

Andrzej Świątoniowski*, Ryszard Gregorczyk*, Stanisław Rabiasz**

Systemy jakości w produkcji lekkich samochodów dostawczych

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich lat konkurencja na światowym rynku motoryzacyjnym przybrała nienotowane dotąd rozmiary, a sprostanie jej wymogom stało się dla działających na nim firm prawdziwym wyzwaniem. Zmusza to producentów i dostawców do nieustannego doskonalenia własnych systemów produkcyjnych. Celem jest coraz lepsze spełnianie szybko zmieniających się wymagań odbiorców, zadośćuczynienie regulacjom prawnym np. w zakresie emisji CO₂, a wreszcie, choć nie najmniej istotne, ograniczenie kosztów własnych. Za pojęciem całościowego systemu produkcyjnego stoją praktyczne zasady i metody, które kształtują zakładowe instrukcje budowy pojazdów. Systemy produkcyjne poszczególnych wytwórców są wynikiem kształtujących się na przestrzeni wielu lat działań i doświadczeń uzyskiwanych w zróżnicowanych często warunkach. Są one traktowane jako tajemnica firmowa i recepta patentowa w dążeniu do ostatecznego sukcesu. Stąd też oczywiście wydaje się ich znaczne zróżnicowanie. Bardziej szczegółowa analiza pokazuje jednak, iż wszystkie systemy produkcyjne są silnie zorientowane z japońskim systemem produkcyjnym Toyota Production System TPS opracowanym na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego stulecia przez Taiichi Ohno i Eiji Toyoda

Istotą systemu TPS jest – przy zachowaniu zbioru zasad ogólnych – konieczność ich indywidualnego wdrażania w każdym z podmiotowych zakładów. Ten wymóg kreatywności wsparty został wszakże szybko przez różne metody [1, 2, 3], które jak: Kanban (produkcja według potrzeb), Kazein (stałe polepszenie), Management by View (takie kształtowanie procesów, by błąd mógł zostać rozpoznany w pierwszym rzucie), Poka Yoke (absolutna eliminacja pewnych przebiegów błędów), Qualitätsringel (ulepszenia proponowane przez pracowników), Judoka (zatrzymanie procesu natychmiast po rozpoznaniu błędu), znalazły dziś powszechne prawo obywatelstwa nieomal w każdej dziedzinie wytwarzania.

* Katedra Systemów Wytwarzania, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

** PWSZ Krosno

W ten sposób systemy produkcyjne poszczególnych producentów stały się w istocie standaryzowanymi opisami metod, które dopasowywane według zindywidualizowanych potrzeb są zestawiane na wzór swoistej „skrzynki narzędziowej”. Implementacja tego systemu legła u podstaw znaczącego postępu w wytwarzaniu samochodów osobowych, a termin „szczypta produkcja” stał się odtąd hasłem przewodnim ich producentów. Szczegółowe badania nad skutkami wprowadzania systemu TPS, w tym obszerny raport „The Machine that Changed the World” opracowany przez Massachusetts Institute of Technology nie pozostawiają dziś bowiem żadnej wątpliwości co do pozytywnych skutków, jakie system ten wywiera na wzrost efektywności i ograniczenie kosztów.

Tak osiągnięte rezultaty nie mogą wszakże zostać w bezpośredni sposób przeniesione także do obszaru produkcji samochodów dostawczych w tym zwłaszcza ciężarowych o większej ładowności.

Wynika to z faktu, iż koncepcje produkcyjne nie będące przecież w swej istocie abstrakcyjnym wytworem lecz usystematyzowanym zbiorem metod i narzędzi, muszą w zasadniczym stopniu uwzględniać specyficzne cechy produktu.

