

Przemysław CHABOWSKI¹
Krzysztof ŻYWICKI¹

WPŁYW ORGANIZACJI PRZEBROJEŃ NA EFEKTYWNOŚĆ ZASOBÓW TECHNICZNYCH

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z koncepcją szczupłego wytwarzania dotyczącą wpływu czasu przebrojeń maszyn produkcyjnych na całkowitą efektywność wyposażenia. W artykule przybliżono etapy wdrażania koncepcji SMED, oraz ich wpływ na wzrost wskaźnika OEE. Przedstawiono przykład usprawnienia procesu przebrojeń w firmie zajmującej się przetwórstwem tworzyw sztucznych. Pracę zakończono podsumowaniem, które przedstawia najważniejsze rezultaty dokonanych usprawnień, dotyczących procesu przebrojenia formy wtryskowej.

1. WPROWADZENIE

W dzisiejszych realiach gospodarczych wyzwaniem dla przedsiębiorstw produkcyjnych jest konieczność oferowania klientom wielu wariantów wyrobów oraz realizacja małych i częstych zamówień. Wymagania te sprawiają, że konieczne jest poszukiwanie rozwiązań pozwalających elastycznie reagować na zmienne wymagania klientów. Jednym z czynników mających ogromny wpływ na spełnienie tych właśnie wymagań są przebrojenia maszyn czy całych linii produkcyjnych. Długi czas przebrojenia czy nawet tylko sama świadomość konieczności przebrojenia powoduje, że osoby odpowiedzialne za realizację produkcji starają się ich unikać. W efekcie standardem jest produkcja w dużych partiach produkcyjnych, aby maksymalizować wykorzystanie maszyn. Częstym argumentem jest także przekonanie, że przebrojenia są kosztowne i mają negatywny wpływ na produktywność zasobów produkcyjnych. Należy mieć jednak świadomość, że rzadkie przebrojenia, a tym samym produkcja w dużych partiach powoduje [2]:

- straty magazynowe – zbyt długie magazynowanie niesprzedanych wyrobów powoduje „zamrożenie gotówki” bez żadnych korzyści dla firmy,
- opóźnienia dostaw – oczekiwanie na wyprodukowanie dużej partii produkcyjnej, a nie ilości jaką potrzebuje klient,

¹ Politechnika Poznańska, Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji, E-mail: krzysztof.zywicki@put.poznan.pl

- obniżenie jakości – duże partie produkcyjne pozwalają „ukryć” wyroby wadliwe.

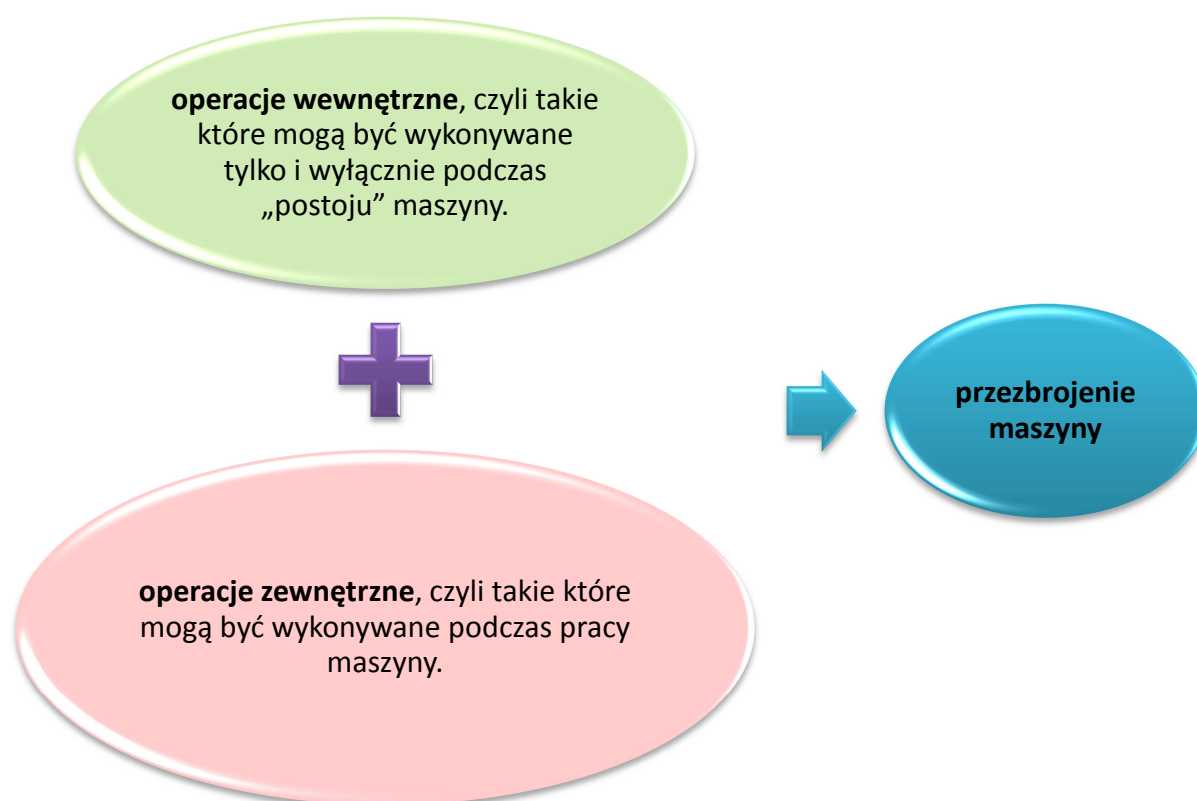
Tymczasem uwarunkowania rynku powinny skłaniać producentów do częstych przebrojeń, ale bez negatywnego wpływu na wykorzystanie zasobów produkcyjnych. Rozwiązaniem jest bez wątpienia skracanie czasów przebrojeń a nie zmniejszanie ich częstotliwości.

