

JAKOŚĆ NA ETAPIE TECHNICZNEGO PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI

Dominika JAGODA

Streszczenie: Niemniejszy artykuł porusza problem zarządzania jakością we wczesnym etapie tworzenia wyrobu. Ukazuje jak duży wpływ mają błędy dokonane podczas projektowania na koszty związane z pojawianiem się wybrakowanych produktów. Ponadto nawiązuje do trudnej sytuacji Zespołu Odlewni Rafamet. Przedsiębiorstwo jest zacofane informatycznie, czego efektem są wyroby nie spełniające wymagań klientów.

Słowa kluczowe: CAD, CAM, zarządzanie jakością, braki.

1. Wprowadzenie

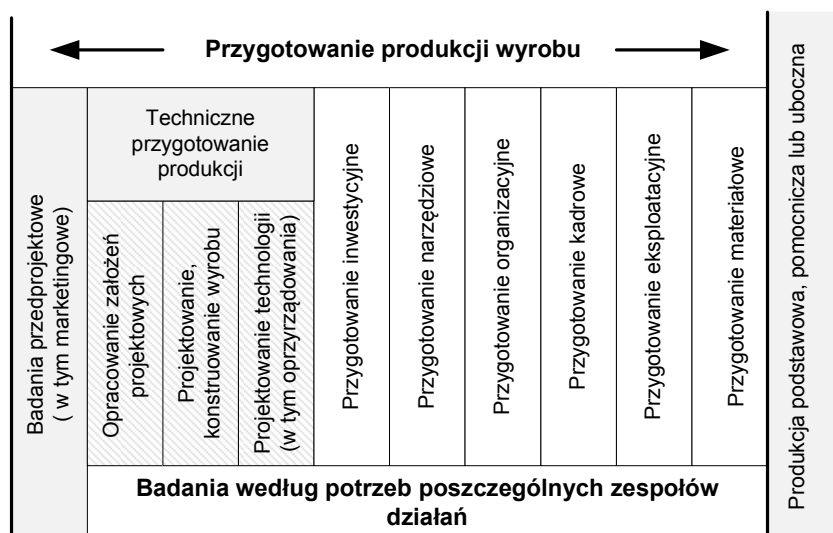
Zarządzanie jakością w obszarze przygotowania produkcji należy do zadań pierwszoplanowych. W przygotowaniu produkcji wyznaczona zostaje projektowa jakość wyrobu, technologia, oraz tworzone są warunki dla zapewnienia odpowiedniej jakości wykonania wyrobu i realizacji technologii. Działania z obszaru przygotowania produkcji prowadzone są w sposób ciągły, gdyż permanentnie występuje potrzeba wprowadzania zmian i doskonalenia produkcji. Gdyż większość przedsiębiorstw charakteryzuje się złożonym szerokościowo i głębokościowo asortymentem, który ulega nieustannym przekształceniom na skutek presji konkurencji i oczekiwań klientów. Jedne wyroby są wprowadzane do produkcji, inne wycofywane, jeszcze inne dywersyfikowane i doskonalone jakościowo. Zanim zasygnalizowane zmiany zostaną wdrożone do bieżącej produkcji, poprzedzi je odpowiednie przygotowanie [5].

Najszerzy zakres przygotowania występuje w przypadku wdrożenia nowego produktu. Wynika stąd wniosek, że ekonomika jakości powinna w pierwszym rzędzie dostarczyć narzędzia do ekonomicznej weryfikacji projektowych decyzji jakościowych. Zasadniczo decyzje projektowe dotyczą doboru poszczególnych cech i ich stanów, wyznaczających jakość obiektu projektowanego oraz jego składników. Wiedza projektanta, konstruktora, czy technologa o zależnościach i ekonomicznych skutkach doboru cech i ich stanów, umożliwi ekonomiczną optymalizację jakości projektowej. Kategorie ekonomiczne uwzględniane w generowaniu jakości projektowej dotyczą całokształtu zewnętrznych i wewnętrznych uwarunkowań działalności przedsiębiorstwa, a w szczególności docelowego rynku nabywców oraz rynku zaopatrzenia w środki produkcji. W przypadku projektowania wyrobu finalnego są to kategorie ekonomiczne charakteryzujące uwarunkowania cyklu istnienia wyrobu. Podejmowane a następnie wdrażane decyzje dotyczące jakości danego obiektu zarządzania wywołują szereg bezpośrednich i pośrednich skutków ekonomicznych, rozproszonych w przedsiębiorstwie i jego otoczeniu. Z drugiej strony w podejmowaniu tych decyzji należy uwzględnić ekonomiczne dane wejściowe, reprezentujące wymagania, ograniczenia i możliwości. Oba rodzaje uwarunkowań ekonomicznych powinny być zidentyfikowane, aby można było je uwzględnić w procesie decyzyjnym (por. [10])

