

Zrobotyzowany ciąg technologiczny do montażu i testowania amortyzatorów oraz sprężyn gazowych

Robert Tomaszewicz

ELPLC S.A., ul. Rozwojowa 28, 33-100 Tarnów

Streszczenie: Artykuł opisuje efekty prac nad projektem nr POIR.01.02.00-00-0056/18-00. Celem projektu było opracowanie innowacji produktowej w postaci nowatorskiego ciągu technologicznego do montażu i testowania amortyzatorów oraz sprężyn gazowych, do zastosowania u międzynarodowych producentów komponentów w obszarze Tier 1 w branży automotive. Realizacja projektu zakładała przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych w zakresie opracowania nowatorskiego, zautomatyzowanego ciągu technologicznego „all-in-one” do montażu i testowania amortyzatorów oraz sprężyn gazowych. Nie bez znaczenia dla przebiegu projektu było dotychczasowe doświadczenie zespołu w realizacji linii do montażu wymienionych komponentów oraz bezpośrednia znajomość potrzeb klientów. To wszystko postanowiono uwzględnić w pracach koncepcyjnych. Cechą o szczególnym znaczeniu jest uniwersalność urządzeń, które umożliwiają jednoczesne napełnianie gazem oraz zamykanie amortyzatorów i sprężyn gazowych, zintegrowane z testerem charakterystyki siły tłumienia. Cecha ta, wynikająca z automatyzacji i robotyzacji procesu w połączeniu z modułowością i systemową kompatybilnością urządzeń, pozwala na dowolne komponowanie ciągu technologicznego, użytkowanie jego potrzebnej aktualnie części lub jego przyszłą rozbudowę. Poszczególne moduły mogą działać autonomicznie być obsługiwane przez człowieka, ale mogą być też częścią większej linii technologicznej i pracować w środowisku zautomatyzowanej intralogistyki.

Słowa kluczowe: sprężyny gazowe, amortyzatory, robotyzacja, roboty autonomiczne, linie montażowe

1. Wprowadzenie

Trendy i koncepcje rozwojowe w branży automotive ulegają ciągłym zmianom. Jednym z obecnych jest rozwój wykorzystujący zintegrowane systemy – standaryzowane pod względem jakości i bezpieczeństwa wytwarzanych komponentów, uwarunkowany powszechnym zastosowaniem automatyki i robotyzacji w procesach produkcyjnych. Zmianom ulegają zależności między przedsiębiorstwami z różnych poziomów łańcucha dostaw w branży automotive. Powiązania te sprawiają, że wszelkie zmiany w trendach wpływają na dynamikę oraz różnorodność otrzymywanych przez podmioty z obszaru Tier 1 oraz Tier 2 zleceń, wpływających na proces produkcji, stosowane technologie oraz surowce produkcyjne.

Autor korespondujący:

Robert Tomaszewicz, robert.tomaszewicz@elplc.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 19.08.2024 r., przyjęty do druku 23.04.2025 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

Przemysł motoryzacyjny od lat znajduje się w czołówce branż najchętniej inwestujących w roboty przemysłowe. Oplacalność robotyzacji dostrzegają także polscy kontrahenci. Powodem jest nacisk na utrzymanie standardów jakości w branży. Od prawidłowego wykonania elementów zależy m.in. bezpieczeństwo pasażerów. Wydajność również musi pozostać na najwyższym poziomie, co powoduje, że człowiek zaczyna pełnić funkcje kontrolne. Produkcję zaś oddaje się precyzyjnym i zdolnym do jednakowych powtórzeń maszynom.

Zmieniające się potrzeby branży w zakresie jakości i wytrzymałości, a także rosnące zaawansowanie techniczne oferowanych produktów sprawiają, że od producentów oczekuje się wysokiej jakości oraz elastyczności produkcji. Producenci komponentów, aby dopasować się do zmiennych warunków rynku poszukują rozwiązań efektywnych i kompleksowych, by właściwie odpowiedzieć na zapotrzebowanie sektora automotive.