Daje to korzyści w postaci [2],[3]:

- elastyczności – przedsiębiorstwo może szybko reagować na zmieniające się potrzeby klienta bez ponoszenia większych kosztów,
- szybszych dostaw – wraz z małymi partiami skraca się czas oczekiwania klienta na realizację zamówienia,
- wyższej produktywności – krótsze przebrojenia redukują czas przestojów, co zwiększa wykorzystanie parku maszynowego.

Odpowiedzią na poszukiwanie sposobów skracania czasów przebrojeń jest metoda SMED (*ang. Single Minute Exchange of Die*). Jest to zestaw technik i metod, które umożliwiają dokonanie wymiany części, urządzeń i nastaw linii produkcyjnej, w czasie pojedynczych minut [5]. Każde prawidłowo przeprowadzone SMED powoduje radykalne zmniejszenie czasów wymiany elementów maszyn w każdym przypadku [2].

Istotą organizacji przebrojeń maszyn zgodnie z metodą SMED jest rozdział operacji na tzw. przebrojenie wewnętrzne i zewnętrzne (rys. 1)



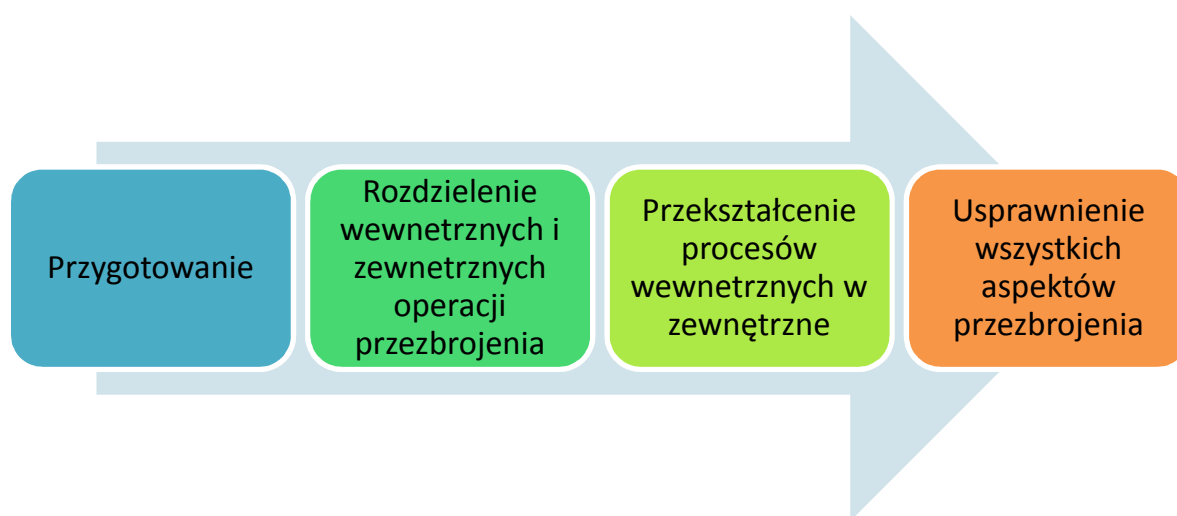
Rys. 1. Istota organizacji przebrojeń maszyn w metodą SMED
Fig. 1. The essence of the changeovers machines organization in SMED method

Twórcą metodyki SMED jest Shingeo Shingo, który zapoczątkował koncepcję szybkich przebrojeń w 1950 roku. Wyodrębnił on cztery etapy organizacji procesu przebrajania [1],[4],[6] (rys. 2):

- etap I – przygotowanie – polega na analizie stanu obecnego danej komórki produkcyjnej,
- etap II – rozdzielanie wewnętrznych i zewnętrznych operacji przebrojenia,
- etap III – przekształcenie procesów wewnętrznych w procesy zewnętrzne,
- etap IV – usprawnienie wszystkich aspektów przebrojenia.

