

ANALIZA KOSZTÓW WYTWARZANIA WYROBÓW ZA POMOCĄ PLATFORMY MONTAŻOWEJ W FIRMIE ELEKTROBUDOWA SA

An analysis of the costs for an assembly platform in the Elektrobudowa SA Company

Robert CIEŚLAK, Ireneusz WYSOCKI

Streszczenie: W publikacji przedstawiono kierunki rozwoju współczesnej techniki montażu produktu. Omówiono zastosowania platformy montażowej dla firmy Elektrobudowa. Za pomocą analizy „krzywej uczenia się” dokonano oszacowania współczynników, celem określenia kosztów wykonania produktu za pomocą platformy montażowej.

Słowa kluczowe: platforma montażowa

Abstract: The publication focuses on the directions of development of the contemporary assembly techniques. Firstly, the application of an assembly platform in the ELEKTROBUDOWA S.A. company is described. Then, the estimation of ratios influencing the assembly costs for a certain product on the platform is made with the use of learning curve analysis.

Keywords: Assembly areas

Wprowadzenie

Wiele z dzisiejszych przedsiębiorstw produkcyjnych podejmuje wyzwanie dostarczenia zróżnicowanych produktów na rynek przy jednoczesnym zachowaniu pewnych rozbieżności konstrukcyjnych między nimi. W rezultacie przedsiębiorstwa takie używają pojęcia rodzin produktowych i tworzą produkty końcowe w oparciu o platformę montażową, aby obniżyć zarówno koszt tworzenia danego produktu jak i jego wdrożenia na rynek, przy jednoczesnym zachowaniu różnorodności danego produktu i jego dostosowaniu do potrzeb rynku. Rodziną produktów jest grupa powiązanych ze sobą produktów o wspólnych częściach składowych bądź podzespołach, często określanymi jako platforma montażowa, które wypełniają wiele tzw. nisz rynkowych. Opracowanie wzorca rodziny produktów obejmuje typowe wyzwania, z jakim ma się do czynienia przy tworzeniu produktu [17].

Stworzenie wzorca rodziny produktów, wytworzonych w oparciu o tę samą platformę montażową, uważa się za skuteczny środek zastosowania ogólnych zasad użytkowania platform tego typu. Coraz więcej przedsiębiorstw wykorzystuje takie podejście do tematu w procesie tworzenia swoich produktów końcowych (np. Sony, Volkswagen, Lutron, Airbus, Boeing czy Compaq), co wskazuje na spore korzyści ekonomiczne w obliczu zmieniającego się globalnego rynku produkcji. Korzyści te wynikają głównie z wyższej jakości produktów końcowych, szybszej odpowiedzi na żądania rynku i niższych kosztów produkcji [3].

Celem artykułu jest opracowanie kolejnego etapu utworzenia platformy montażowej w firmie Elektrobudowa jakim jest analiza kosztowa.