Segment produkcji amortyzatorów odnotowuje stały wzrost, który wg różnych szacunków w latach 2023–2033 będzie przekraczał 5 % rocznie [1]. Nie jest to zaskakujące wobec faktu notowania rosnącego popytu na samochody osobowe i lekkie pojazdy użytkowe w gospodarkach wschodzących oraz wzrostowego trendu, jeśli chodzi o pojazdy elektryczne i hybrydowe. W przypadku produkcji sprężyn gazowych, to wg raportu Global Nitrogen Gas Springs Market, rynek osiągnie globalną wartość

10,5 mld USD w 2026 r. przy rocznym wzroście na poziomie blisko 6 % [2]. Sektor branży automotive jest największym odbiorcą sprężyn gazowych, do pozostałych odbiorców zaliczyć należy m.in. sektor obróbki plastycznej, branżę elektroniczną, meblarską lub producentów urządzeń medycznych.

Dzięki zdobytemu przez Spółkę wieloletniemu doświadczeniu i stałej współpracy z producentami elementów w wymienionych segmentach, udało się zdefiniować szereg potrzeb rynkowych. Stały się one podwalinami do podjęcia prac nad projektem.

1.1. Zwiększenie efektywności i elastyczności procesu montażu i testowania amortyzatorów oraz sprężyn gazowych

Ze względu na wzrost zapotrzebowania na amortyzatory i sprężyny gazowe oraz potrzebę poprawy efektywności procesów technologicznych, od producentów działających w ramach łańcucha dostaw podzespołów na poziomie OEM (ang. *Original Equipment Manufacturer*) – producenci pojazdów oraz Tier 1 – dostawcy/producenci dla poziomu OEM, wymaga się ciągłego doskonalenia oferowanych produktów, pozwalających na sprostanie rosnącym standardom oraz wymaganiom rynku. Firmy OEM oczekują od Tier 1 dostępu, w ściśle wyznaczonym terminie, do zamówionych wolumenów, o wystandaryzowanej jakości, tak aby móc prowadzić własne procesy produkcyjne w sposób ciągły i niezakłócony. Dla OEM ważna jest także elastyczność produkcji oferowana w obszarze Tier 1 – w praktyce oznaczająca zdolność do zwiększania mocy produkcyjnych w nagłych przypadkach. To z kolei ma bezpośredni wpływ na przebieg procesów produkcji – muszą się charakteryzować wysoką efektywnością i elastycznością. Tym samym Tier 1 zobowiązane są stale ulepszać wykorzystywane przez siebie w procesie produkcyjnym rozwiązania technologiczne. Dostawcy amortyzatorów oraz sprężyn gazowych oczekują od dostawców technologii produkcyjnych (Tier 2) zaawansowania technologicznego rozwiązań w stopniu pozwalającym zaspokajać potrzeby związane z jakością produktów, które zostały zdefiniowane na poziomie OEM.

Uniwersalność linii technologicznej

Na efektywność i elastyczność montażu oraz testowania amortyzatorów i sprężyn gazowych składa się kilka aspektów. Jednym z nich jest posiadanie rozwiązań uniwersalnych, mających zastosowanie do równoległego, różnego rodzaju czynności produkcyjnych. Obecnie stosowane rozwiązania technologiczne w postaci pojedynczych maszyn najczęściej ograniczone są do wąskiego zakresu procesów, np. wyłącznie do procesu nabijania azotem sprężyn gazowych. Powoduje to występowanie w działalności Tier 1 istotnego ryzyka biznesowego związanego z ponoszeniem dodatkowych wydatków na maszyny i urządzenia (odpowiedzialnych tylko za jeden etap procesu produkcyjnego), które pod wpływem zmian technologii mogą stać się bezużyteczne. W kontekście uniwersalności rozwiązań technologicznych istotne dla podmiotów z poziomu Tier 1 stają się także aspekty związane z przestrzenią użytkową zajmowaną przez maszyny produkcyjne oraz ich energochłonnością.