Dodatkowo krótsze przebrojenia wynikające z zastosowania SMED powodują, że możliwy jest wzrost efektywności produkcji ponieważ [3],[6-8]:

- wykonywanych jest mniej regulacji, co jest wynikiem łatwiejszego przebrajania, a co równa się wzrostowi bezpieczeństwa oraz poczucia bezstresowej i obciążonej mniejszym ryzykiem pracy oraz możliwości wystąpienia wypadku,
- mniej narzędzi i/lub uporządkowane części i narzędzia oznaczają mniejsze zamieszanie związane z szukaniem odpowiednich narzędzi przy stanowisku pracy, a co za tym idzie, sama produkcja jest łatwiejsza i bezpieczniejsza,
- narzędzia są standaryzowane i dlatego ich liczba jest ograniczona do minimum.



Rys. 2. Etapy organizacji przebrojeń w metodzie SMED
Fig. 2. The steps of changeovers organization in the SMED method

Należy mieć jednak na względzie, że przebrojenia powodują czasową przerwę w realizacji zadań produkcyjnych na maszynie. Z tego powodu mają wpływ na stopień wykorzystania dostępnego czasu pracy maszyn. Jednym ze wskaźników pozwalającym określić ten parametr jest wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia - OEE (*ang. Overall Equipment Effectiveness*). Wskaźnik ten obejmuje trzy elementy [6]:

- dostępność - iloraz dostępnego czasu operacyjnego i rzeczywistego czasu pracy maszyny,

- wydajność – iloraz rzeczywistej wielkości produkcji i możliwej do osiągnięcia w danym czasie,
- jakość – iloraz ilości wyrobów wyprodukowanych i wyrobów wadliwych.

Dostępność uzależniona jest od różnego rodzaju przerw w pracy maszyn, np.: awarie, brak materiału oraz czasy przebrojeń. Stopień wykorzystania uwarunkowany jest rzeczywistym czasem realizacji operacji technologicznych [6].

Dzięki zastosowaniu wskaźnika OEE możliwe jest zobrazowanie stanu systemu produkcyjnego w oparciu o analizę zasobów technicznych. Wskaźnik ten umożliwia przedstawienie nie tylko zdolności produkcyjnej, ale także utratę potencjalnej produkcji, powstałej w wyniku strat związanych z jakością i dostępnością. Głównym celem OEE jest monitorowanie oraz doskonalenie pracy urządzeń lub procesów. Wskaźnik pozwala również udoskonalić konstrukcję i serwisowanie maszyn w celu zapobiegania problemom [6].

2. DOSKONALENIE PRZEBROJENIA WTRYSKARKI

W artykule przedstawiono pilotażowe działania doskonalące operacje przebrajania jednej z maszyn na wydziale wtryskowni w firmie produkującej filtry do urządzeń mechanicznych oraz dla przemysłu motoryzacyjnego. Wydział ten realizuje produkcję wyprasek, wykorzystywanych, jako denka filtrów. Powodem rozpoczęcia przedsięwzięcia związanego z doskonaleniem przebrojeń na tym wydziale był fakt, że przebrojenia wtryskarek powodowały znaczne przestoje, a tym samym obniżały wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia. Analizie poddano także wpływ skrócenia czasów przebrojeń na efektywność wykorzystania maszyny.

Działania związane z doskonaleniem przebrojenia wtryskarki przeprowadzono zgodnie z etapami metodyki SMED. Przy czym założono, że w pierwszym kroku będą to działania związane z doskonaleniem organizacyjnym bez rozwiązań inwestycyjnych.

Przebrojenia maszyn stosowanych w przetwórstwie polimerów, metodą wtryskiwania, wiążą się ściśle z operacją wymiany formy wtryskowej, która służy kształtowaniu uplastycznionego tworzywa w wypraski. W analizowanym zakładzie produkcyjnym stosowane są formy wtryskowe chłodzone oraz formy z grzanymi kanałami. W celu analizy stanu obecnego, dokonano obserwacji przebrojenia wtryskarki. Na podstawie dokonanych obserwacji, sporządzono propozycję wdrożenia działań doskonalących, dotyczącego wymiany form wtryskowych.