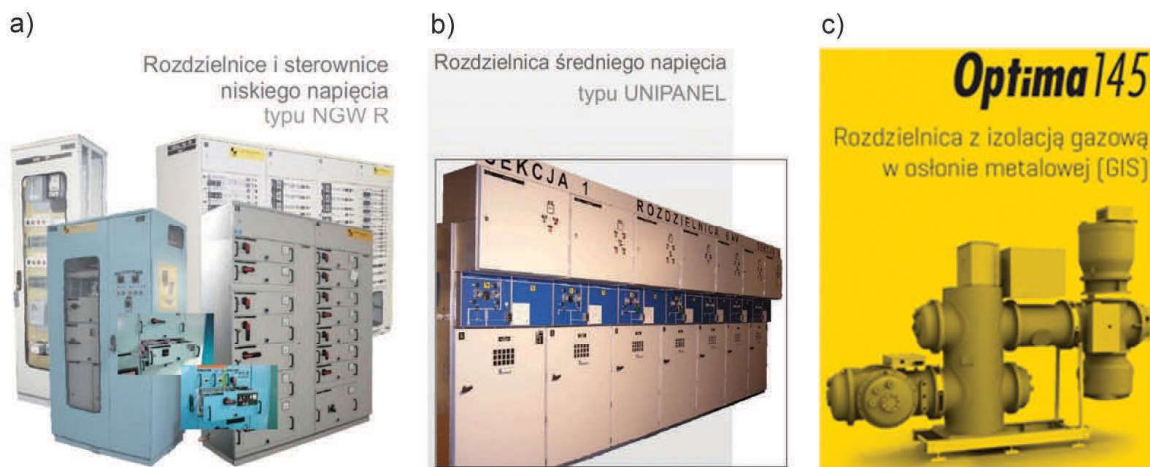
Zastosowanie platform montażowych

Według jednej z definicji platforma montażowa to stosunkowo duży zbiór komponentu produktu, którego składniki są ze sobą połączone, jako stabilny podzespół i są wspólne dla różnych modeli produktu końcowego [2]. Istota powstania platformy montażowej tkwi w tym, aby uzyskać jak największą liczbę produktów końcowych, wykorzystując do tego standaryzowane składniki i różne procesy produkcyjne. Dlatego też dostosowanie platformy montażowej to proces polegający na ustaleniu wspólnych elementów w danej rodzinie produktów (takich jak wspólne funkcje czy działanie, parametry, cechy, składniki, podsystemy czy odpowiednia ilość informacji związanej z produkcją danej rodziny produktów) oraz późniejsze dopasowanie i standaryzacja ww. wspólnych elementów bądź parametrów [3]. W tab. 1 przedstawiono mocne i słabe strony platform montażowych.

Kluczem do stworzenia udanej rodziny produktów jest platforma montażowa, na której powstaje dana rodzina produktów [6]. McGrath definiuje platformę montażową jako *zbiór podobnych elementów, zwłaszcza technologicznych, wykorzystywanych w danym zestawie produktów* [7]. Robertson i Ulrich podkreślają zaś, że *przez podział części składowych i procesów produkcyjnych na platformie montażowej przedsiębiorstwa mogą skutecznie stworzyć zróżnicowane produkty końcowe, a tym samym zwiększyć elastyczność procesu tworzenia i zabrać udziału rynku tym producentom, którzy produkują jeden produkt na raz* [8]. Co więcej – skuteczna platforma montażowa ułatwia dostosowanie produktu końcowego,

Tabela 1. Mocne i słabe strony platform montażowych, opracowanie własne [16]
 Table 1. The advantages and disadvantages of assembly platforms, self-reported study [16]

Platformy montażowe	
Mocne strony	Słabe strony
<p>Faza strategiczna:</p> <ul style="list-style-type: none"> – umożliwiają szybsze dotarcie różnych produktów na rynek, – wejście na rynki niszowe, – wdrożenie nowych technologii, – niższe ryzyko technologiczne, <p>Faza projektowa:</p> <ul style="list-style-type: none"> – niższy koszt wytworzenia produktu, – ponowne używanie wcześniej zaprojektowanych komponentów i systemów, – ponowne zastosowanie sprawdzonych technologii, <p>Faza zarządzania produkcją:</p> <ul style="list-style-type: none"> – możliwość stosowania tych samych narzędzi w produkcji różnych przedmiotów, – ekonomiczna produkcja, – możliwość hurtowego zakupu tych samych podzespołów do wytworzenia różnych produktów, – redukcja zapasów magazynowych, – mniejsze wydatki związane z kontrolą jakości, – elastyczność w liczbie wariantów produktu, <p>Faza testów oraz przekazania do eksploatacji:</p> <ul style="list-style-type: none"> – redukcja czasu przeznaczonego na testowanie produktu oraz jego pierwszy rozruch, – wspólny sprzęt testujący dla różnych produktów, – ograniczenie testów certyfikujących, <p>Faza obsługi i utrzymania produktu:</p> <ul style="list-style-type: none"> – zmniejszone koszty stałe utrzymania produktów, wynikające z ich wspólnych funkcji, – zmniejszenie kosztów na szkolenia pracowników, – zmniejszenie kosztów zmiennych w wyniku bardziej efektywnych działań logistycznych. 	<p>Faza strategiczna:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ograniczenie inwestycji na przyszłość do zasięgu platformy montażowej, – ryzyko monopolu jednej firmy opracowującej strategię wytworzenia produktu, <p>Faza projektowa:</p> <ul style="list-style-type: none"> – potrzeba badań dotyczących możliwości wykonania produktu od strony technicznej i ekonomicznej, – dodatkowe koszty związane z potrzebą zaprojektowania dodatkowych elementów platformy różnicujących produkty, – koszty ogólne związane z zarządzaniem spójnością elementów platformy, <p>Faza zarządzania produkcją:</p> <ul style="list-style-type: none"> – większa złożoność zarządzania konfiguracjami produktu na linii montażowej, – wzrost kosztów produkcji podzespołów, <p>Faza testów oraz przekazania do eksploatacji:</p> <ul style="list-style-type: none"> – wzrost kosztów opracowania metod weryfikacji i walidacji produktu i platformy montażowej, <p>Faza obsługi i utrzymania produktu:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ryzyko niepowodzenia podczas produkcji wspólnych elementów dla szeregu produktów końcowych, – większa złożoność w funkcjonowaniu elementu wielozadaniowego, – wzrost kosztów obsługi podzespołów, – wzrost kosztów zarządzania platformą montażową.