Konieczne staje się zatem przedstawienie zasadniczych różnic w wytwarzaniu obu ww. grup pojazdów, jako skutku stawianych im wymagań funkcjonalnych, reżimu przyszłej pracy, a wreszcie i rynku. Już na wstępie widoczne są tu różnice tak w odniesieniu do samego rodzaju przewożonych ładunków; człowiek – rzecz, lecz także i dużego ich zróżnicowania w tym drugim przypadku. Ta różnorodność prowadzi do znaczącej specjalizacji w rozwiązaniach konstrukcyjnych i wyposażeniu samochodów ciężarowych. W przypadku lekkich pojazdów dostawczych dotyczy to obok ładowności i rodzaju napędu także tak istotnych cech jak długość skrzyni roboczej, jej zabudowa czy wreszcie liczba miejsc w kabinie kierowcy. Przeciętnie – w przypadku samochodów osobowych można wyróżnić od około 8 do 20 tysięcy komponentów konstrukcji, podczas gdy dla samochodów ciężarowych – odpowiednio od 20 do 60 tysięcy

Duże zróżnicowane wariantów montażu tych pojazdów nie pozwala na zastosowanie sztywnej automatyzacji, jak ma to miejsce przy produkcji samochodów osobowych.

W konsekwencji pojazdy dwu-, trzy-, czy czteroosiowe muszą być montowane przez wyspecjalizowane zespoły robocze w jednakowym takcie czasu pracy. Tym samym standaryzowane procesy produkcyjne montażu – wzorowane na systemie TPS jako rozwiązaniu optymalnym – nie są tu możliwe do bezpośredniego wdrożenia. Relatywnie nieznaczny stopień automatyzacji i bardzo elastyczne procesy produkcyjne ograniczają też wprowadzanie zautomatyzowanych procesów kontroli jakości jak to ma miejsce przy produkcji samochodów osobowych.

Odpowiednio punkt ciężkości systemu zapewnienia jakości przy montażu samochodów ciężarowych przesuwają się niżej ku zagadnieniom czysto technicznym. Decydującym kryterium staje się tu wielokrotna optymalizacja układu człowiek – proces montażu poprzez środki mające na celu unikanie i usuwanie błędów.

2. Rola montażu w procesie produkcji

Na powstanie gotowego wyrobu składają się zarówno technologiczne procesy wytwarzania poszczególnych elementów jego konstrukcji, jak i procesy montażu. Struktury tych procesów wykazują istotne różnice. Rodzi to konieczność stosowania odpowiadających tym właściwościom systemów zarządzania, w tym także zarządzania jakością.

Kontrola jakości komponentów sprowadza się w istocie do nadzorowania zgodności ich cech z przyjętymi w projekcie wymaganiami. Sprawdza się przedziały tolerancji wymiarów i kształtów oraz właściwości materiału, z którego zostały one wykonane.

Nadzór ten jest realizowany z reguły za pomocą automatycznych urządzeń pomiarowych bezpośrednio w fazie produkcji uzupełniony – w razie potrzeby – o szczegółową kontrolę gotowych produktów w specjalnych laboratoriach. Umożliwia to podejmowanie szybkich działań naprawczych.

Zadaniem montażu jest scalenie gotowych komponentów w funkcjonalną całość. Montaż obok procesu wytwarzania jest drugim co do ważności procesem wartości dodanej. Dyrektywa VDI 2860 przyjęta przez większość europejskich producentów pojazdów definiuje montaż jako całość wszystkich procesów, które służą zabudowie z geometrycznie określonych elementów.

W przeciwieństwie do procesu wytwarzania, w którym o jakości decydują cechy własne elementu, ocena jakości montażu dokonuje się w wyniku sprawdzenia poprawności funkcji pełnionej przez ten element w pewnej większej całości – zbiorze, jakim jest konstrukcja.

Problem ten nabiera właściwego wymiaru, jeśli uwzględnić, iż pojedyncze elementy i grupy montażowe pochodzące dziś często od różnorodnych wytwórców muszą zostać skompletowane w jeden pojazd.

