja,
58. Rabinovich Leonid, doc. inż., Wołgogradzki Państwowy Uniwersytet Techniczny, Wołgograd, Rosja
59. Reifur Bogusław, dr inż., doc PW, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska, e-mail: bo-guslaw.reifur@itma.pwr.wroc.pl
60. Rośkowicz Marek, dr inż., Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, Polska, e-mail: ma-rek.roskowicz@wat.edu.pl
61. Rudawska Anna, dr inż., Politechnika Lubelska, Lublin, Polska, a.rudawska@pollub.pl
62. Rychlik Kazimierz, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, k.rychlik@imbigs.pl
63. Samborski Tomasz, dr inż., Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom, Polska, e-mail: tomasz.samborski@itee.radom.pl
64. Sasiadek M., dr inż., Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny, Zielona Góra, Polska, e-mail: m.sasiadek@iizp.uz.zgora.pl
65. Stadnicka Dorota, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów Polska, email: dsktmiop@prz.edu.pl
66. Stelmakh Nataliia, mgr inż., Uniwersytet Techniczny „Politechnika Kijowska”, Kijów, Ukraina, e-mail: stelmakhnv@yandex.ru
67. Stós Jerzy, doc. dr inż., Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, Polska, ios@ios.krakow.pl
68. Streubel Aleksander, prof. dr hab. inż., Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska, e-mail: aleksander.streubel@pwr.wroc.pl
69. Styp-Rekowski Michał, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, e-mail: janusz.musial@utp.edu.pl, Bydgoszcz, Polska
70. Szepe Anna, mgr inż., Centrum Badawczo Konstrukcyjne Obrabiarek, Pruszków, Polska
71. Tylanda Jacek, mgr inż., Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa, Polska, j.tylanda@imbigs.pl
72. Wartanow M. W., prof. dr hab. inż., Moskiewski Państwowy Uniwersytet Techniczny MAMI, Moskwa, Rosja,
73. Węgrzyniak Tadeusz, mgr inż.,
74. Zbrowski Andrzej, dr inż., Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom, Polska, e-mail: andrzej.zbrowski@itee.radom.pl
75. Zenkin Anatolij, prof. dr hab. inż., Kijowski Uniwersytet Technologii i Projektowania, Kijów, Ukraina
76. Żurek Jan, prof. dr hab. inż., Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Poznań, Polska, e-mail: jan.zurek@put.poznan.pl

**Artykuły w kwartalniku
„Technologia i Automatyzacja Montażu”
nr 2/2011**

1. *Reifur B., Lekki B.*: Efektywne narzędzia programowe w wyrównowywaniu linii montażowych
2. *Bromberek F., Musiał J., Styp-Rekowski M., Węgrzyniak T.*: Montażowe aspekty produkcji elementów wielkogabarytowych.
3. *Sąsiadek M.*: Wykorzystanie metody FMEA do usprawnienia montażu motoreduktora
4. *Stós J., Kasprzak A., Hyży J.*: Przyrząd montażowy do wtłaczania króćców w wyrobie o złożonej konfiguracji
5. *Samborski T., Zbrowski A., Kozioł S.*: Model mechatronicznego podajnika arkuszy aplikacji poligraficznych
6. *Pergałowski S., Łunarski J.*: Zautomatyzowane wytwarzanie półek meblowych
7. *Kłonica M., Kuczmazewski J.*: Ozonowanie jako metoda aktywowania warstwy wierzchniej materiałów konstrukcyjnych w operacjach klejenia
8. *Rudawska A., Chruściel M.*: Wpływ sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych lotniczego stopu aluminium
9. *Kijewski P., Rośkowicz M.*: Diagnostowanie węzłów naprawczych wykonanych za pomocą materiałów kompozytowych
10. *Rychlik K., Jastrzębski M., Bramowicz M.*: Modularyzacja konstrukcji w technologii głębokiego wiercenia otworów wiertłami lufowymi
11. *Żurek J., Cieślak R., Duras T.*: Badania czasów montażu sprężarki klimatyzacji metodami chromometrażu i MTM