W porównaniu z innymi etapami w cyklu istnienia wyrobu-projektowaniu przypada szczególna rola w zapewnieniu jakości. Nie ulega wątpliwości, że najlepiej przeprowadzony proces technologiczny nie zapewni wysokiej jakości jeśli nie będzie ona zawarta już w samym projekcie.

2. Etapy procesu przygotowania produkcji

Ze względu na udział i znaczenie jednostek produkcyjnych w osiągnięciu celów przedsiębiorstwa, występuje dość powszechne przeświadczenie o ich nadrzędności względem pozostałych jednostek. Takie typowe dla orientacji produkcyjnej stanowisko jest nieuzasadnione, a więc szkodliwe gdyż nie jest zgodne z orientacjami jakościową i marketingową. Poprzez ustanowienie relacji pomiędzy jednostkami produkcyjnymi i administracyjnymi powinno odbywać się na zasadzie relacji najślabszego ognia i harmonii w realizacji wspólnego celu (rys. 1).



Rys.1. Zespół działań w przygotowaniu produkcji wyrobu [4]

W procesie przygotowania produkcji można wydzielić etap badawczo-projektowy oraz etap przygotowania organizacyjno-materiałowego. Podczas etapu badawczo-projektowego powstają projekty poparte wynikami badań: wyrobu, procesów technologicznych, oprzyrządowania specjalnego, inwestycji, opakowania, organizacji systemów produkcyjnych, rozruchu produkcji, szkolenia pracowników, procesów użytkowania, obsługi i napraw, kampanii promocyjnej. Centralnym ogniwem projektowania jest jednak wyrób, którego jakość powinna odpowiadać prognozowanym i postulowanym uwarunkowaniom wszystkich faz cyklu jego istnienia. Na proces projektowania wyrobu składają się badania i studia, opracowanie szczegółowych założeń, opracowanie projektu wstępnego, opracowanie technicznego projektu konstrukcji, doskonalenie konstrukcji na podstawie badań prototypu, opracowanie projektu roboczego, doskonalenie projektu roboczego na podstawie danych z produkcji, dystrybucji, eksploatacji lub likwidacji.

Drugim istotnym obiektem projektowania jest technologia produkcji wyrobu. Typowy proces projektowania technologii polega na opracowaniu koncepcji procesów technologicznych i pomocniczych, określeniu jakości półfabrykatów wyjściowych, wyznaczeniu sieci operacji technologicznych, zaprojektowaniu konstrukcji i technologii oprzyrządowania specjalnego, doskonalenie technologii na podstawie badań prototypu, serii próbnej lub bieżącej produkcji. Każda operacja technologiczna jest identyfikowana poprzez dobór stanowiska produkcyjnego i jego wyposażenia, określenie struktury operacji (zabiegi, przejścia, czynności), dobór oprzyrządowania i narzędzi znormalizowanych lub specjalnych, wyznaczenie parametrów technologicznych, określenie norm i normatywów (czasowych, materiałowych narzędziowych). Działania badawczo-projektowe etapu przygotowania produkcji służą ukierunkowaniu i realizacji etapu przygotowania organizacyjno-materiałowego, w którym przedsiębiorstwo produkcyjne jest doprowadzane do stanu gotowości rozpoczęcia przemysłowej produkcji wyrobu. W końcowej części tej fazy wyrobów występuje w postaci dopracowanego modelu informacyjnego (dokumentacja projektowa), a jego jakością obejmuje pięć jakości cząstkowych, odpowiadających pięciu fazom cyklu. Całość efektów pracy fazy przygotowania produkcji zmierza do zapewnienia optymalnej jakości wyrobu w kolejnych fazach cyklu oraz warunkuje ich przebieg. Jakością fazy przygotowania produkcji zarządza przedsiębiorstwo produkcyjne, mimo, że często wśród wykonawców tej fazy jest wiele podmiotów zewnętrznych (biura projektowe, jednostki badawcze, realizatorzy inwestycji) (por. [4]).