Rys. 1. Rozdzielnice: a) niskiego, b) średniego i c) wysokiego napięcia produkowane w firmie Elektrobudowa (opracowanie na podstawie katalogów firmy)
 Fig 1. Low, medium and high voltage switchboards produced in the Elektrobudowa company (pictures from the company's catalogue)

umożliwiająca stworzenie różnorodnych produktów szybko i łatwo, aby zaspokoić potrzeby różnych nisz rynkowych [9,10]. Wpływ rodziny produktów i struktury platformy montażowej na różnorodność produktów uzyskanych z danej platformy oraz ich masowe dostosowanie nadal podlega szerokim badaniom [11-15].

Badanie platform montażowych

Badania nad platformą montażową zostały wykonane w firmie Elektrobudowa, która jest liderem wśród polskich firm elektroenergetycznych. Świadczy kompleksowe usługi budowlano-montażowe, realizując inwestycje związane z przemysłem energetycznym, petrochemicznym, wydobywczym oraz budownictwem obiektów użyteczności publicznej w systemie pod klucz. Elektrobudowa jest liderem w zakresie produkcji urządzeń elektroenergetycznych, w obszarze energetyki wiodącym wykonawcą i dostawcą aparatury rozdzielczej niskich, średnich i wysokich napięć, jak również stacji i systemów elektroenergetycznych (rys. 1). Na rynku międzynarodowym firma osiąga znaczącą pozycję w produkcji i montażu przewodów silnoprądowych [1].

Znaczenie platformy montażowej jest coraz istotniejsze w różnych dziedzinach przemysłu i wiele firm musi podejmować szereg decyzji w tej sprawie. Prace zmierzają w kierunku zdefiniowania podstawowej struktury platformy montażowej.

Poprzedni etap (utworzenia platformy montażowej) został przedstawiony w publikacji [5]. Pierwszy etap polegał na utworzeniu platformy montażowej jako fizycznej struktury wyrobu. Należało w tym momencie odpowiedzieć na dwa pytania: jak należy zdefiniować platformę montażową z technicznego punktu widzenia, biorąc pod uwagę złożoność wyrobu i w jaki sposób platforma montażowa wiąże się z innymi pojęciami, związanymi z procesem planowania wyrobu końcowego, takimi jak konstrukcja wyrobu czy modularyzacja. Drugi etap polegał na grupowaniu operacji, aby określić podobieństwo technologiczne wykonywanych produktów. Trzeci etap to dokonanie analizy kosztów wytwarzania wyrobów za pomocą platformy montażowej. Należy w tym momencie odpowiedzieć na dwa pytania. Kluczowe są pytania o czynniki, które należy wziąć pod uwagę ustalając koszt wytworzenia wyrobu za pomocą platformy montażowej i to, jaka będzie wielkość współczynnika do analizy kosztowej.

Na wstępie dokonano analizy czasochłonności montażu rozdzielni w firmie Elektrobudowa. Proces chronometrażu podzielono na trzy etapy: przygotowanie, wykonanie pomiarów czasochłonności oraz opracowanie wyników (chronometrażu). Postępowanie podczas chronometrażu obejmowało:

- zapoznanie się z pracownikami wykonującymi badaną operację, a także organizacją i obsługą stanowiska roboczego oraz urządzeniem, na którym będzie ona wykonywana (tab. 2),

Tabela 2. Analiza stanowiska montażowego, opracowanie własne
Table 2. Analysis of the assembly, to develop their own

Pracownik firmy odpowiedzialny za badania	Czas przeprowadzenia badań	Badane stanowisko pracy
technolog	6 ⁰⁰ – 14 ⁰⁰	brygada mechaników i elektryków, którzy wykonywali montaż wyrobu;

- zorientowanie się w zakresie prawidłowości stosowanych metod pracy, celowości i kolejności wykonywanych zabiegów, grup czynności i ruchów,
- przygotowanie arkusza obserwacyjnego chronometrażu (liczba czynności montażowych wynosiła 194),
- ustalenie liczby niezbędnych pomiarów zależnych od czasochłonności poszczególnych operacji lub jej elementów i wielkości produkcji (wykonano trzy pomiary),
- wykonanie pomiarów czasochłonności montażu wyrobu za pomocą obserwacji ciągłej lub wyrzutowej wytypowanymi do tego celu przyrządami (czas poszczególnych czynności dla wszystkich wyrobów mierzono stoperami niemieckiej firmy Hanhart MODUL z dokładnością do jednej sekundy).
- wpisanie wartości czasochłonności montażu wyrobu do wcześniej przygotowanego arkusza obserwacyjnego chronometrażu (które tworzą szereg chronometryczny),
- analizę szeregu chronometrycznego, polegającą na odrzuceniu wartości rażąco odchylających się od średnich za pomocą tzw. współczynnika zwartości,