2.1. ANALIZA PRZEBROJENIA

W pierwszym etapie realizacji koncepcji usprawnienia przebrojenia, powołano dwuosobowy zespół obserwatorów, którego zadaniem była analiza stanu obecnego przebrojeń. Poniższa tabela przedstawia wykaz czynności, wykonywanych przez operatora wtryskarki, w ujęciu czasowym. Za czas rozpoczęcia przebrojenia przyjęto moment zakończenia zlecenia produkcyjnego.

Tabela 1. Wykaz czynności wykonywanych przez operatora wtryskarki w ujęciu czasowym
Table 1. The list of activities performed by the operator of an injection molding machine in terms of time

Lp.	Wykonywana czynność	Wyposażenie	Czas (narastająco) [godzina:minuta:sekunda]
1	Chłodzenie formy z grzanymi kanałami		0:00:00
2	Odcięcie obiegu wody w formie		0:13:07
3	Czyszczenie formy po produkcji	- rozpuszczalnik ekstrakcyjny; - spray do konserwacji form;	0:15:56
4	Usunięcie wody z kanałów chłodzących formę	- pistolet nadmuchowy;	0:18:24
5	Demontaż formy z wtryskarki	- klucz imbusowy; - podnośnik;	0:19:24
6	Odwiezenie formy do magazynu	- wózek;	0:35:58
7	Przywiezienie nowej formy na stanowisko pracy	- wózek;	0:38:26
8	Montaż nowej formy	- panel wtryskarki; - klucz nimbusowy;	0:49:35
9	Oczyszczenie gniazd formy	- rozpuszczalnik ekstrakcyjny;	0:50:20
10	Podpięcie układu chłodzącego formę	- węże doprowadzające obieg wody do formy;	0:51:16
11	Pobranie dokumentacji oraz stabilizacja temperatury formy		0:56:38
12	Wprowadzenie parametrów pracy wtryskarki	- panel wtryskarki;	1:02:34
13	Próbne uruchomienie produkcji (10 wtrysków)		1:03:13
14	Uruchomienie produkcji		1:07:53

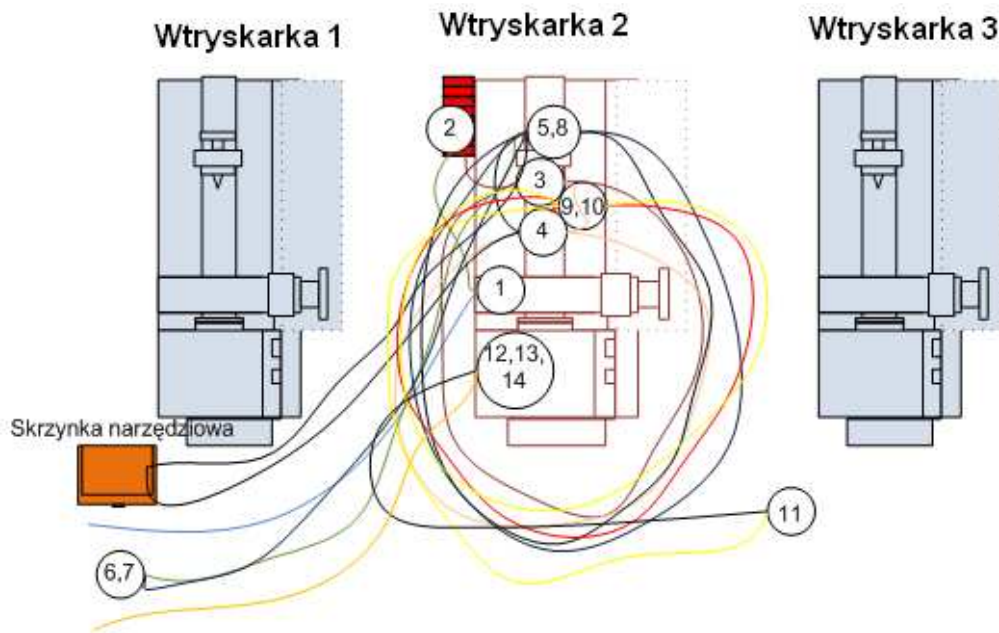
Porównując czas przebrojenia ze zleceniem, którego przebrojenie dotyczyło zauważono, że stanowi ono 23% czasu operacyjnego, przeznaczonego na realizację tego zlecenia (rys. 3).