Natomiast zgodnie z ideą Taguchiego projektowanie wyrobu lub procesu powinno przebiegać w trzech etapach. Pierwszy to projektowanie systemu, który odpowiada klasycznemu projektowaniu, opartemu na normach, doświadczeniu i wiedzy projektanta oraz na specyfikacji wyrobu opracowanej na podstawie wymagań klientów. W tym etapie opracowuje się koncepcje wyrobu, dobiera materiały, konstruuje lub dobiera się odpowiednie podzespoły. W odniesieniu do procesów opracowuje się kolejność operacji, dobiera się urządzenia i maszyny, przygotowuje się wyposażenie i oprzyrządowanie. Na podstawie normatywów lub doświadczenia określa się parametry, w tym wymagania techniczne dla poszczególnych operacji. Jeśli wyrób jest prosty, maszyny i urządzenia charakteryzują się wysoką zdolnością jakościową, projektanci mają duże, to po zakończeniu pierwszego etapu projektowania uzyskuje się wyrób lub proces, spełniający podstawowe wymagania jakościowe. Zdarza się również, że wyrób jest zawodny, mało odporny na warunki w jakich jest eksploatowany. Podobnie proces, np. w wyniku dużej wrażliwości na niejednorodność właściwości materiałów, charakteryzuje się dużą zmiennością. Wówczas Taguchi proponuje przejście do drugiego etapu projektowania, nazwanego projektowaniem parametrów. Projektowanie na tym etapie jest realizowane z wykorzystaniem metod eksperymentalnych. Jeśli optymalizacja parametrów nie daje oczekiwanych rezultatów, a wyrób lub proces nie spełniają wymagań jakościowych, konieczne jest przejście do trzeciego etapu projektowania, zwanego projektowaniem tolerancji. W rzeczywistość zadania tego etapu nie tylko dotyczą doboru optymalnych tolerancji konstrukcyjnych i tolerancyjnych, ale również doboru materiałów o lepszych właściwościach lub maszyn o wyższej zdolności jakościowej (por.[10]).

Projektowanie procesów technologicznych ma na celu zapewnienie warunków gwarantujących uzyskanie jakości wykonania, zgodnej z jakością projektową wyrobu, przy zachowaniu terminów dostaw oraz opłacalności produkcji. Projektowanie operacji procesu technologicznego, dobór urządzeń, narzędzi i oprzyrządowania bazuje przede wszystkim na wiedzy inżynierskiej o dostępnych technikach wytwarzania, projekcie wyrobu, wiedzy inżynierskiej z zakresu projektowania procesów technologicznych, normach technicznych,

