

Ocena technologiczności konstrukcji w procesach montażu wyrobów metodą Lucas DFA

Evaluation of design manufacturability in new product production launches by Lucas DFA method

JÓZEF MATUSZEK
TOMASZ SENETA *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.7.66>

W pracy przedstawiono metodologię projektowania procesu produkcji nowego wyrobu z punktu widzenia kryterium technologiczności operacji montażu (*design for assembly* – DFA) w warunkach wielkoseryjnej produkcji. Wymieniono metody i techniki DFA stosowane podczas wdrażania do produkcji nowego wyrobu. Opisano wpływ tych metod na poprawę technologiczności montażu złożonego wyrobu.

SŁOWA KLUCZOWE: projektowanie procesu produkcji, technologiczność konstrukcji, produkcja wielkoseryjna

The paper presents the concept of algorithmization of the new product process implementation under the conditions of mass production. It describes the methods and techniques in DFA methodology in the new product production implementation. It was discussed influence of these methods to improve the manufacturability of the complex product assembly.

KEYWORDS: production process design, construction manufacturability, mass production

Współczesne procesy produkcji, zwłaszcza wielkoseryjnej, charakteryzują się postępującym stopniem automatyzacji obróbki oraz rozwojem usług kooperacyjnych w wykonywaniu pojedynczych elementów i złożonych, elastycznie zestawianych zunifikowanych elementów składowych, dostosowywanych do życzeń klientów. Z tego powodu w zarządzaniu projektami wdrażania do produkcji nowych wyrobów coraz większą wagę przykłada się do ich projektowania z uwzględnieniem technologiczności montażu (jest to tzw. projektowanie dla montażu – PdM) [4, 5].

Do oceny technologiczności montażu i określenia wytycznych do kształtowania procesu projektowania z uwagi na PdM służą różne metody. W przemyśle motoryzacyjnym szerokie zastosowanie mają metody DFA (*design for assembly*), zaproponowane i opisane po raz pierwszy przez G. Boothroyda i P. Dewhursta w pracy „*Design for Assembly, A Designers Handbook*” w 1983 r. [4].

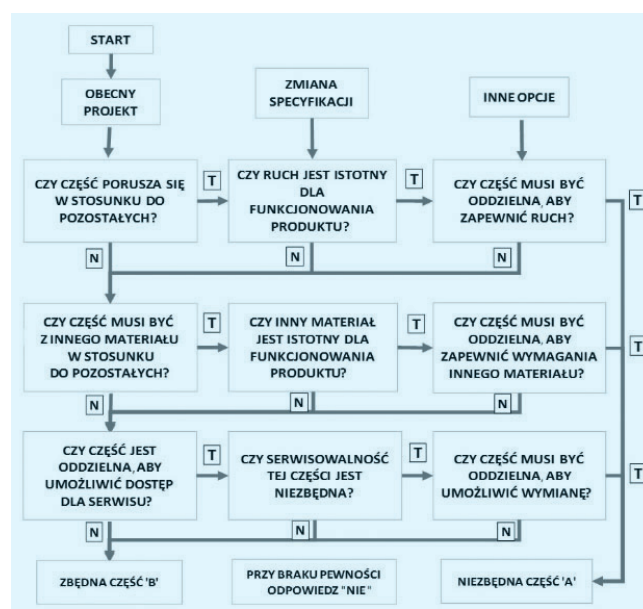
W literaturze opisano wiele metod DFA [1–3, 5] – te najczęściej stosowane w praktyce produkcyjnej przedstawiono w tabl. I [5].

Metoda Lucas DFA

Metoda służy do analizy technologiczności ręcznego i/lub automatycznego montażu. Ocena według metody Lucas DFA opiera się na określeniu trzech wskaźników,

których wartości są związane ze względną miarą trudności montowania. Jej celem jest zmniejszenie liczby montowanych elementów wyrobu finalnego oraz przeanalizowanie operacji montażu pod kątem trudności, złożoności i czasochłonności.

Schemat postępowania w metodzie Lucas DFA przedstawiono na rys. 1–3. Projekt jest poddawany analizie funkcjonalnej, w której ocenia się, jakie są funkcje poszczególnych komponentów i czy są one niezbędne. Następnie przeprowadzana jest analiza wykonalności, obejmująca analizę przemieszczania montowanych komponentów i ich manewrowania oraz sposobu samego montażu.