Modułowość i kompatybilność rozwiązań produkcyjnych

Producenci komponentów samochodowych coraz częściej wskazują potrzebę dostępności elementów pozwalających na rozszerzenie funkcjonalności posiadanej linii technologicznej, umożliwiając im tym samym dowolne komponowanie linii z poszczególnych modułów. Obecnie czas oczekiwania na realizację zamówienia całej linii technologicznej jest długi, dodatkowo cała linia wymaga przeprowadzenia kompleksowej kalibracji – to sprawia, że ograniczona jest elastyczność rozwiązania produkcyjnego w postaci całej linii technologicznej. Dostęp do modułowych i kompatybilnych względem siebie rozwiązań pozwala natomiast na dodawanie modułów

o określonej funkcjonalności, których proces integracji zachodzi szybciej.

Automatyzacja instalacji

Potrzeba poprawy efektywności i elastyczności wynika bezpośrednio z potrzeby zwiększenia automatyzacji linii technologicznych. Kluczowe jest dostosowanie się do wymagań klienta z poziomu OEM w zakresie terminowości realizacji zamówień, wielkości oczekiwanej produkcji oraz jakości wyznaczonej normą IATF 16949 (dotyczącej rozwoju oraz ciągłego doskonalenia systemu zarządzania jakością, skupiające się na zapobieganiu błędom oraz redukcji zmienności i strat w łańcuchu dostaw OEM) [3] oraz audytem VDA 6.3 (obowiązkowy audyt wymogów dla dostawców części samochodowych dla klientów z rynku niemieckiego) [4] – procedury te tworzą spójny algorytm oceny dostawcy. Producenci amortyzatorów i sprężyn gazowych w odpowiedzi na wymagania stawiane przez klientów poszukują zatem rozwiązań z dziedziny automatyzacji produkcji, których celem jest zwiększenie jednorodności oraz zagwarantowanie powtarzalności otrzymywanych produktów przez eliminację błędów czynnika ludzkiego na etapach montażu i kontroli jakości oraz wzrost wydajności pracy linii. Ważnym aspektem i uzasadnieniem konieczności zwiększenia zrobotyzowania produkcji jest bezpieczeństwo pracowników. Roboty pozwalają chronić pracowników przed hałasem, niebezpiecznymi temperaturami, ostrymi elementami i płynami technologicznymi.

Rozwiązanie będące rezultatem projektu jest skierowane do podmiotów branży automotive, producentów amortyzatorów i sprężyn gazowych zlokalizowanych przede wszystkim w Europie Środkowo-Zachodniej, lecz także w Chinach, Korei Płd., Indiach, USA lub Meksyku.

1.2. Poziom gotowości technologicznej

Poziomy gotowości technologicznej TRL (ang. *Technology Readiness Levels*) to metoda szacowania dojrzałości technologii w fazie pozyskiwania w ramach danego programu. TRL umożliwia spójne i jednolite dyskusje na temat dojrzałości technologicznej w odniesieniu do różnych rodzajów technologii. Poziom TRL jest określany podczas oceny gotowości technologicznej TRA (ang. *Technology Readiness Assessment*), która obejmuje analizę koncepcji programowych, wymagań techno-

Tab. 1. Definicje poziomów TRL [5]
Tab. 1. TRL levels definitions [5]

