

OPTIMALIZACJA MODELOWANIA PRZEBROJEŃ W PROCESIE PRODUKCYJNYM

Karol Kufel¹

Streszczenie

Czynności służące przygotowaniu maszyn do pracy są nieodzownym elementem każdego procesu produkcyjnego. Niestety są to działania, których realizacja nie powoduje bezpośredniego przyrostu wartości dodanej do produktu końcowego. Klienci są gotowi zapłacić za wyrób o pożądanych cechach, dostarczony w oczekiwanym przez nich czasie bez zastanawiania się jakie procesy pomocnicze był zmuszony zrealizować producent. W związku z tym wykonywanie tych działań spychane jest niejednokrotnie w przedsiębiorstwach produkcyjnych na „dalszy plan”. Częstokroć działania ukierunkowane na poprawę jakości procesu są nastawione na udoskonalenie samych operacji produkcyjnych, a nie na zapewnienie poprawnej realizacji tzw. przebrojenia. Aspektom opomiarowania i modelowania jakości jego wykonywania w przedsiębiorstwie Y jest poświęcone niniejsze opracowanie.

Słowa kluczowe: przebrojenie, optymalizacja, jakość przebrojenia.

1. Definicja przebrojenia

Jedno z podstawowych pytań, które należałoby zadać podczas analizowania zagadnień z obszaru produkcyjnych procesów pomocniczych, mogłoby brzmieć: jak właściwie należy rozumieć określenie „przebrojenie”? Według (leksykon Lean, 2014) jest to: „(...) czas który upłynie od zatrzymania maszyny po wyprodukowaniu ostatniej dobrej sztuki z partii poprzedniej, aż do uruchomienia jej przy produkcji pierwszej dobrej sztuki partii następnej.” lub po prostu „proces zmiany produkcji na maszynie”. Generalizując – w literaturze z obszaru zarządzania systemami produkcyjnymi dominuje twierdzenie, że „przebrojenie” to ogół czynności jakie powinien wykonać operator lub pracownik Utrzymania Ruchu, aby na danym stanowisku możliwe stało się rozpoczęcie przetwarzania kolejnej partii lub serii produkcyjnej wyrobu. Z tej definicji wynika, że przebrojenie jest konieczne, ale nie jest częścią głównego procesu, którego realizacja skutkuje dodaniem wartości do produktu.

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Zarządzania i Ekonomii / Gdańsk University of Technology, Faculty of Management and Economics.

W związku z tym jako takie nie jest pożądane. „Idealny” proces produkcyjny charakteryzowałby się brakiem jakichkolwiek przebrojeń; produkcja byłaby realizowana bez przerw. W związku z tym projektanci, jak również osoby zajmujące się doskonaleniem procesów, traktują minimalizację lub skrócenie przebrojeń jako jedno z podstawowych działań w trakcie optymalizacji pracy systemu produkcyjnego.

2. Optymalizacja przebrojenia

Z racji zróżnicowania przebrojeń w procesach produkcyjnych problematyczna jest standaryzacja ich opomiarowania. Najczęściej wykorzystywanym miernikiem umożliwiającym ich ocenę (poprawność i kompletność wykonania) jest czas realizacji poszczególnych czynności. W trakcie projektowania procesu w obszarze organizacyjnym (przepływ materiałów, informacji oraz delegowanie zadań na pracowników), jak i technologicznym (wykorzystanie maszyn i oprzyrządowania umożliwiającego uzyskanie określonej wydajności produkcji), opracowywane są standardy czasu trwania czynności przeobrajania oraz sekwencji ich realizacji. Następnie te założenia są weryfikowane po rozruchu linii i przeszkoleniu pracowników. W końcowej fazie powinny zostać zdefiniowane ostateczne wytyczne będące podstawą do przeprowadzenia szkoleń dla kolejnych operatorów i specjalistów Działu Utrzymania Ruchu. Niestety zdarza się, że wraz z:

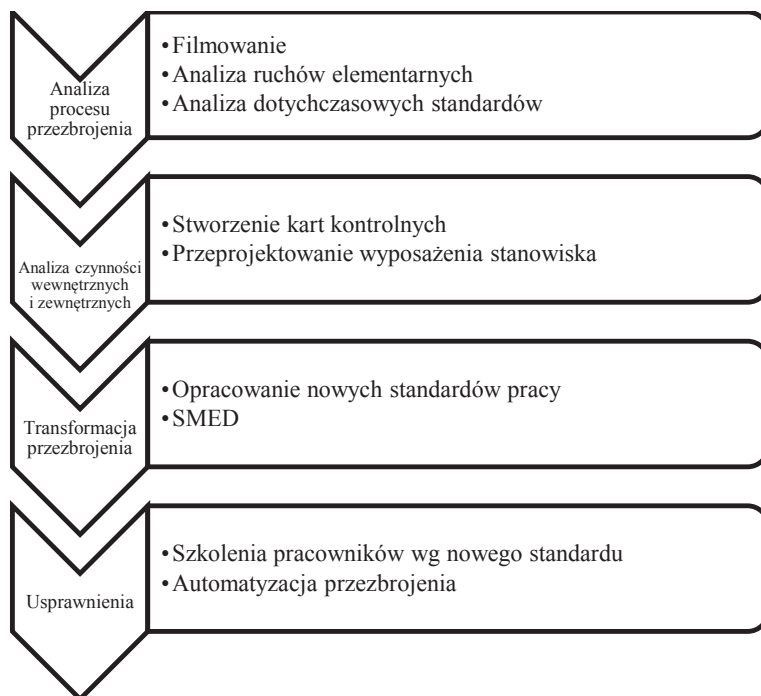
- wprowadzaniem modyfikacji do technologii produkcji wyrobu;
- spadkiem jakości wykorzystywanych półproduktów;
- postępującą deterioracją maszyn

standardy stają się nieadekwatne do realnych wymagań analizowanego procesu produkcyjnego. Pojawiają się coraz poważniejsze problemy z takim przeobrajaniem linii, które gwarantowałyby utrzymanie produktywności parku maszynowego na akceptowalnym poziomie. W takiej sytuacji konieczne jest rozpoczęcie działań zmierzających do walidacji wcześniej ustalonych standardów. Przede wszystkim jest to realizowane poprzez analizę stanu istniejącego np. opracowanie mapy strumienia wartości i weryfikację, które czynności mogłyby być realizowane w inny sposób lub w innej kolejności przez operatorów przy ustawianiu linii produkcyjnej. W szczególności rozważa się, które działania można wykonać jeszcze w trakcie pracy linii. Są to tzw. „czynności zewnętrzne”. W odróżnieniu od nich „czynności wewnętrzne” mogą być zrealizowane tylko w czasie kiedy praca stanowiska jest wstrzymana. W przykładowym procesie produkcyjnym realizowanym w przedsiębiorstwie Y zajmującym się m.in. wytwarzaniem opakowań papierowych są wykonywane czynności takie jak:

- kompletacja materiałów do operacji kaszerowania;
- ustawienie parametrów ekstruzji powłoki z tworzywa sztucznego;
- przebrojenie programu sterującego kaszerownicą;
- zmiana ustawień rozstawu podajników taśmy papierowej;

- sprawdzenie stanu zbiornika z klejem w operacji klejenia warstw opakowania;
- uzupełnienie kleju po wyczerpaniu zbiornika.

Na rysunku 1 został przedstawiony ogólny schemat postępowania przy optymalizacji przebrojenia procesu produkcyjnego.