Stąd punkt ciężkości w ocenie jakości montażu przesuwa się od kontroli parametrów funkcyjnych pojedynczego złącza do obejmującej swym zakresem całe zespoły pojazdu. One to bowiem decydują tak o przyszłej jego pracy, jak i bezpieczeństwie poruszania się po drogach publicznych. Jest to zadanie o tyle złożone, że w istocie wadliwe funkcjonowanie danego zespołu może mieć swe źródło w:

- złej jakości komponentów wykrycie tego faktu jest szczególnie utrudnione wobec wspomnianej wielości poddostawców, w produktach każdego z nich niespełnienie wymagań może powtarzać się w odniesieniu do innej cechy tego samego produktu (części);
- nieuniknionych błędów i odchyłek montażowych.

W najogólniejszym przypadku proces montażu samochodów dostawczych o ramowej konstrukcji nadwozia następuje w pięciu kolejnych etapach (rys. 1). Są nimi:

- 1) montaż podwozia – ramy pojazdu spełniającej podstawowe funkcje nośne i integrującej całą konstrukcję;

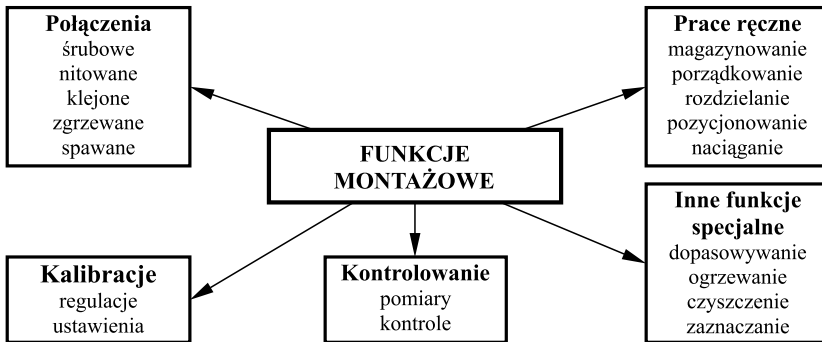
- 2) zabezpieczenie antykorozyjne podwozia;
- 3) montaż układu napędowego, układu kierowniczego i hamulcowego, osprzętu elektrycznego, hydraulicznego, kabiny kierowcy;
- 4) programowanie i regulacja układów elektronicznych, doprowadzenie mediów (płyn hamulcowy, płyn chłodniczy, itd.);
- 5) diagnostyka geometrii zawieszenia i parametrów silnika (hamownia).

Jednym z najistotniejszych zagadnień w procesie montażu pojazdów jest właściwe wykonanie połączeń poszczególnych elementów jego konstrukcji. Stąd też związane z tym czynności podlegają licznym regulacjom tak o charakterze ogólnym (normy), jak i zakładowym.

Wzorcowym przykładem takich uregulowań jest niemiecka norma DIN 8593, w której poszczególne operacje montażu gotowych elementów ujęte są w grupy procedur. (Warto zauważyć, iż tak powszechne odnoszenie się europejskich producentów pojazdów dostawczych do tejże normy odzwierciedla w pewnym stopniu dominującą rolę niemieckich wytwórców w tej gałęzi przemysłu.)

Wyróżnić tu należy zwłaszcza procedury grupy „Właczanie i wciskanie”. Obejmuje ona połączenia śrubowe, które należy uznać za podstawowy typ połączenia mechanicznego w produkcji samochodów dostawczych.

Kolejna grupa procedur połączeń odnosi się do połączeń nitowanych także powszechnie stosowanych w produkcji samochodów dostawczych, zwłaszcza w odniesieniu do elementów stanowiących ramę pojazdu.



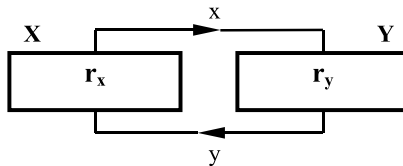
Rys. 1. Podział funkcji montażowych

3. Systemy jakości w procesie montażu

Działania na rzecz zapewnienia jakości można rozpatrywać jako pewien zmienny w czasie proces podlegający ogólnym zasadom regulacji. Pozwala to wykorzystać do jego stabilizacji klasyczny zamknięty obwód ze sprzężeniem zwrotnym pokazany na rysunku 2,

w którym mierzone sygnały na wyjściu z układu (końcowe stany procesu) są porównywane i oddziaływają na sygnały wejściowe (początkowe stany procesu)

Matematycznie jednoznacznym opisem bloku gałęzi zwrotnej jest transmitancja. Informacja w niej zawarta jest modyfikowana przez transmitancję bloku gałęzi zwrotnej, aczkolwiek – w szczególnym idealnym przypadku – może to nie mieć miejsca.