Rys. 3. Zestawienie czasu przebrojenia z czasem produkcji
Fig. 3. Summary of changeover time with the time of production

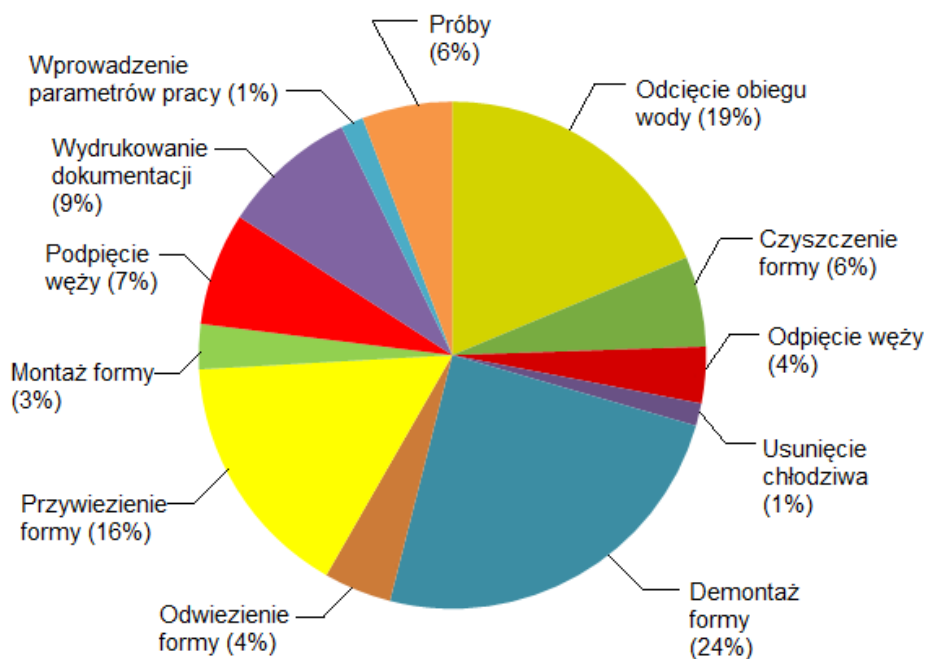
Opracowany diagram przemieszczeń operatora wskazał na znaczne odległości pokonywane podczas przebrojenia. (rys. 4). Podczas przebrojenia wtryskarki, zauważono odstępstwa od standardowych procedur, spotykanych w firmach zajmujących się przetwórstwem tworzyw sztucznych. Stwierdzono również braki organizacji stanowisk według koncepcji 5S.

Dokładną analizę straty czasu przedstawiono za pomocą diagramu Pareto, w którym przedstawione zostały straty spowodowane przez zaobserwowane błędy w organizacji przebrojenia.



Rys. 4. Diagram przemieszczeń operatora dla przebrojenia wtryskarki

Fig. 4. Spaghetti diagram for injection machine changeover



Rys. 5. Procentowy udział czynności w procesie przebrajania wtryskarki

Fig. 5. Percentage of steps required to set-up injection machine

Do takich błędów zaliczono:

- brak środków chemicznych, pojemnika na chłodziwo oraz pistoletu nadmuchowego na przezbieranym stanowisku,
- brak palety oraz wózka, służących do transportu demontowanej formy i przywiezienia nowej,
- konieczność opuszczenia stanowiska pracy w celu wydrukowania dokumentacji, zawierającej parametry nastawcze wtryskarki,
- konieczność wielokrotnego okrażania przezbieranej maszyny,
- transport form za pomocą podnośnika łańcuchowego jest męczący dla pracownika i czasochłonny w porównaniu ze stosowaniem suwnic.

Powyższy wykres (rys. 5) przedstawia procentowy udział poszczególnych zadań w przebrojeniu wtryskarki. Czas analizowanego przebrojenia wyniósł 1 godz. 7 min. 53 sek. Najwięcej czasu poświęcono na demontaż formy wtryskowej, odcięcie obiegu wody (w tym chłodzenie formy z grzanymi kanałami) oraz dostarczenie na stanowisko nowej formy wtryskowej.