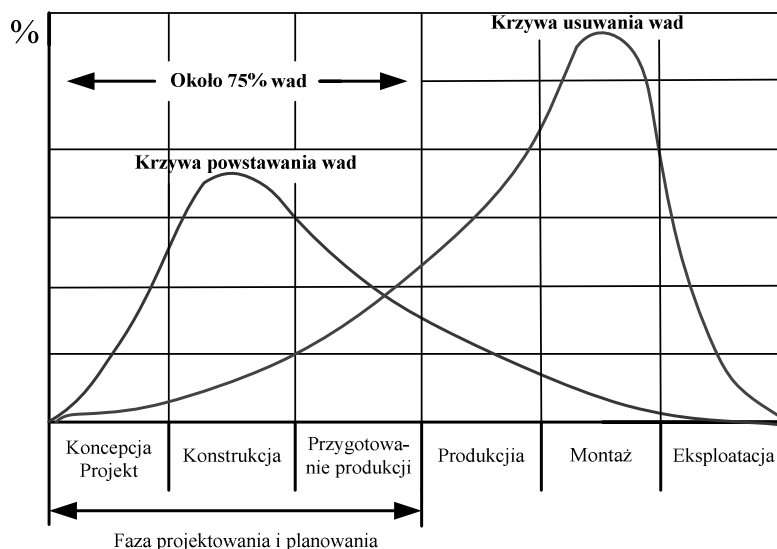
doświadczeniu. Istotę zarządzania jakością wyrażają procesy informacyjno-decyzyjne: planowania, projektowania, zapewnienia, realizacji, kontroli i doskonalenia jakości obiektów zarządzania w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

3. Koszty jakości na etapie projektowania konstrukcji i technologii wyrobu

Koszty jakości mogą pochłonąć 20-30% przychodów lub obrotów przedsiębiorstwa. Redukcja tych kosztów stanowi bardzo aktualny i istotny aspekt w procesie zarządzania. Praktyka pokazuje, że duża część wad wykrytych podczas produkcji, instalowania, a nawet podczas eksploatacji ma źródło właśnie w procesie projektowania. Jest to również istotne ze względu na fakt, że usuwanie wad jest tym droższe im dalej w cyklu istnienia wyrobu zostaną one wykryte. Szacuje się, że wzrost ten ma charakter wykładniczy. Wynika stąd, że projektowanie wyrobu oraz planowanie i projektowanie procesu produkcji powinny być ze sobą ściśle skoordynowane. Postulatowi temu wychodzi naprzeciw projektowanie współbieżne, w którym poszczególne etapy: konstruowania, wykonania prototypu, badania prototypu, nanoszenia poprawek i korekty, a następnie zaprojektowanie i wykonanie oprzyrządowania konstrukcyjnego, są wykonywane równolegle. Towarzyszy temu ciągle przekazywanie informacji o uzyskanych wynikach. Projektowanie współbieżne umożliwia podnoszenie jakości wyrobu i dostarczanie go na rynek po niższych kosztach i w krótszym czasie. Bardzo ważne jest wykorzystanie techniki komputerowej CAD i CAM. Usprawnia ona prace projektowe, a jednocześnie poprzez podłączenie stacji roboczych do sieci-pozwala śledzić równolegle przebieg wszystkich prac cząstkowych. Umożliwia to maksymalne wykorzystanie możliwości optymalizacji konstrukcji oraz procesów, ponieważ wyniki uzyskiwane na każdym etapie konstruowania wyrobu, są weryfikowane przez projektanta procesu technologicznego. Wszelkie niezgodności (zaprojektowanie tolerancji, które w danych warunkach nie może być uzyskana w ekonomicznie uzasadniony sposób) mogą być szybko eliminowane. Automatyzacja procesów prawie całkowicie eliminuje możliwość wystąpienia wad w produktach (por.[9]).

Koszty jakości dają możliwość ilościowej oceny efektywności działania systemów, prowadzącą do zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości w przedsiębiorstwie. Najważniejsze spośród wszystkich rodzajów kosztów są te, związane z działaniami pro-jakościowymi. W przedsiębiorstwach, w których proces doskonalenia jakości ma charakter ciągły, stanowią one przeważającą część ogólnych kosztów jakości. Przywiązanie większej uwagi do jakości produktu już na wstępnym etapie projektowania i unowocześnienia metod produkcji, daje efekt w postaci redukcji kosztów oceny i wadliwości produktów (rys. 2) [7].

Wynika z niego, że w miarę zwiększania kosztów zgodności jakości, ilość występujących braków zmniejsza się. Zwiększenie wydatków na koszty działań zapobiegawczych oraz koszty oceny, wpływają na redukcję kosztów wadliwości, a w dłuższym okresie - na obniżenie łącznych kosztów wytwarzania.