Poziom TRL	Opis
1	Zaobserwowanie podstawowych zasad naukowych
2	Sformułowanie koncepcji technologicznej
3	Eksperymentalne potwierdzenie zasadności koncepcji
4	Walidacja technologii w warunkach laboratoryjnych
5	Walidacja technologii w odpowiednim środowisku przemysłowym
6	Demonstracja technologii w odpowiednim środowisku przemysłowym
7	Demonstracja prototypu systemu w środowisku operacyjnym
8	System kompletny i zakwalifikowany do wdrożenia
9	Sprawdzony system rzeczywisty działający w warunkach operacyjnych

logicznych oraz udokumentowanych możliwości technologicznych. Skala TRL obejmuje poziomy od 1 do 9, gdzie 9 oznacza technologię najbardziej dojrzałą (tab. 1) [5, 6]. Koncepcja TRL została opracowana przez NASA w latach 70. XX wieku. W 2013 r. skala TRL została dodatkowo ustandaryzowana przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) przez publikację normy ISO 16290:2013 [5]. Skala TRL znajduje również zastosowanie przy opisywaniu projektów badawczo-rozwojowych współfinansowanych przez Unię Europejską.

2. Opis budowy linii

2.1. Założenia technologiczne

Realizacja projektu zakładała osiągnięcie następujących cech:

- uniwersalność i kompaktowość urządzeń ciągu technologicznego – zmniejszenie zajętości przestrzeni, elastyczność konfiguracji linii;
- oszczędność energii/surowców – minimalizacja zużycia oleju przez zmianę techniki napędowej układu pomiarowego;
- skalowalność i kompaktowość rozwiązania technologicznego przez modułowość i kompatybilność – można dostarczyć/eksploatować obydwie części (amortyzatorów i sprężyn gazowych) lub każdą z osobna niezależnie;
- błąd pomiaru siły w teście funkcjonalnym na poziomie 1,5–2 %;
- optymalizacja czasu trwania załadunku/przeładunku w cyklu produkcyjnym dzięki robotyzacji;
- wysoka autonomia pracy dzięki zastosowaniu zrobotyzowanej obsługi logistycznej (pojazd AMR).

2.2. Główne prace w ramach projektu

W ramach projektu POIR.01.02.00-00-0056/18-00 wykonano szereg prac, które doprowadziły do uzyskania zadowalającego efektu końcowego – ciągu technologicznego ze stacjami testowania charakterystyk zarówno amortyzatorów jak i sprężyn gazowych. Realizowane w trakcie prac badawczo-rozwojowych działania wpisały się w KIS 14 – automatyzacja i robotyzacja procesów technologicznych, przyniosły już szereg korzyści. Działania te to:

- opracowanie projektów wielobranżowych;
- wykonanie i montaż mechaniczny zespołów, narzędzi oraz konstrukcji aluminiowych;
- montaż połączeń elektrycznych wewnątrz szaf sterowniczych, szaf krosowniczych i paneli operatora, pomiary elektryczne na linii;
- opracowanie dedykowanego systemu umożliwiającego sterowanie pracą modułów z funkcjonalnością traceability;
- prace programistyczne PLC i uruchomieniowe modułów linii, a także podzespołów, np. robot samojedyny AMR.

2.3. Zastosowane metodologie i narzędzia projektowania

Projekt linii montażowej i problem układu linii LL (ang. *Line Layout*) zostały omówione i podzielone na poziom logiczny i fizyczny. Opracowanie logicznego układu obejmuje rozdzielanie zadań między stanowiska, podczas gdy układ fizyczny określa rozmieszczenie sprzętu na hali fabrycznej. W przypadku logicznego montażu LL rozwiązano problem równoważenia linii ALBP (ang. *Automatic Line Balancing Problem*) i planowania zasobów RP (ang. *Resource Planning*) [7]. Opisana linia montażowa amortyzatorów została zaplanowana od początku jako linia montażowa hybrydowa, gdzie operacje mogą być wykonywane ręcznie lub za pomocą robotów i zautomatyzowanych maszyn, planowanie zasobów przypisuje zasoby do zadań i przydziela zadania stanowiskom [8].