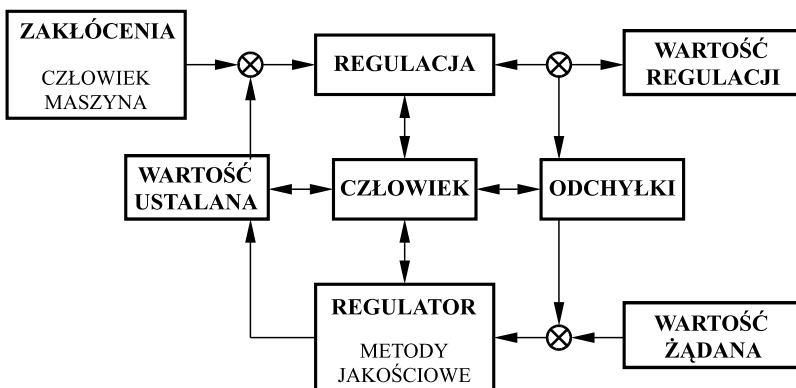
Rys. 2. Schemat sprzężenia zwrotnego w układzie regulacji (*feedback*)

Efektywne wykorzystanie takiej regulacji w odniesieniu do procesu montażu pojazdów dostawczych wymaga uwzględnienia niezmiernie istotnego faktu, iż w procesie tym obok maszyn i urządzeń uczestniczą też zespoły ludzkie.

Tym samym proces nie jest regulowany przez techniczne obwody regulacji, lecz poprzez socjotechniczne obwody regulacji, niezawierające – w odróżnieniu od tych pierwszych – matematycznego modelu kwantyfikacji i oceny skuteczności systemu.

Odpowiednio też o skuteczności obwodu regulacji, a w konsekwencji i stabilności procesu decyduje tu nie tyle poprawność modelu matematycznego, lecz realizacja przez pracowników pewnego zbioru reguł i metod postępowania mających na celu podniesienie efektywności ich pracy na drodze polepszenia jakości. Odbywa się to równoległe ze stałym powiększaniem bazy wiedzy i własnych doświadczeń.

Na rysunku 3 przedstawiono typowy obieg obwodu regulacji jakości występujący w procesach montażu pojazdów.



Rys. 3. Schemat obwodu regulacji

W praktyce obwód ten ulega rozszerzeniu wskutek istnienia różnorodnych wpływów wywieranych tak przez dostawców komponentów jak i samych odbiorców.

4. Jakość złączy śrubowych montowanych za pomocą wkrętarek

W procesie montażu zasadniczym rodzajem połączeń elementów wchodzących w skład konstrukcji pojazdu są połączenia śrubowe, znacznie rzadziej gwintowe. Użycie połączeń rozłącznych w zasadniczym stopniu ułatwia i skraca czas poszczególnych czynności. Dotyczy to także przewidywanej wymiany elementów zużywających się podczas eksploatacji bądź też uszkodzonych w wyniku zdarzających się kolizji.

Liczba tego typu połączeń w przeciętnej wielkości samochodzie dostawczym waha się około stu, a utrzymanie ich parametrów i jakości montażu ma zasadnicze znaczenie tak dla właściwej eksploatacji, jak i bezpieczeństwa ruchu. Dotyczy to szczególnie złączy łączących ramę nośną z zespołami napędu (silnik, sprzęgło, przekładnie, wały napędowe) z osiami. Nie mniej istotne są połączenia w układzie kierowniczym i hamulcowym, a także paliwowym i elektrycznym.