2.2. ROZDZIELENIE OPERACJI ZEWNĘTRZNYCH I WEWNĘTRZNYCH

Drugim etapem była analiza, mająca na celu rozdzielenie operacji wewnętrznych od zewnętrznych. Z przeprowadzonych obserwacji dotyczących przebrojenia wtryskarki, wynikało, że niektóre czynności możliwe są do wykonania przed wyłączeniem maszyny. Można również przygotować niezbędne narzędzia i wyposażenie, w celu skrócenia czasu przygotowawczego. W celu stworzenia standardów, umożliwiających wykonanie operacji zewnętrznych, stworzono listy kontrolne. Poniżej przedstawiona została jedna z proponowanych list kontrolnych, zawierająca wykaz oprzyrządowania i czynności, które wykonać należy jeszcze podczas pracy wtryskarki. Rozwiązanie takie pozwala skrócić czas przebrojenia o 23%, czyli 17 minut.

Tabela 2. Lista kontrolna
Table 2. Control list

Lista kontrolna – przebrojenie zewnętrzne wtryskarki			
Zadania		Wykaz przedmiotów:	
1	Wydrukuj dokumentację	Lp.	Nazwa:
2	Przywieź formę	1	Pojemnik na wodę
3	Przygotuj niezbędne narzędzia pracy	2	Pistolet nadmuchowy
		3	Klucze
		4	Młotek

Kolejną czynnością tego etapu było wprowadzenie kontroli funkcjonalności formy. Etap ten ma na celu upewnienie się, że montowana forma nie jest uszkodzona, oraz że została przygotowana do produkcji zadanej wersji wyprasek. W analizowanym przypadku

za kontrolę funkcjonalności formy odpowiada dział narzędziowy, forma sprawdzana jest zanim trafi do magazynu.

Na tym etapie doskonalenia przebrojenia wprowadzono standardy programu 5S w celu usprawnienia organizacji stanowisk pracy. W tym celu dokonano wewnętrznego auditu dotyczącego selekcji, systematyki, sprzątnięcia, standaryzacji oraz samodoskonalenia. Na podstawie pytań kontrolnych zawartych w formularzu auditowym, utworzono propozycję zmian organizacyjnych dotyczących rozmieszczenia przedmiotów w wózkach narzędziowych w postaci tablicy cieni. Utworzono również standardy dla stanowisk wtryskarek, dotyczących rozmieszczenia urządzeń pomocniczych w ich obszarze.

2.3. PRZEKSZTAŁCENIE OPERACJI WEWNĘTRZNYCH W ZEWNĘTRZNE

Kolejnym etapem doskonalenia przebrojenia była analiza rzeczywistych funkcji i celów wszystkich działań wewnętrznych przebrojenia oraz znalezienie sposobów na zamienienie ich w operacje zewnętrzne.

W przypadku stosowania form z grzanymi kanałami, przed uruchomieniem produkcji, konieczne jest rozgrzanie formy do zadanej temperatury. Ta wewnętrzna operacja może zostać przekształcona w zewnętrzną dzięki wcześniejszemu podgrzaniu formy wtryskowej. Efekt ten można osiągnąć wprowadzając stacje lub wózki grzewcze. Forma pobrana z magazynu umieszczona zostanie w stacji termostatujucej i po osiągnięciu zadanej temperatury zostanie przetransportowana na stanowisko wtryskarki.

Niemożliwym do osiągnięcia zabiegiem jest przekształcenie operacji demontażu formy wtryskowej z poprzedniej produkcji oraz montażu nowej.

2.4. USPRAWNIENIE WSZYSTKICH ASPEKTÓW PRZEBROJENIA

Usprawnienie operacji zewnętrznych, dotyczących przebrojeń, powiązane było ściśle z doskonaleniem operacji transportowych i magazynowaniem form wtryskowych. Koniecznym było rozwiązanie kwestii zarządzania narzędziami oraz wyposażeniem, stosowanych na stanowiskach pracy.

Kolejnym etapem było doskonalenie operacji wewnętrznych przebrojenia. Doskonalenie to obejmowało: zastosowanie zacisków funkcjonalnych, wdrożenie operacji równoległych oraz eliminację korekt ustawienia. W celu zminimalizowania czasu trwania wewnętrznych operacji zaproponowano, aby te operacje były wykonywane przez dwóch pracowników (operacja równoległa). Takie rozwiązanie skróciło czas dokręcania i wkręcania śrub mocujących zaciski o połowę. W tym celu sporządzono instrukcję dla dwóch operatorów wtryskarki w formie spisanych punktów.

Możliwe jest również wyeliminowanie zabiegu przykręcania śrub przez zastosowanie systemu bagnetowego lub hydraulicznego dla mocowania form wtryskowych w płytach wtryskarki (zaciski funkcyjne: hydrauliczne, magnetyczne, bagnetowe). Dzięki takim rozwiązaniom możliwe jest skrócenie czasu trwania operacji montażu i demontażu formy

o 50%, co pozwoli zaoszczędzić 10 minut. Operacja podpinania i odpinania węży, doprowadzających chłodzenie do formy, wykonywana przez dwóch pracowników, pozwala skrócić czas przebrojenia o ok. 5 minut (operacja równoległa).