$$K_s = \frac{x_{\max}}{x_{\min}}$$

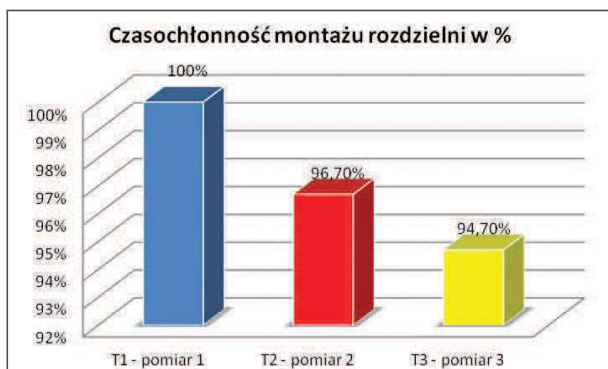
gdzie:

x_{\max} – pomiar najdłuższy.

x_{\min} – pomiar najkrótszy [18],

- wyliczenie wielkości przeciętnych (średnich arytmetycznych pomiarów chronometrycznych) czasu niezbędnego do wykonania określonych operacji (w związku z tajemnicą firmy udostępniono tylko wartości procentowe) co przedstawia rys. 2.

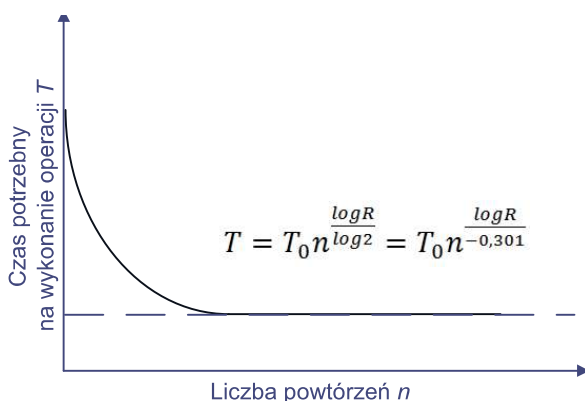
Z przeprowadzonych badań wynika, że czasochłonność montażu rozdzielni jest odwrotnie proporcjonalna do liczby powtarzających się operacji wykonywanych przez danego pracownika. Jeżeli natomiast chodzi o opłacalność i rentowność produkcji dowiedziono, że oba wskaźniki są wprost proporcjonalne do liczby czynności powtarzanych. Im więcej razy dana czynność jest powtarzana, tym mniejsza jest czasochłonność montażu przy jednoczesnym wzroście opłacalności i rentowności produkcji.



Rys. 2. Przedstawienie czasochłonności montażu rozdzielni w firmie Elektrobudowa (opracowanie własne)

Fig. 2. Time consumption analysis for an assembly of a switchboard in the Elektrobudowa company (self-reported study)

Powyższa analiza wskazuje na możliwość implementacji w procesie technologicznym montażu znanej zasady „trening czyni mistrza” i wynikającej z niej „krzywej uczenia się” (rys. 3), gdyż wykonywanie powtarzających się czynności (trening) powoduje skrócenie czasu wykonania danej czynności. Na rys. 3 wartość R określa stopę wiedzy, a więc stopień uczenia się – czyli poprawienia efektywności w stosunku do każdego następnego cyklu wykonania danej operacji. Oczywiście wymienione sposoby korygowania zdolności produkcyjnej są przedstawione jako przykładowe. Inwencja zarządzających w tym względzie powoduje, że spektrum tych możliwości stale się rozszerza [4].



Rys. 3. Typowa krzywa uczenia się: T_0 – czas wykonania pierwszej jednostki, R – stopa wiedzy [4]

Fig. 3. A typical learning curve: T_0 – time needed to assemble the first unit, R – experience level [4]

Na podstawie badań w firmie ustalono, że podstawowymi wskaźnikami do analizy kosztowej wytwarzanych wyrobów będą wskaźniki: czasochłonności, opłacalności, rentowności i zużycia materiałów.