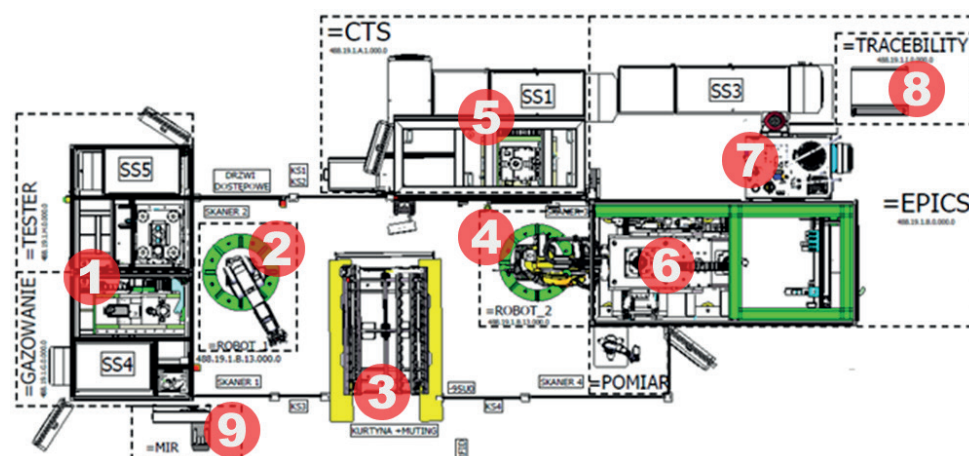
Inżynieria współbieżna CE (ang. *Concurrent Engineering*) została zastosowana ze względu na jej kluczowe zalety, do których należą integracja różnorodnej wiedzy specjalistycznej w celu skutecznego i wydajnego rozwiązywania wyzwań projektowych, zbieranie odpowiednich pracowników we właściwym czasie w celu wspólnego identyfikowania i rozwiązywania problemów projektowych oraz środowisko multidyscyplinarne [9]. Do opracowania projektów mechanicznych, elektropneumatycznych i programistycznych zastosowano systemy SolidWorks 3D CAD z PDM, EPLAN CAD/CAE oraz TIA Portal. W pracach wykorzystano wieloletnie, praktyczne know-how zespołu oraz podbudowę teoretyczną dotyczącą zwłaszcza modelowania układów zawieszenia i klasycznych metodyk badania jakości amortyzatorów [10–12].

2.4. Budowa linii montażowej

Opracowaną linię technologiczną charakteryzuje automatyczna praca, trwałość oraz dokładność montażu i wykonywanych testów charakterystyki. Do pełnej obsługi linii nie potrzeba pracowników produkcyjnych. Wymagane jest tylko dostarczanie i odbieranie komponentów przez autonomiczny pojazd AMR oraz okresowe kontrolowanie przez służby utrzymania ruchu. Ciąg technologiczny łącznie z szafami sterowniczymi może być dostosowany do układu logistycznego fabryki. Do połączenia linii z szafami sterującymi przewidziano specjalne złącza o wysokim poziomie ochrony IP.

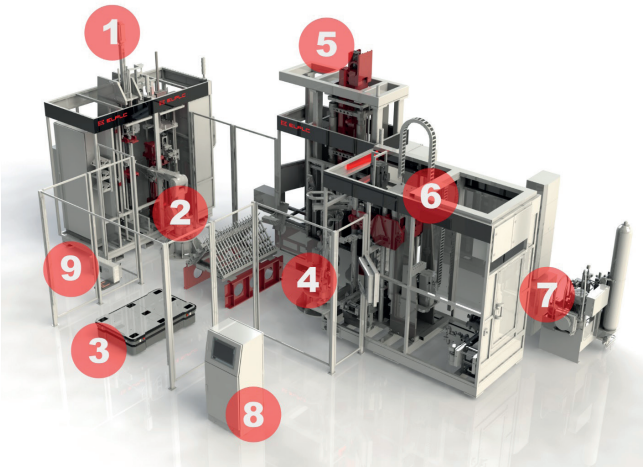
Główne elementy linii pokazano na przygotowanym planie (rys. 1) oraz w postaci zrenderowanej (rys. 2):