Stąd też konstrukcja i sposób montażu tych połączeń jest określona ścisłymi przepisami norm DIN ISO 9001:2000 i VDA 6.1.

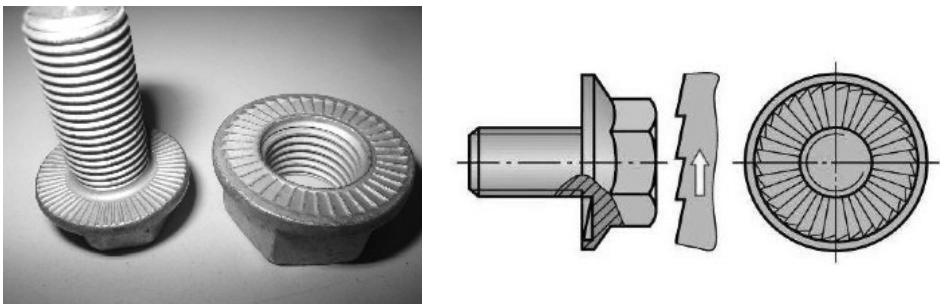
We współczesnych pojazdach stosowane są najczęściej śruby z gwintem metrycznym drobnozwojowym o wymiarze M14×1,5 i karbowanym łbem (rys. 4). Karbowana (od strony zamocowania) jest również powierzchnia nakrętki.

Śruby o tej konstrukcji stanowią około 75–90% ogółu stosowanych w budowie pojazdu.

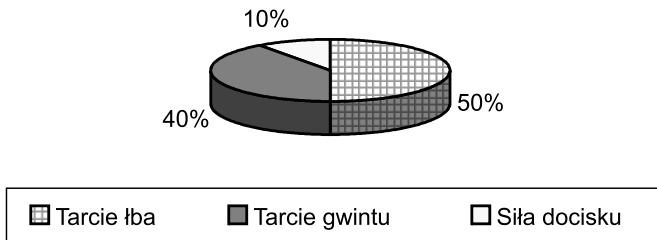
Podczas dokręcania złącza karby łba śruby wgniatają się w powierzchnię łączonych elementów, co łącznie z tarciami występującym na powierzchni zwojów gwintu zapobiega samoczynnemu luzowaniu (warunkiem jest przy tym, aby twardość powierzchni części łączonych była mniejsza od materiału śruby/nakrętki).

Rozkład sił tarcia w tak skonstruowanym połączeniu śrubowym został pokazany na rysunku 5.

Taki charakter złącza uzależnia parametry jego pracy od wartości momentu obrotowego użytego w fazie montażu (dokręcenia śruby i nakrętki).

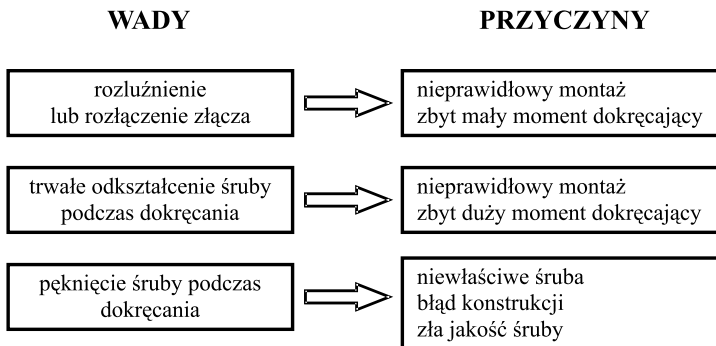


Rys. 4. Śruba z łbem karbowanym stosowana w montażu samochodów dostawczych



Rys. 5. Rozkład sił tarcia w złączu ze śrubą z łożem karbowanym

Na podstawie dotychczasowych badań prowadzonych w niemieckim przemyśle samochodowym można jednoznacznie orzec, iż występujące w montażu wady połączeń śrubowych są spowodowane głównie czynnikiem ludzkim (rys. 6).