Korzystając z danych otrzymanych z firmy dotyczących: czasochłonności, opłacalności, rentowności i zużycia materiałów, porównano efektywność produkcji standardowej z efektywnością produkcji w ramach platformy

montażowej. W wyniku analizy na podstawie „krzywej uczenia się” oszacowano, że w przypadku platformy montażowej efektywność produkcji wzrośnie o 4,3%, a tym samym nastąpi zmniejszenie wskaźników czasochłonności oraz zużycia materiału przy jednoczesnym wzroście wskaźników opłacalności i rentowności w stosunku do produkcji standardowej.

Podsumowanie

Inżynierowie z różnych przedsiębiorstw produkcyjnych krajowych i zagranicznych opracowują warianty analiz kosztowych wykonania platform montażowych. Opracowanie wskaźników wydajności platformy montażowej dla produktu końcowego, jakim są rozdzielnie niskich, średnich i wysokich napięć w firmie Elektrobudowa jest kluczowym punktem procesu opracowania platformy montażowej oraz podejścia do wzorca rodziny produktów. Z przeprowadzonej analizy „krzywej uczenia się” wynika, że platforma montażowa może przynieść szacunkowy wzrost efektywności produkcji rozdzielni o 4,3%.

Autorzy w kolejnych artykułach zamierzają dokonać analizy specyfiki danej platformy montażowej oraz przygotować jej opracowanie.

LITERATURA

- [1] Cieślak R., I. Wysocki. 2013. „Badania i zastosowanie platform montażowych”. *Inżynieria maszyn* (4): 117-123. Wrocław: Wydawnictwo Wrocławskiej Rady FSNT NOT
- [2] Du X., J. Jiao, M.M. Tseng. 2001. „Architecture of Product Family: Fundamentals and Methodology”. *Concurrent Engineering: Research and Applications* 9(4): 309-325.
- [3] Elektrobudowa SA – katalogi firmowe
- [4] Jiao J. 1998. „Design for Mass Customization by Developing Product Family Architecture”. Ph.D. Dissertation, Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong: Hong Kong University of Science and Technology.
- [5] Jiao J., M.M. Tseng. 2000. „Understanding Product Family for Mass Customization by Developing Commonality Indices”. *Journal of Engineering Design*, 11(3): 225-243.
- [6] McGrath M.E. 1995. „Product Strategy for High Technology Companies”. New York: Irwin Professional Publishing.
- [7] Meyer M.H. 1997. „The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership”. New York: Free Press.
- [8] Muffatto M. 1999. „Introducing a platform strategy in product development”. *Int. J. Production Economics* (60-61):145-146.
- [9] Pajak E. 2006. „Zarządzanie produkcją”. Warszawa: PWN
- [10] Pine B.J. 1993. „Mass Customizing Products and Services”. *Planning Review*, 22 (4): 6-8

- [11] Qin H., Y. Zhong, R. Xiao, W. Zhang. 2005. „Product platform commonization: platform construction and platform elements capture”. Springer-Verlag London Limited, Int J Adv Manuf Technol (25): 1071–1077.
- [12] Robertson D. K. Ulrich. 1998. „Planning Product Platforms. *Sloan Management Review* 39 (4): 19–31.
- [13] Rypulak K. 1980. „Normowanie czasu i badanie metod pracy”, Drukarnia Poligraf, Lublin.
- [14] Simpson T. W., B.S. D'Souza. 2004. „Assessing Variable Levels of Platform Commonality Within a Product Family Using a Multiobjective Genetic Algorithm”, Department of Industrial & Manufacturing Engineering The Pennsylvania State University University Park, USA.
- [15] Simpson T.W., J. Nanda, S. Halbe, K. Umapathy, B. Hodge. 2003. „Development of a Framework for Webbased Product Platform Customization”. *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 3(2): 119–129.
- [16] Simpson W. T., J. Jiao, Z. Siddique, K. Hölttä-Otto. 2014. „Advances in Product Family and Product Platform Design”, *Springer*, New York.
- [17] Tseng M.M., J. Jiao, M.E. Merchant. 1996. „Design for Mass Customization”. *CIRP Annals*, 45(1): 153–156.
- [18] Tseng M.M., J. Jiao. 1998. „Design for Mass Customization By Developing Product Family Architecture”, ASME Design Engineering Technical Conferences – Design Theory and Methodology, Atlanta, GA, ASME.

Dr inż. Robert Cieślak – Katedra Mechaniki i Budowy Maszyn, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Inżynierii Środowiska, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie, ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin, e-mail: robertcieslak@wp.pl

Inż. Ireneusz Wysocki – Elektrobudowa S.A. w Katowicach Oddział Spółki Rynek Dystrybucji Energii, ul. Przemysłowa 156, 62-505 Konin, ireneusz.wysocki@elbudowa.com.pl