Rys. 1. Schemat postępowania w analizie funkcjonalnej Lucas DFA [8]

Wskaźnik efektywności projektu W_{ep} na podstawie analizy funkcjonalnej określa się wzorem:

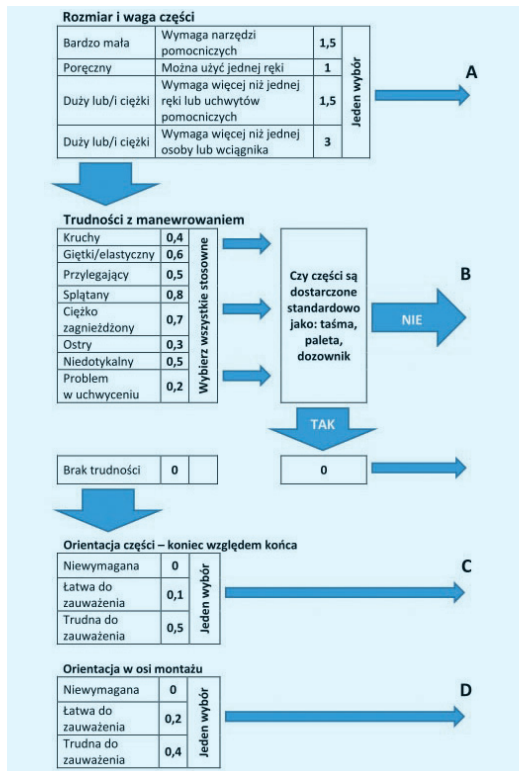
$$W_{ep} = \frac{L_{kA}}{(L_{kA} + L_{kB})} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: L_{kA} – liczba komponentów A (spełniających funkcję produktu), L_{kB} – liczba komponentów B (niespełniających funkcji produktu, np. nity czy podkładki).

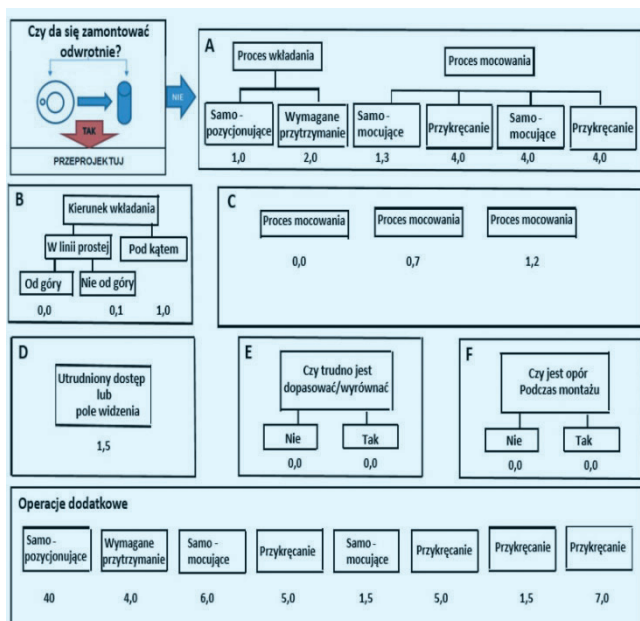
TABLICA I. Zestawienie i opis metodologii wybranych metod DFA [1, 7]

Metoda	Rok	Odkrywczy	Opis
Lucas DFA	1980	A.H. Redford i K.G. Swift	Bazuje na SSM – Schemacie Sekwencji Montażu oceniającym projekt montażu. Ocenia i sumuje punkty karne powiązane z problemami projektowania produktu
Hitachi Assimilability Evaluation Method (AEM)	1986	S. Miyagawa i T. Ohashi	Ocenia montowalność produktu oraz wskaźnik kosztu, aby zidentyfikować słabe punkty projektu produktu
Boothroyd and Dewhurst	1988	G. Boothroyd i P. Dewhurst	Bazuje na empirycznym badaniu kosztów powiązanych z manualnym lub automatycznym procesem montażu, zawiera trzy kryteria redukcji liczby komponentów

* Prof. dr hab. inż. Józef Matuszek (jmatuszek@ath.bielsko.pl), mgr inż. Tomasz Seneta (kip@ath.bielsko.pl) – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji



Rys. 2. Schemat punktacji w analizie manewrowania w metodzie Lucas DFA [8]



Rys. 3. Schemat punktacji w analizie montowania w metodzie Lucas DFA [8]

Współczynnik manewrowania W_{man} określa się wzorem:

$$W_{man} = I_{man} / L_{kA} \quad (2)$$

$$I_{man} = L_{pA} + L_{pB} + L_{pC} + L_{pD}$$

gdzie: I_{man} – indeks manewrowania, L_{kA} – liczba komponentów typu A (rys. 2); L_{pA} , L_{pB} , L_{pC} , L_{pD} – sumy punktów z segmentów A, B, C i D (według rys. 3).