Rys. 6. Błędy występujące w montażu połączeń śrubowych i ich podstawowe przyczyny

Przedstawione powyżej uwarunkowania wskazują, iż uzyskanie wymaganej jakości złącza wymaga:

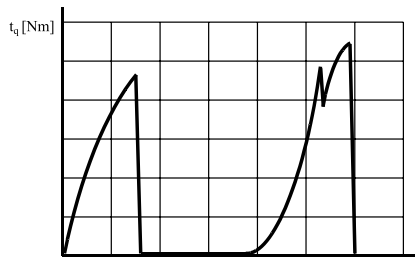
- ustalenia dla każdego z występujących typów złączy właściwego mu momentu dokręcenia śruby i nakrętki; wartości te są podawane na arkuszach dokumentacji technicznej, a także dodatkowo w wykazach umieszczonych bezpośrednio na stanowiskach montażowych;
- wyboru właściwych narzędzi, którymi moment ten będzie wywierany;
- określenia sposobu kontroli i dokumentowania jej wyników.

Podejmowane w tym zakresie decyzje działu konstrukcyjnego muszą być przy tym zgodne z wymaganiami właściwych norm. Dotyczy to także nadzorowania, kalibracji i konserwacji tak samych narzędzi, jak i przyrządów pomiarowych.

Prowadzi to do oparcia procesu montażu o wykorzystanie trzech grup ręcznych narzędzi o regulowanym – w zakresie od 0 do 2000 Nm – momencie obrotowym.

Są to:

- 1) Wkrętarki impulsowe o napędzie pneumatycznym. Zastąpiły one wycofane już wcześniej wkrętarki udarowe, o mniejszej dokładności nastawy momentu i pracujące z większym hałasem.
- 2) Wkrętarki elektryczne (EC-wkrętarki), w których moment obrotowy jest wytwarzany przez elektryczny komutator lub inaczej serwowmotor. Są to najdokładniejsze ze stosowanych obecnie narzędzi tego typu. Wyposaża się je też w prosty wskaźnik, którego kolor zielony lub czerwony informuje operatora o poprawności lub nie przebiegu operacji.
- 3) Klucze dynamometryczne służące głównie do dociągania zakręconego już wcześniej złącza oraz kontroli wartości momentu obrotowego zgodnie z schematem pokazanym na rysunku 7.



Rys. 7. Przebieg momentu w kluczu dynamometrycznym podczas operacji ostatecznego 'dociągania' złącza śrubowego

5. Kontrola jakości procesu montażu

Kontrola jakości połączeń śrubowych oparta jest o zapisy wartości momentu obrotowego, a w niektórych przypadkach także i kąta obrotu realizowanej operacji.

Niezmiernie istotnym zagadnieniem jest przy tym zapewnienie warunków poprawnej pracy ww. narzędzi. Służy temu:

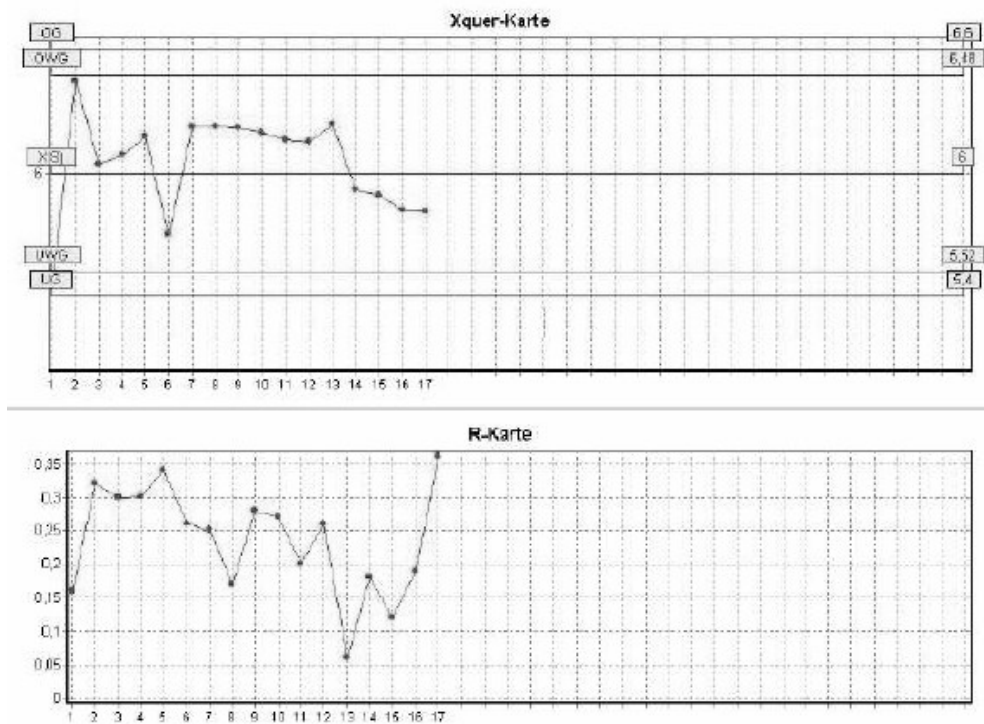
- 1) kalibracja kluczy dynamometrycznych – przeprowadzana przy 20, 60 i 100% zakresie pomiarowym.
- 2) ustawianie i nadzorowanie wkrętarek na specjalnym symulatorze połączeń śrubowych