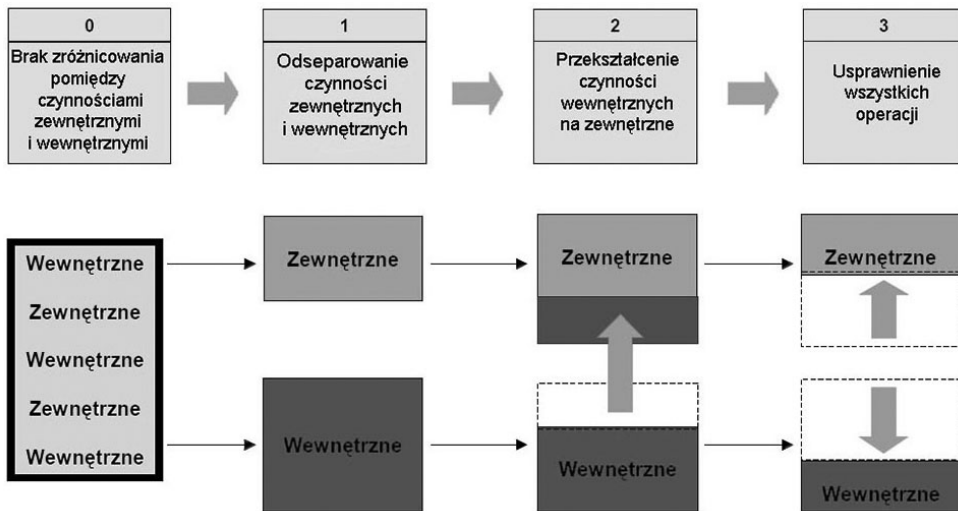


Rys. 1. Kolejność działań optymalizacyjnych przebrojenia w procesie produkcyjnym.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Lean Enterprise Institute Polska

Na rysunku 2 zostało pokazane nieco inne podejście do problematyki optymalizacji przebrojeń. Zakłada ono identyfikację stanu początkowego (zerowego) oraz przeprowadzenie sekwencji działań doskonalących, mających na celu wyizolowanie czynności wewnętrznych przebrojenia, a następnie ich zamianę na czynności zewnętrzne.

Oprócz prób zmiany kolejności wykonywania czynności przebrojenia oraz przesunięcia realizacji części z nich poza okres zatrzymania stanowiska, w trakcie doskonalenia procesów produkcyjnych podejmuje się również działania mające na celu skracanie całej sekwencji przebrojenia. Jest możliwe dzięki fizycznym modyfikacjom parku maszynowego umożliwiającym np. wymianę zestawu narzędzi obróbczych, a nawet całych modułów maszyny.



Rys. 2. Etapy modyfikacji standardu przeobrażania linii produkcyjnej

Źródło: opracowanie własne na podstawie Czerska J. *Doskonalenie strumienia wartości*. Gdańsk 2014

3. SMED

Rozwinięciem podziału czynności na wewnętrzne i zewnętrzne jest SMED² oznaczający tzw. „szybkie przebrojenie”. Jest to proces reorganizacji produkcji redukujący czas przebrojenia maszyny. Jednocześnie wydłuża się czas możliwy do wykorzystania na produkcję, dzięki czemu poprawie może ulec produktywność całego procesu. (Maciak, 2010)

Możliwości skrócenia czasu przebrojenia zależą od rodzaju wytwarzanych produktów, charakterystyki wyposażenia danej linii produkcyjnej oraz jakości jej obsługi. Idealną sytuacją byłoby takie zaprojektowanie stanowiska by wszystkie czynności przeobrażania można było wykonywać bezpośrednio w obszarze stanowiska (maszyny), bez czasochłonnego demontażu z niego oprzyrządowania. Dodatkowym działaniem optymalizującym potencjalne zmiany techniczne jest takie harmonogramowanie pracy stanowiska, aby maksymalnie wydłużyć partie produkcyjne, a co za tym idzie zminimalizować konieczność przeobrażania stanowiska. (Chabowski, Żywicki, 2013).