Tabela 3. Instrukcja przebrojenia dla dwóch operatorów
Table 3. Manual of changeover for two operators

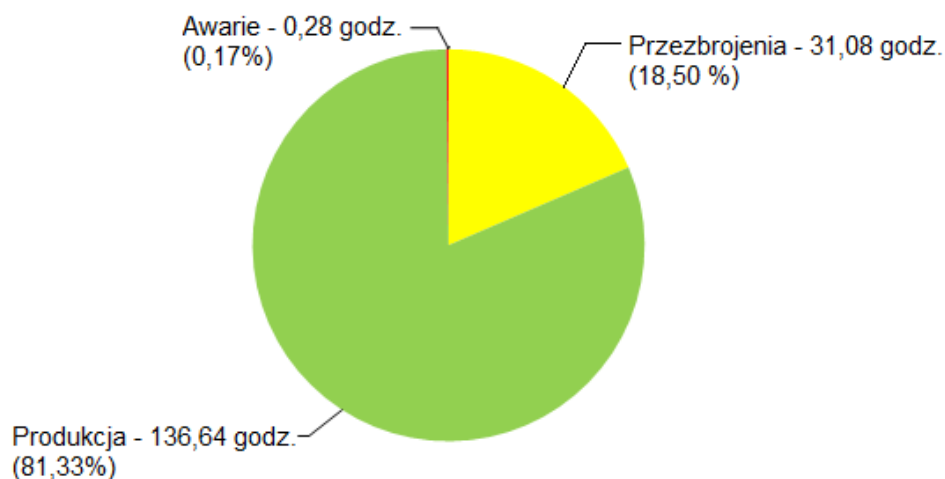
Podział obowiązków i czynności do wykonania przez dwóch operatorów:	
Operator 1	Operator 2
Czynności wykonywane przed przystąpieniem do przebrojenia:	
1. Przygotowanie stanowiska pracy, potrzebnych narzędzi i oprzyrządowania w ciągu ostatnich cykli pracy wtryskarki poprzedzających przebrojenie 2. Zatrzymanie pracy wtryskarki	1. Dostarczenie na stanowisko palety na formę zdejmowaną z maszyny. 2. Dostarczenie na stanowisko montowanej formy
Czynności wykonywane w trakcie przebrojenia	
3. Odcięcie regulatora grzanych kanałów, chłodzenie formy 4. Czyszczenie formy 5. Montaż uchwyty mocującego	3. Odcięcie obiegu wody 4. Odłączenie węży obiegu wody 5. Przedmuchiwanie kanałów chłodzących sprężonym powietrzem
6. Demontaż formy z wtryskarki	6. Demontaż formy z wtryskarki
7. Montaż nowej formy w maszynie: - Montaż formy w płytach mocujących formę - Wkręcenie klamr mocujących formę w płytach - Oczyszczenie gniazd formy z ewentualnych pozostałości po konserwacji	7. Montaż nowej formy w maszynie: - Montaż formy w płytach mocujących formę - Wkręcenie klamr mocujących formę w płytach (druga strona) - Podpięcie chłodzenia formy
8. Drukowanie dokumentacji technologicznej do zlecenia	8. Odwiezienie zdjętej formy na magazyn
9. Wprowadzenie parametrów pracy wtryskarki 10. Próbné uruchomienie 11. Uruchomienie produkcji	9. Podpięcie sieci tworzywa 10. Sprzątanie stanowiska pracy