1. Stacjonarne maszyny do gazowania i testu charakterystyki CTS – sprężyn gazowych
2. Robot przeładunkowy – sprężyn gazowych
3. Wózek autonomiczny – robot AMR
4. Robot przeładunkowy – amortyzatorów
5. Stacjonarna maszyna do testu charakterystyki amortyzatorów CTS



Rys. 1. Plan opracowanej linii
Fig. 1. Line layout schematic

- 6. Stacjonarna maszyna do walcowania i napełniania gazem amortyzatorów EPICS
- 7. Agregat hydrauliczny
- 8. System zbierania danych – TRACEABILITY/TOMAI Factory System
- 9. Stacja ładowania robota AMR



Rys. 2. Render 3D projektu linii
Fig. 2. Line 3D render



Rys. 3. Linia na końcowym etapie uruchomienia i walidacji z widocznym AMR
Fig. 3. Line during test run and validation with AMR visible

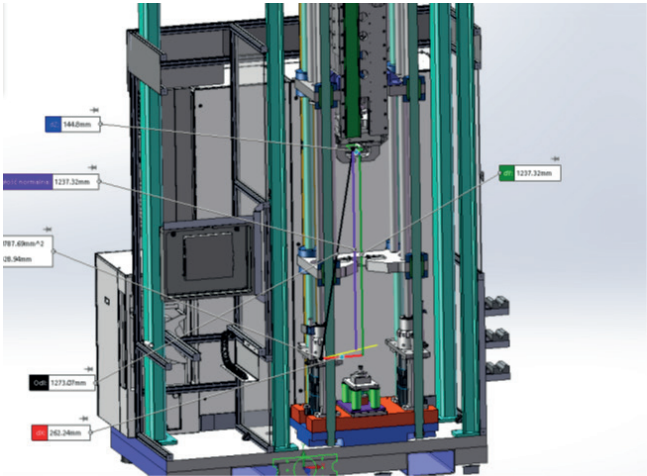
2.5. CTS – testery charakterystyki z liniowym napędem elektrycznym

W module CTS zastosowano sprawdzone we wcześniejszych projektach elektryczne silniki liniowe jako napęd efektora testującego. Osiągnięto następujące parametry:

- prędkość testowania na poziomie 1 m/s lub większym; maszyna jest wyposażona w elektromagnetyczne silniki liniowe, których prędkości pracy wynoszą $V_{max} = 1,5 \text{ m/s}$;
- osiągniata siła kompresji i odbicia na poziomie 6,5 kN;
- błąd pomiaru na poziomie 2 % zakresu pomiarowego; zastosowano tensometryczny czujnik oporowy klasy laboratoryjnej;
- możliwość programowania liczby cykli wstępnych (rozruchowych) i testowych w dowolnej konfiguracji i o różnych rampach czasowych przyspieszania, np. trójkąt, prostokąt, sinusoida; można programować rampę czasową osobno dla kompresji i rozciągania; trajektoria jest opisana drogą, prę-

dkością maksymalną, którą powinniśmy osiągnąć i typem rampy, przyspieszenia wynikają z tych parametrów, podobnie częstotliwość;

- pomiar sił tarcia do 500 N, za pomocą układu tensometrycznego klasy laboratoryjnej;
- pomiar amortyzatorów i sprężyn gazowych o długościach 200–1200 mm.