Pierwszym etapem przeprojektowania standardów przeobrażania wg SMED jest identyfikacja wszystkich czynności. W przedsiębiorstwie Y, na zautomatyzowa-

² SMED (ang. *Single Minute Exchange of Die*) – określenie stworzone przez Shigeo Shingo, które można przetłumaczyć jako „jednocyfrową liczbę minut przebrojenia (wymiany matrycy/formy/oprzyrządowania)”.

nej linii wytwarzania opakowań, zidentyfikowano następujące przykładowe czynności wewnętrzne:

- uruchomienie nowego programu sterującego automatem kaszerującym,
- modyfikacja parametrów ekstruzji powłoki z tworzywa sztucznego,
- oraz przykładowe zewnętrzne:
- wyszukanie w pamięci automatu do cięcia odpowiedniego dla danego zlecenia programu sterującego głowicą tnącą,
- przygotowanie uzupełniającego zbiornika z klejem.

Drugim etapem jest weryfikacja kwalifikacji poszczególnych czynności (wewnętrznych czy zewnętrznych) oraz poszukiwaniu sposobów ich przekształcenia – wewnętrznych w zewnętrzne.

Trzecim etapem jest usprawnienie zidentyfikowanych czynności przezbrajania. Polega ona na ich doskonaleniu, a następnie standaryzacji ich wykonywania. Równocześnie cały czas należy szukać nowych, jeszcze bardziej efektywnych sposobów skracania przebrojeń w tym także modyfikacji technicznych stanowiska.

Dzięki ostatecznemu wyizolowaniu czynności, które nie muszą być wykonywane podczas pracy linii produkcyjnej, można je wykonywać równolegle do realizacji operacji technologicznych, co oznacza uzyskanie dodatkowego czasu na produkcję, zwiększenie elastyczności linii produkcyjnej oraz zwiększenie możliwej dziennej liczby przebrojeń.

W przedsiębiorstwie Y realizując wymienione działania związane z koncepcją SMED m.in. wyposażono automat do klejenia w wymienne zasobniki z klejem, co skraca jego uzupełnianie w trakcie pracy linii.

4. Mierniki przebrojeń

Przebrojenie można poddać opomiarowaniu na kilka sposobów. Najprostszym jest zmierzenie czasu trwania poszczególnych czynności. Im więcej czynności do wykonania i im są dłuższe tym więcej czasu potrzeba na przebrojenie stanowiska. W tym obszarze można wyróżnić dwa podstawowe mierniki:

- czas dodawania wartości – „czas przeznaczony na czynności, które wpływają na walory produktu w taki sposób, że klient jest skłonny za niego zapłacić”. (Rother, Shook, 2006) Przebrojenie nie jest częścią procesu, która w bezpośredni sposób przyczynia się do zwiększenia wartości produkowanych elementów, ale sposób („jakość”) jego realizacji może wpłynąć na jakość produktu, a więc także jego wartość postrzeganą z punktu widzenia klienta.
- czas przejścia (L/T – *Lead Time*) – czas jaki jest potrzebny na przejście jednej części przez proces od jego początku do końca. Jego wartość najłatwiej uzyskać znakując wybraną część na wejściu i mierząc czas jaki upłynie do chwili pojawienia się jej na wyjściu. (Rother, Shook, 2006) W inny sposób można scharakteryzować go jako czas przejścia półwyrobu przez zespół operacji wykonywa-

nych w obszarze np. gniazda produkcyjnego; czas od momentu, kiedy półwyrób wchodzi do pierwszej operacji do momentu, kiedy opuszcza ostatnią (Czerska, 2014).

5. Jakość przebrojenia

W literaturze przedmiotu przedstawionej w poprzednich rozdziałach wiele uwagi poświęcono m.in. minimalizacji czasu przebrojenia oraz standaryzacji (głównie powtarzalności) wykonywanych czynności. Żaden z zaprezentowanych mierników nie uwzględnia bezpośrednio jakości realizacji wykonywanego przebrojenia. Błędy popełnione przez operatorów w trakcie demontażu/montażu oprzyrządowania mają swoje odzwierciedlenie nie tylko w niepożądanym wydłużeniu tej wymiany, ale także w problemach pojawiających się później w trakcie pracy linii. To wpływa na uzyskiwane wartości wskaźników np. OEE (Wirkus, Kufel, 2014), (Drozd, Kufel, 2014), (Nakajima, 1988). Jednak OEE nie umożliwia identyfikacji błędów popełnionych w trakcie przebrajania. W związku z tym konieczne jest wprowadzenie dodatkowego miernika umożliwiającego monitorowanie czynności przebrojenia – „wskaźnika jakości przebrojenia”.