3. PODSUMOWANIE

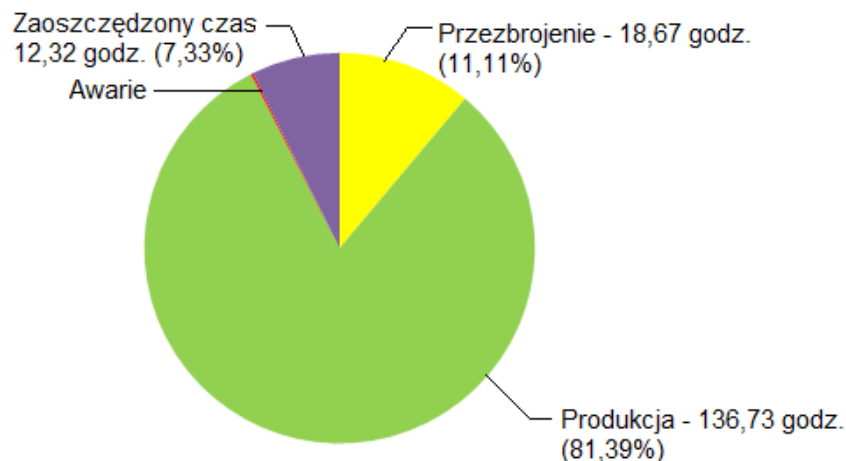
Przedstawiony przykład doskonalenia przebrojenia wtryskarki jednoznacznie wskazał, że stosowanie metodyki SMED pozwala uzyskać skrócenie czasów przebrojenia. Nie bez znaczenia jest też fakt, że uzyskano to głównie dzięki działaniom organizacyjnym, bez ponoszenia znaczących nakładów inwestycyjnych. Efektem skrócenia czasu przebrojenia jest zwiększenie dostępnego czasu pracy wtryskarki, co przedstawiono poniżej. Analizując produkcję w wybranym tygodniu 31,08 godziny to czas, który realizowano przebrajanie wtryskarki. Na produkcję pozostało 136,64 godzin czyli 81,33% czasu dostępnego (rys. 6).

W skutek wprowadzenia proponowanych rozwiązań, dotyczących przebrojeń, skrócono czas trwania przebrojenia z 1 godziny 7 minut do 40 minut. Analizę dostępnego czasu przedstawia wykres (rys. 7).

Dzięki zastosowaniu metodyki SMED, w procesie przebrojenia wtryskarki, zwiększono dostępność maszyny do produkcji o 12,32 godziny w ciągu tygodnia. W odniesieniu do zleceń produkcyjnych, realizowanych na analizowanej wtryskarce, możliwe jest wykonanie dwóch dodatkowych zleceń w ciągu tygodnia.



Rys. 6. Udział czasów przebrojeń, produkcji i awarii w ciągu tygodnia pracy
Fig. 6. The share of time changeovers, production and failure of the working week



Rys. 7. Udział czasów przebrojeń, produkcji i awarii po usprawnieniu procesu przebrojenia
Fig. 7. The share of time of changeovers, production and failure after improving the process of changeover

Powyższa analiza udowadnia wpływ czasu przebrojenia na dostępność wtryskarki. Proste usprawnienia organizacyjno – techniczne umożliwiły skrócenie czasu przebrojenia, co w efekcie zwiększyło jej dostępność. Dzięki takiemu rozwiązaniu, wskaźnik OEE, wykazuje wzrost efektywności produkcji analizowanej wtryskarki. Rozwiązania te przyczyniły się do poprawy warunków pracy operatorów dokonujących przebrojeń.

LITERATURA

- [1] BIRMINGHAM F., JELINEK. J., 2007, *Quick changeover simplified the manager's to improving profits with SMED*, Productivity Press, New York.
- [2] CAKMACKI M., 2009, *Process improvement: performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry*, Int J Adv Manuf Technol, 41, 168–179, DOI 0.1007/s00170 008- 1434-4.
- [3] KOCH T., 2011, *Jak stosować metody Lean Manufacturing (Oszczędnego Wytwarzania) do wprowadzania innowacji*, Konferencja „E-narzędzia i technologie generatywne jako szybka ścieżka do innowacji”, Warszawa.
- [4] MOREIRA A.C., CAMPOS SILVA PAIS G., 2011, *Single Minute Exchange of Die,-A Case Study Implementation*, Journal of Technology Management and Innovation, 29-46.
- [5] THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM., 1996, *Quick changeover for operators*, Productivity Press, New York.
- [6] SHIGEO SHINGO., 1985, *A revolution in manufacturing: the SMED system*, Productivity Press, Portland – Oregon.
- [7] WARKEDKAR R.M., DESAI M.S., 2011, *Productivity enhancement by reducing adjustment time and setup change*, International Journal of Mechanical Engineering & Industrial Engineering, 37-42.
- [8] WOLNIAK R., 2013, *Metody i narzędzia Lean Production i ich rola w kształtowaniu innowacji w przemyśle*, Konferencja IZIP , Zakopane.

INFLUENCE OF CHANGEOVERS ORGANIZATION ON EFFECTIVENESS OF TECHNICAL RESOURCES

The article presents the issues related to the concept of lean manufacturing on changeovers time relating to the effect on the total production machinery equipment effectiveness. The article brought closer SMED concept stages of implementation and their impact on increase the OEE. The article presents an example of improvement of the changeovers in the company involved in the plastic processing. The work was completed by summary that presents the main results made improvements on the process of mold changeover.