Wzór opisujący wyniki analizy współczynnika montawalności W_{mon} według metody Lucas DFA (rys. 3) ma postać:

$$W_{mon} = \frac{W_m + W_d}{L_{kA}} \quad (3)$$

gdzie: W_m – wskaźnik czynności głównych ($W_m = L_{mA} + L_{mB} + L_{mC} + L_{mD} + L_{mE} + L_{mF}$), W_d – wskaźnik czynności dodatkowych, L_{kA} – liczba komponentów typu A (rys. 1).

Przykład

Analizie metodą Lucas DFA poddano projekt prototypu przekładni jednostopniowej (rys. 4). Konstrukcję zaprojektowano przy założeniu produkcji seryjnej. Dla przyjętych warunków produkcyjnych zdefiniowano przebieg procesu montażu. Dla każdej montowanej części oraz dla każdego definiowanego kroku (tabl. II) procesu montażu obliczono wartości W_{ep} , W_{man} i W_{mon} :

$$L_{kA} = 24, L_{kB} = 81, L_{kA} + L_{kB} = 105$$

$$W_{ep} = 24/105 = 0,23 = 23\%$$

$$I_{man} = L_{mA} + L_{mB} + L_{mC} + L_{mD} = 48 + 10,9 + 2,7 + 5,6 = 67,2$$

$$L_{kA} = 24$$

$$W_{man} = 67,2/24 = 2,8$$

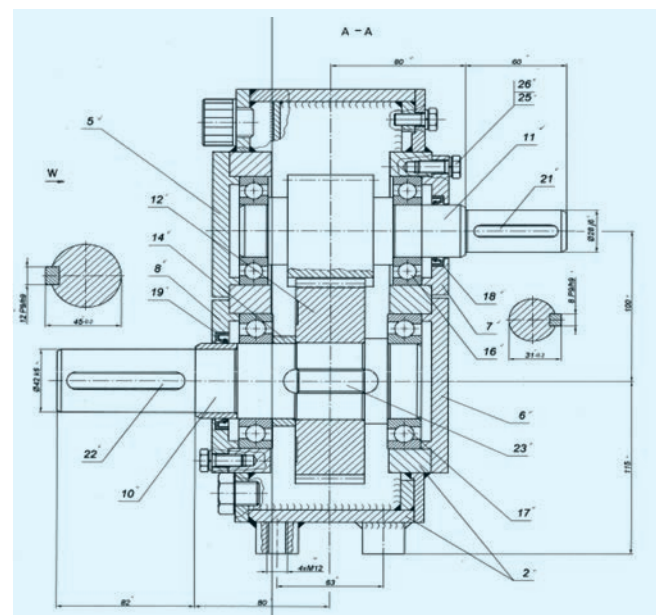
$$W_m = L_{mA} + L_{mB} + L_{mC} + L_{mD} + L_{mE} + L_{mF} = 108,2 + 2,1 + 10,5 + 18 + 11,9 + 7 + 126,5 = 284,2$$

$$L_{kA} = 24$$

$$W_{mon} = 284,2/24 = 11,84$$

Na podstawie tak określonych wartości wskaźnika i współczynników można przystąpić do kształtowania zaprojektowanego wyrobu z punktu widzenia technologiczności montażu. Ze względu na zapotrzebowanie rynku, koszty produkcji i czas dostawy do klienta przekładnie ogólnego przeznaczenia projektuje się w postaci typoszeregu. Typoszereg obejmuje kilka przekładni o tych samych rozwiązaniach konstrukcyjnych, lecz różniących się wielkością (wymiarami geometrycznymi).

Wyniki analizy dla założonego przebiegu procesu montażu przedstawiono w tabl. II. Zestawiono w niej wybrane operacje, którym przypisano analizie: funkcjonalności (w postaci komponentów zaliczanych do grupy A lub B – rys. 1), manewrowania (w ramach segmentu A, B, C i D – rys. 2) i montawalności (według wskaźników czynności głównych A, B, C, D, E i F oraz operacji dodatkowych – rys. 3). Dane związane z operacjami dodatkowymi znajdują się w kolumnie Sec.