Wskaźnik jakości przebrojenia powinien być bezwymiarowy, dzięki czemu będzie mógł być wykorzystywany w różnych procesach produkcyjnych – podobnie jak OEE (Wirkus, Kufel, 2014). Jednocześnie mógłby uwzględniać następujące charakterystyczne składowe każdego przebrojenia:

— składowa P1 – ocena liczby zrealizowanych czynności wykonywanych w trakcie przebrajania – chodzi o zadania realizowane wg standardu wypracowanego w trakcie projektowania procesu lub jego rozruchu. Podobnie jak w przypadku OEE – jeśli wskaźnik jakości przebrojenia miałby wynosić maksymalnie 1 (100%) to jego składowe także powinny być mierzone w tej skali. Aby zatem wyznaczyć wartość P1 można ocenić tę część przebrojenia opierając się na funkcji eksponencjalnej, gdzie:

$$P1 = e^{(-x)}$$

e – liczba Eulera,

x – liczba czynności, które nie zostały zrealizowane zgodnie ze standardem przebrojenia.

Na przykład zrealizowanie wszystkich czynności oznaczałoby przyjęcie wartości P1 na poziomie 1 (100%), nie zrealizowanie dwóch oznaczałoby przyjęcie wartości składowej na poziomie ok. 0,14 itd. Przyjęcie takiej skali podkreśli konieczność dążenia do bezbłędnego wykonania przebrojenia. Popołnienie choćby jednego błędu będzie oznaczało obniżenie wartości składowej o wiele bardziej niż w przypadku oceny proporcjonalnej, czyli ilorazu liczby wykonanych

- operacji do założonej liczby operacji. Oczywiście w niektórych przypadkach zaniechanie zaledwie jednej czynności mogłoby zniweczyć całe przebrojenie;
- składowa P2 – wykonanie czynności zgodnie ze standardem – czyli potwierdzenie, że wykonana czynność została zrealizowana w sposób zgodny z przyjętym wzorcem. Jest to składowa dotycząca bezpośrednio „jakości” realizacji przebrojenia. Można ją określić także wykorzystując skalę eksponentyjalną, gdzie:

$$P2 = e^{(-s)}$$

- e – liczba Eulera,
- s – powinno być określone za pomocą dodatkowej analizy np. FMEA w celu określenia mapy cech charakterystycznych dla danej czynności w funkcji efektu oraz prawdopodobieństwa jej niepoprawnego wykonania. S może przyjmować wartości z przedziału od 0 do 25, gdzie 0 oznacza bezbłędne wykonanie czynności, a 25 realizację obciążoną błędami (maksymalna wartość wg przyjętej skali FMEA) (Wirkus, Trzeciński, 2013);
- składowa P3 – stopień złożoności pojedynczej czynności przebrojenia – niektóre czynności mogą polegać jedynie na np. wciśnięciu przycisku ładowania programu sterującego kaszerownicą w procesie Y. Są to czynności proste, powtarzalne, wymagające od pracownika jedynie elementarnego przeszkolenia. Mogą być także czynności bardziej złożone, wymagające szeregu ruchów manipulacyjnych i wprawy w utrzymaniu zakładanej powtarzalności standardu jak np. pozycjonowanie wstęgi papieru w automacie do cięcia. Stopień złożoności mógłby być określany w trakcie opracowania standardu przebrajania procesu np. w skali opartej na ilorazie udanej liczby powtórzeń czynności do łącznej liczby powtórzeń. Przy takiej konstrukcji wskaźnika P3 jego maksymalna wartość także będzie wynosiła 1 (100%);
- składowa P4 – czas wykonywania czynności przebrojenia – jako osobną składową należy wziąć pod uwagę także czas wykonywania czynności przebrajania; ma to szczególnie wymiar w procesach, gdzie do mierzenia np. ich produktywności jest wykorzystywany L/T procesu. P4 może być obliczane według wzoru:

$$P4 = \frac{t_z}{t_t}$$

gdzie: t_z – czas zmierzony;

t_t – czas teoretyczny (standardowy) wykonania danej czynności.