Rys.2. Krzywa powstawania i usuwania wad wyrobu w cyklu istnienia wyrobu [4]

4. Badanie jakościowe w Zespole Odlewni "RAFAMET" Sp. z o.o.

Rozwój technologii w drugiej połowie XX wieku zmienił diametralnie funkcjonowanie przedsiębiorstw. Przyniósł ze sobą wiele innowacyjnych rozwiązań, podnoszących sprawność, zwiększających rentowność, czy odciążając pracowników. Stało się tak również w odlewnictwie. Dało to wiele korzyści, jak również stworzyło nowe standardy. Firmy chcące dominować na rynku, czy choćby pozostać na nim, nie mogą być obojętne i muszą podążać za rozwojem. Nie jest to proste, bo technologia idzie do przodu w szaleńczym tempie. To, co było dobre dziś, jutro może okazać się bezużyteczne. Nadążenie wymaga coraz większych nakładów ludzkich i pieniężnych, a czasem i to nie wystarcza.

W Zespole Odlewni Rafamet sytuacja podczas wielu lat funkcjonowania nie ulega znacznym zmianom i poprawie. Firma ma stałych odbiorców, dla których wykonuje określone odlewy i usługi. Nowe zlecenia produkcyjne wymagają wielu kosztownych prób. Pojawiają się liczne wady. Wady są nie tylko uciążliwe ze względu na poniesione koszty ale również są niebezpieczne gdyż wymagają czasochłonnych poprawek lub wykonania kolejnego odlewu. Odlewnia jak każde inne przedsiębiorstwo produkcyjne musi wywiązywać się z terminów realizacji zlecenia. Dlatego występowanie jakichkolwiek wad powinno być eliminowane.

Zaproponowano, więc następujące rozwiązania: zastosowanie systemów symulacji odlewania i opracowanie innowacyjnej strategii jakościowej, która zdecydowanie pozytywnie wpłynie na działanie i rozwój przedsiębiorstwa. Sprawią również, że zmniejszą się koszty związane powstawaniem braków. Procesy sprzedaży wyrobów i zakupu surowców przebiegną sprawnie dzięki zastosowaniu nowych rozwiązań. Nie bez znaczenia będzie poprawa kontaktów z klientami przedsiębiorstwa. Zainteresowanie nimi, ich

potrzebami i oczekiwaniami sprawi, że w przyszłości przedsiębiorstwo nie tylko utrzyma się na rynku, ale stanie się bardziej konkurencyjne.

W roku 2008 w przedsiębiorstwie, niezależnie od poziomu osiągniętych w tym zakresie wyników należy stwierdzić, że wielkość strat na brakach nieznacznie wzrosła w stosunku do analogicznych wyników roku ubiegłego. Szczegółowa analiza zagadnienia wskazuje na to, że wyniki mogły być lepsze, gdyby uniknąć całej serii problemów związanych z pęknięciami odlewów do KDC 630/700 wykonywanych dla FO RAFAMET SA. Obiektywnie trzeba stwierdzić, iż pęknięcia występowały w wyniku, źle zaprojektowanej formy odlewniczej i niewłaściwie sporządzonej masy formierskiej. Braki odlewnicze ogółem w roku 2008 wynoszą 306 270,5 kg, co stanowi 5,84% w stosunku do produkcji odebranej. W roku 2008 straty na brakach ogółem osiągnęły kwotę 663 985,82 zł. co stanowi udział strat na brakach 2,04% w stosunku do produkcji sprzedanej. W odniesieniu do roku 2007 wskaźnik ten wzrósł o 1,70 %. Głównymi czynnikami mającymi wpływ na koszty jakości i ilość produkcji braków w roku 2008 są straty wynikające z występowania braków w dużych gabarytowo odlewach do KDC 630/700 co stanowiło wagowo 169 810,5 kg w roku.