Rys. 4. Schemat analizowanej przekładni: 2 – korpus; 5, 6, 7, 8 – pokrywy łożyskowe; 10 – wałek; 11 – zębnik; 12 – koło zębate; 14 – pierścienie dystansowe; 16, 17 – łożyska; 18, 19 – uszczelnienia; 21, 22, 23 – wpusty; 25, 26 – podkładki, śruby

TABLICA II. Wyniki analizy technologiczności montażu przekładni z rys. 5

Krok montażu	Opis	Analiza funkcjonalna		A	B	C	D	Suma		A	B	C	D	E	F	Sec.	Suma	Suma narastająco	
1	Pobranie	Korpus	A	1	3	0	0	0	3	Pobranie i posadowienie	1	0	0	0	0	0	1	1	
2	Prasowanie do korpusu	Łożysko 16	A	1	1	0,4	0	0	1,4	Prasowanie	1	0	0	0	0	0,7	0	1,7	
3										Pomiar pozycji łożyska	1,3	0,1	0	1,5	0	0	1,5	4,4	
4	Prasowanie do korpusu	Łożysko 17	A	1	1	0,4	0	0	1,4	Prasowanie	1	0	0	0	0	0,7	0	1,7	
5										Pomiar pozycji łożyska	1,3	0,1	0	1,5	0	0	1,5	4,4	
6	Prasowanie do łożyska 16	Walek zębaty	A	1	1	0	0,1	0,2	1,3	Pobranie i przytrzymanie	1	0	0	0	0	0	0	1	
8	Pobranie	Walek wolnoobrotowy	A	1	1	0	0,1	0,2	1,3	Pobranie i posadowienie	1	0	0	0	0	0	0	1	
9	Montaż	Wpust 23	B	1	1	0	0	0,2	1,2	Montaż na zespół wałka	1	0	0	0	0,7	0	0	1,7	
10	Montaż na zespół wałka	Koło zębate 5	B	1	1	0,4	0,1	0,2	1,7	Montaż na zespół wałka	2	0,1	0	0	0,7	0,7	0	3,5	
11	Montaż na zespół wałka	Tuleja dystansowa 14	B	1	1	0	0	0	1	Montaż na zespół wałka	1	0,1	0	0	0	0	0	1,1	
55	Montaż na zespół wałka	Wpust pryzmatyczny 22	B	1	1	0	0	0,2	1,2	Montaż na zespół wałka	1	0	0	0	0,7	0	0	1,7	
56	Montaż do korpusu	Odpowietrznik 27	A	1	1	0	0,1	0,2	1,3	Pobranie i posadowienie	1	0	0	0	0	0	0	1	
57										Przykręcanie	4	0,1	0	0	0	0	0	4,1	
58	Montaż do korpusu	Olejowskasz 28	A	1	1	0	0,1	0,2	1,3	Pobranie i posadowienie	1	0	0	0	0	0	0	1	
59										Przykręcanie	4	0,1	0	0	0	0	0	4,1	
60	Montaż do korpusu	Korek 29	A	1	1	0	0,1	0,2	1,3	Pobranie i posadowienie	1	0	0	0	0	0	0	1	
61	Montaż do korpusu	Pierścień uszczelniający 30	A	1	1	0	0,1	0,2	1,3	Założenie na korek	1	0,1	0	0	0	0	0	1,1	
63	Pobranie i ustawienie	Tabliczka znamionowa	B	1	1	0,2	0,1	0,2	1,5	Pobranie i posadowienie	2	0,1	0	0	0,7	0	0	2,8	
64	Nitowanie	Nitokotek	B	1	1,5	0,2	0	0	1,7	Pobranie i posadowienie	2	0,1	0	0	0	0	0	2,1	
65										Nitowanie	4	0,1	0	0	0,7	0	0	4,8	
66										Dodatkowe nity	2	0,1	0	0	0,7	0	12	14,8	
82																		284,2	
83					48	10,9	2,7	5,6	67,2									284,2	
84				24	81						108,2	2,1	10,5	18	11,9	7	126,5	284,2	
		23%						2,80										284,2	
		Wskaźnik efektywności projektu						Wskaźnik manewrowania										Wskaźnik montowalności	11,84
									Montowanie										

W przedstawionym przykładzie opracowana konstrukcja (rys. 4) z punktu widzenia możliwości wdrożenia do produkcji wielkoseryjnej jest nietechnologiczna. W zastosowanej metodzie oceny wskaźnik efektywności projektu wynosi $W_{ep} = 23\%$ (autorzy publikacji [8] jako minimum podają wartość 60%), a wskaźniki $W_{man} = 2,8$ i $W_{mon} = 11,84$ (według [8] oba wskaźniki powinny być mniejsze od 2,5).