Dla pojedynczej czynności przebrojenia wzór na jakość przebrojenia miałby postać:

$$P = P1 \cdot P2 \cdot P3 \cdot P4$$

gdzie wartość wskaźnika zawierałaby się w przedziale $<1, 0$), czyli maksymalnie 100%.

W analizowanym procesie produkcyjnym przedsiębiorstwa Y rozpoczęto implementację zaproponowanego wskaźnika. Wyniki wdrożenia oraz pomiarów (badań) jego rzeczywistego wykorzystania będą przedmiotem osobnej analizy.

6. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono narzędzia i mierniki dotychczas wykorzystywane do podstawowego opomiarowania przebrojeń procesów produkcyjnych. Niestety obejmują one jedynie część aspektów (i problemów) realizacji tego procesu pomocniczego. W związku z tym konieczne było wprowadzenie dodatkowego wskaźnika – prostego w zastosowaniu, ale jednocześnie obejmującego „białe plamy” ww. wymienionych systemów oceniających przebrojenia. Zaproponowany wskaźnik jakości przebrojenia zostanie wykorzystany w dalszych badaniach, a jego zastosowanie zweryfikowane w wybranych przedsiębiorstwach produkcyjnych.

Bibliografia

1. Chabowski P., Żywicki K. *Wpływ organizacji przebrojeń na efektywność zasobów technicznych*. Inżynieria Maszyn, NOT, Wrocław, R. 18, z. 1, 2013.
2. Czerna J. *Doskonalenie strumienia wartości*. Difin, Warszawa, 2014, s. 97.
3. Kufel K., Drozd R.: *Problem wykorzystania wskaźnika oee w zautomatyzowanym procesie produkcyjnym farb proszkowych*. „Zarządzanie projektami i procesami” pod red. Wirkusa M. Gdańsk 2014.
4. Maciak J. *Redukcja czasu przebrojenia maszyny przy użyciu techniki SMED*. KZZ Kraków, 2010.
5. Nakajima S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*, The Productivity Press, 1988.
6. Rother M., Shook J. *Naucz się widzieć. Eliminacja marnotrawstwa poprzez Mapowanie Strumienia Wartości*. Wrocław: Politechnika Wrocławska 2006, s. 20.
7. Wirkus M., Kufel K. *Problem analizy spadku OEE zautomatyzowanego parku maszynowego spowodowanych spadkiem prędkości pracy oraz mikroprzestojami technicznymi*. „Zarządzanie a inżynieria produkcji” po red. P. Łebkowskiego, Wyd. AGH, Kraków 2014.
8. Wirkus M., Trzciniński R. *System claim management w przedsiębiorstwie budowlanym*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji Zakopane 2013.
9. Leksykon Lean <http://lean.org.pl/leksykon-lean-management/?explanatory-dictionary-letter=p> 2016.06.01.

OPTIMIZATION OF CHANGEOVER MODELLING IN PRODUCTION PROCESS

Abstract

Activities performed to prepare machines to work are an essential part of any manufacturing process. Unfortunately these actions does not cause a direct increase value added to the final product. Customers are willing to pay for a product with the desired characteristics, provided in the expected time, without thinking about processes which have to be done additionally

by producer. Therefore, in manufacturing companies the performance of these activities is often pushed to the background. Improving of the quality of production processes is aimed at perfecting the manufacturing operations, rather than ensuring the correct execution of the so-called changeover. This paper is about aspects of measuring and modeling the quality of its performing in the company Y.

Key words: changeover, optimization, quality of changeover.