Jednak zaobserwowano, iż można wprowadzić w przedsiębiorstwie rozwiązania, które korzystnie wpłyną na rozwój i funkcjonowanie oraz przede wszystkim na zmniejszenie ilości występujących braków. Najważniejsze jest wprowadzenie zmian w etapie przygotowania wyrobu do produkcji. W przedsiębiorstwie do tej pory nie korzysta się z programów, które umożliwiają symulację procesu odlewania. Symulacja pozwoli przewidzieć przebieg procesu odlewania co przełoży się na zmniejszenie ilości występujących błędów. W przedsiębiorstwie wówczas będzie można zrezygnować z wykonywania wyrobu próbnego, co wiązać będzie się z ograniczeniem kosztów. Jednakże zakup programu powinien poprzedzony być dogłębną analizą finansową. Koszt takiego programu nie powinien przekraczać kosztów związanych z wykonywaniem prób w dłuższym okresie czasu.

Program powinien być prosty, łatwy w użyciu ale przede wszystkim dopasowany do potrzeb przedsiębiorstwa. Efektywność systemów CAD zależy w istotny sposób od potrzeb przedsiębiorstwa i stopnia wdrożenia w technik CAX oraz stopnia ich integracji w otwarty, kompleksowy i zorientowany na proces system wytwórczy. Wybór systemu powinien, więc być indywidualnie dopasowany do kultury technicznej przedsiębiorstwa, ale również do potencjału kadry inżynierskiej. Efektywność zastosowania systemów CAD polega głównie na możliwości szybkiego wariantowania rozwiązań w projektowaniu. Ponadto w praktyce liczy się również szybkie generowanie zmian konstrukcyjnych oraz półautomatyczne generowanie dokumentacji technologicznej. Współczesne systemy CAM coraz częściej wspomagane są systemami ekspertowymi, z reprezentacją wiedzy technologicznej z zakresu wytwarzania. Ułatwiają one i znacznie przyspieszają ich tworzenie, podnosząc przy tym poziom automatyzacji komputerowego wspomaganie [3].

Programy CAM umożliwiają projektowanie i symulowanie przebiegu procesu technologicznego na komputerze. Można w ten sposób sprawdzić kolizyjność narzędzi z obrabianym materiałem oraz obrabiarką. Takie testowanie pozwala na uniknięcie uszkodzeń obrabiarki lub elementów. Dopiero pozytywne wyniki pozwala na uruchomienie produkcji. Dzięki CAM automatycznie rozwiązywane są takie problemy jak dobór parametrów skrawania, ustalenie kosztów operacji, doboru odpowiednich narzędzi. Dodatkowo systemy CAM dzięki możliwości szybkich zmian projektowych procesów technologicznych, pozwalają na utrzymanie elastyczności produkcji. A dzięki przeniesieniu programowania procesów technologicznych z obrabiarek CNC na komputer nastąpiło

przyspieszenie przezbrajania linii produkcyjnych, wyposażonych w obrabiarki numeryczne [2].

Największą zaletą systemów CAD/CAM jest fakt, że od początku system zwraca uwagę na wszystkie detale, alarmując projektanta natychmiast, jeśli coś jest niewykonalne w danym materiale. Gdy elementy mają zostać wykonane z drogiego materiału szczególnie ważne jest, aby projekt nie miał błędów. Stosując, więc systemy CAx można zaprojektować konstrukcję, następnie kolejne procesy technologiczne, a po sprawdzeniu na komputerze zacząć produkcję.