Aby poprawić technologiczność montażu przekładni, powinno się rozważyć:

- w zakresie zastosowania nowej postaci konstrukcyjnej: przeprowadzenie zmiany konstrukcji korpusu (np. zamiast spawanego korpusu stalowego wprowadzić odlew żeliwny), przeprowadzenie analizy związanej z minimalizacją części składowych, zunifikowanie komponentów wchodzących w skład przekładni (takich jak: elementy zębate, pokrywy korpusu, wzornik, elementy złączne – śruby, podkładki);
- w zakresie zastosowania nowej struktury montażu: montowanie zespołów – np. wału z nasadzonym kołem zębatym i łożyskami, zębniaka z łożyskami – z wykorzystaniem odpowiedniego oprzyrządowania montażowego.

Pomimo że zaprezentowana w artykule metoda Lucas DFA jest związana z produkcją wielkoseryjną oraz masową, to jednak w określonych sytuacjach można ją również wykorzystać w przypadku mniejszej seryjności produkcji.

Podsumowanie

Analizując wartości parametrów oceny technologiczności montażu przekładni, można stwierdzić, że:

- ocena wartości parametrów (tabl. II) może być podstawą analizy technologiczności projektu konstrukcji wyrobu,
- ocena powinna uwzględniać wiele innych czynników dotyczących sprzedaży, serwisowania, dostępności części zamiennych, seryjności wytwarzania, rodzajów wyposażenia, dostępnych technik montażu, poziomu automatyzacji, usług kooperacyjnych, możliwości zastosowania komponentów handlowych, kultury technicznej załogi itp.

Analiza metodą Lucas DFA jest jedną z kilku metod oceny technologiczności konstrukcji wyrobu – umożliwia

ocenę technologiczności montażu z punktu widzenia kryterium czasu i tym samym kosztów montażu.

Metoda może być z powodzeniem stosowana również w odniesieniu do mniejszych serii produkowanych wyrobów w przypadku wytwarzania grupy wyrobów technologicznie podobnych – np. przekładni zębatych ogólnego przeznaczenia.

Pomocnym działaniem przy ocenie konstrukcji jest wykorzystanie standaryzacji operacji montażowych – ułatwia ono określenie czasu wykonywania tych operacji.

Możliwość oceny konstrukcji sprzyja kreatywności projektantów – omówiony w artykule tok postępowania można przeprowadzić dla wyrobu i jego komponentów (zespołów, podzespołów itd.).

LITERATURA

1. Abdullah A., Popplewell K., Page C.J. "A review of the support to tools for the process of assembly method selection and assembly planning". *International Journal of Production Research*. 41, 11 (2003): s. 2391–2410.
2. Egan M. "Design for assembly in the product development process – design theory perspective". Thesis for the degree of Licenciate of Engineering. Report No. 1997-11-14. Chalmers, 1997.
3. Favi C., Germani M., Mandolini M. "Design for manufacturing and assembly vs. design to cost: toward a multi-objective approach for decision-making strategies during conceptual design of complex products". *Procedia CIRP*. 50 (2016): s. 275–280.
4. Kuo B.T.C., Huang S.H., Zhang H.C. "Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives". *Computers & Industrial Engineering*. 41, 3 (2001): s. 241–260.
5. Matuszek J., Seneta T. „Algorytmizacja procesu wdrażania nowego produktu w warunkach wielkoseryjnej produkcji”. *Mechanik*. 7 (2016): s. 755–757.
6. Pasichnyk V., Lashyna Y. „Montażowo zorientowane projektowanie z zastosowaniem DFA Expert”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej – Mechanika*. 279 (2011): s. 9–16.
7. Praca zbiorowa. 1995. Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan. Reference Manual. AAIG – Chrysler Corporation, Ford Corporation, General Motors Corporation. Adare Carvin., Unit 1, Trade Link, Western Ave, West Thurrock, Grays, Essex England (norma branżowa).
8. Swift K., Brown N. Design for Assembly/Manufacturing Analysis Practitioners Manual (version 10.5). University of Hull, 1994. ■