Symulator ten stwarza wkrętarkom identyczne warunki obciążenia, jakie występują przy czynnościach wykonywanych przez operatorów linii produkcyjnej. Badanie obejmuje serię kilkunastu zaprogramowanych prób, na podstawie których dokonuje się regulacji momentu obrotowego stosownie do wymaganej jego wartości. Program prób jest ustalany odpowiednio do założeń przyjętych w fazie projektowania i weryfikowany stosownie do doświadczeń zbieranych podczas eksploatacji. W tym ostatnim przypadku podstawowym

kryterium wyboru jest wpływ jakości danego złącza na bezpieczeństwo ruchu. Przebieg próby jest rejestrowany i umieszczane w protokole.

Jakość budowanego pojazdu podlega ostatecznej ocenie podczas dokonywanego w sposób losowy audytu. Audyt taki jest realizowany tak w odniesieniu do poszczególnych części (zespołów) i procesów montażu, jaki i produktu końcowego, przy czym częstotliwość tego ostatniego jest ustalana z reguły na poziomie pół procenta produkcji. Związane z audytem czynności weryfikujące stan faktyczny z właściwą w tym zakresie dokumentacją i wymaganiami są prowadzone przez niezwiązane z montażem jednostki. Umożliwia to postawienie obiektywnej diagnozy, a w dalszych krokach postępowania sformułowanie wniosków dotyczących efektywności systemu zapewnienia jakości już nie tylko na poszczególnych etapach montażu, lecz także i odniesieniu do innych procesów produkcyjnych. Wyniki audytu są prezentowany podczas okresowych spotkań, z udziałem kadry kierowniczej odpowiedzialnej za produkcję/montaż (co najmniej na poziomie kierownika działu).

W spotkaniu powinni uczestniczyć również, jeśli to zasadne, przedstawiciele innych działów (np. zaopatrzenia, gospodarki materiałowej, logistyki, itd.), tak by zapewnić kompleksowy charakter podejmowanych tam decyzji podjąć działania (jeśli to konieczne – środki natychmiastowe), a także określić zakresy odpowiedzialności i terminy realizacji działań.



Rys. 8. Zarejestrowany przebieg kalibracji momentu obrotowego wkrętarci podczas jej prób na symulatorze

Literatura

- [1] Thompson J.R., Koronacki. J., *Techniki zarządzania jakością od Shewharta do metody Six Sigma*. Wyd. Alfa, Warszawa 2005.
- [2] Geiger W., Kotte W., *Handbuch Qualität*. 4.Auflage, Wiesbaden 2005.
- [3] Taiichi O., *Das Toyota Produktionssystem*. Campusverlag Frankfurt 1993.
- [4] DIN EN ISO 9001:2000.
- [5] VDA 6.1.