5. Podsumownie

Programy CAD/CAM stały się podstawowym narzędziem większości firm produkcyjnych. W przemyśle obrabiarek, tokarek są one wręcz niezbędne. Zaskoczeniem jest, więc fakt, że nie stało się tak w przedsiębiorstwie „Rafamet”. Przedsiębiorstwo ma doskonałą bazę informatyczną, którą wykorzystuje w zaledwie kilku procentach. Staroświeckie metody znacznie opóźniają wykonywaną pracę, a w szczególności ograniczają przyjmowanie nowych zleceń. Firma ma stałych odbiorców, dla których wykonuje określone maszyny lub części maszyn. Nowe zlecenia produkcyjne często wykraczają poza wiedzę i umiejętności pracowników. Przez co firma często korzysta z usług biur projektowych, ponosząc przy tym olbrzymie koszty. Zakupione programy często w firmie są bezużyteczne, a koszt zakupu licencji nieuzasadniony. Zmiany, które w przedsiębiorstwie muszą nastąpić są, więc nieuniknione. Szkolenia zatrudnionych już pracowników i przyjęcie nowych inżynierów jest koniecznością. Niezrozumiały jest też brak połączenia między biurem projektowych a biurem głównego technologa. Zatrudnieni w przedsiębiorstwie inżynierowie planują proces produkcyjny na podstawie rysunków wykonawczych wykonywanych techniką tradycyjną. Nie wykorzystując przy tym sprzężeń pomiędzy programami CAD i CAM. Inżynierowie wyspecjalizowali się w ściśle określonych dziedzinach. Części maszyn lub maszyny pochodzące z oferty firmy, wykonywane są więc szybko i sprawnie. Podsumowując działanie przedsiębiorstwa, a dokładnie sferę produkcyjną, należy stwierdzić, że dopóki firma ma stałe, ujednolicone zlecenia panujący poziom komputeryzacji jest wystarczający. Należy jednak pamiętać, że przedsiębiorstwo, które nie jest otwarte na innowacyjne rozwiązania skazane jest na bankructwo.

Wykorzystanie systemów CAx nie tylko pozwala na szybsze generowanie dokumentacji, nowych rozwiązań ale również na łatwiejszą korektę błędów a co się z tym wiąże oszczędność kosztów. Bardzo ważne i popularne są narzędzia symulacji i parametryzacji. W praktyce daje to możliwość stworzenia wielu różnych wariantów części, bez konieczności tworzenia jej na nowo, pozwala również na testowanie powstałych wariantów we wszystkich modułach programu. Ponadto istnieją możliwości przeprowadzania testów już na etapie modeli komputerowych, można sprawdzić w jaki sposób grubość materiału wpłynie na wytrzymałość konstrukcji, czy też, jakie będą odgięcia po zastosowaniu dwóch różnych materiałów przy tej samej grubości. Niegdyś konieczne było wykonanie prototypów następnie ich testy, dziś dzięki wprowadzeniu takich właśnie innowacyjnych rozwiązań produkty wprowadzane są na rynek nieraz o lata szybciej.

Systemy CAx są doskonałym narzędziem ułatwiającym i przyspieszającym pracę inżynierów. Ale ich efektywność zależy od ich stopnia wykorzystania, rodzaju działalności, wiedzy inżynierów. Mogą stać się podstawą do innowacji, zmniejszenia kosztów,

zwiększenia produkcji, poprawy jakości. Jednak gdy nie są w firmie wykorzystywane są nieuzasadnionymi wydatkami.

Literatura

1. Bis J., Markiewicz R.: Komputerowe wspomaganie projektowania CAD – podstawy. Wydawnictwo REA, Warszawa, 2008.
2. Branowski B, Józefowicz W., Rogala M.: Interakcyjne modelowanie zadań obliczeniowo- optymalizacyjnych, Materiały IX Konferencji „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo. Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Politechnika Warszawska, Warszawa 1993.
3. Chlebus E.: Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
4. Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań, 2005.
5. Kindlarski E.: Kontrola i sterowanie jakością. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1991.
6. Knosala R. i Zespół: Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
7. Kolman R.: Inżynieria Jakości. PWE, Warszawa. 1992.
8. Plichta J., Plichta S.: Techniki komputerowe w inżynierii produkcji. Politechnika Koszalińska, Koszalin, 2006.
9. Szczepańska K.: Koszty jakości dla inżynierów. Wydawnictwo PLACET, Warszawa, 2009.
10. Woropay M., Muślewski Ł., Jakość w ujęciu systemowym. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji PIB, Bydgoszcz-Radom, 2005.
11. Zymonik Z.: Koszty jakości w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.

Mgr inż. Dominika JAGODA
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów
Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75
tel: 77 423 40 39
email: d.jagoda@po.opole.pl