Rys. 4. CTS – symulacja zakresu wysokości komponentów
Fig. 4. CTS – component height range simulation

Tab. 2. Porównanie CTS z typowymi testerami hydraulicznymi
Tab. 2. Comparison of CTS with typical hydraulic testers

Cecha	ELPLC	Typowo (*)
Siłownik	Liniowy napęd elektromagnetyczny	Hydrauliczny
Błąd pomiaru	1,5 %	nawet 10 %
Długość cyklu	6,8 s	7,2 s
Pomiar skoku	do 400 mm	do 350 mm
Zakres mierzonej siły	±6,5 kN	±5 kN
Możliwość testu w wysokiej częstotliwości	TAK	NIE

(*) podane parametry odnoszą się do grupy różnych rzeczywistych pracujących maszyn napotkanych typowo u klientów w praktyce biznesowej Spółki



Rys. 5. CTS – narzędzie testujące
Fig. 5. CTS tooling

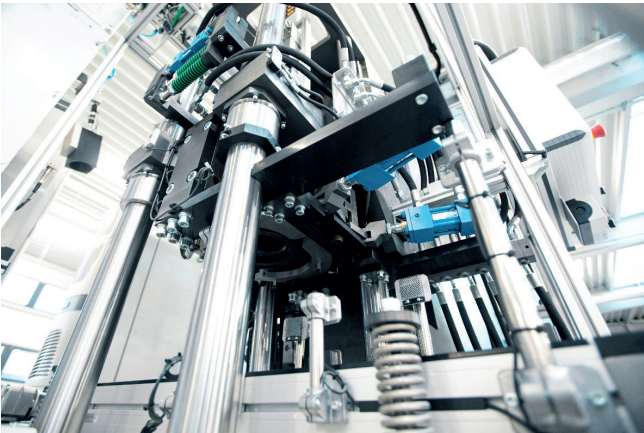
Tab. 3. Podstawowe parametry CTS
Tab. 3. CTS main parameters

Parametr	Wartość
Tester charakterystyki (CTS) – siła testu	–6500 N – 6500 N
CTS – pomiar skoku amortyzatora	0–400 mm
CTS – prędkość testu	0,5–1000 mm/s
CTS – przyspieszenie maksymalne	10g
CTS – krzywe przyspieszenia	sinus, trójkąt, trapez
CTS – częstotliwość testu	16 Hz

2.6. EPICS – napełnianie azotem i zamykanie w jednym module

Amortyzator jest napełniany azotem oraz zamykany przez zaoblenie górnego fragmentu cylindra. Typowo ciśnienie gazu w amortyzatorze mieści się w przedziale do 2,5 MPa. Praktyka produkcyjna zastana u klientów Tier1 pokazała, że często ta operacja rozdzielona jest na dwie maszyny. Pierwsza z nich wykonuje napełnienie gazem i tylko wstępne uszczelnienie i zamknięcie amortyzatora. Finalne zamknięcie amortyzatora dokonywane jest dopiero na kolejnej stacji.

W module EPICS zdecydowano się na zintegrowanie całości procesu w jednej stacji (rys. 6). Tym samym ostateczne zamknięcie amortyzatora odbywa się jednocześnie z wypełnieniem gazem. Na stacji EPICS osiągane jest ciśnienie azotu w amortyzatorze do 2,5 MPa. Zaprojektowano do tego dedykowany układ pneumatyczny utrzymujący ciśnienie gazu oraz



Rys. 6. EPICS widok narzędzia zamykająco-gazującego
Fig. 6. EPICS closing and gas filling tooling

Tab. 4. Najważniejsze cechy EPICS w zestawieniu z rozwiązaniami typowymi
Tab. 4. Main features of EPICS compared to typical solutions

Podstawowe cechy	ELPLC	Typowo (*)
Napełnianie i zamykanie	jedna maszyna jeden ruch	dwie osobne maszyny: 1 – napełnianie i wstępne zamknięcie 2 – zamknięcie końcowe
Całkowity czas operacji	6,8 s	> 14 s (2 kroki)
Analiza danych (wykres siły zamykania)	pojedynczy ciągły	dwie oddzielne zbiory danych
System sterowania	National Instruments RT	karta PC

(*) podane parametry odnoszą się do grupy różnych rzeczywistych pracujących maszyn napotkanych typowo u klientów Tier1 w praktyce biznesowej Spółki

zespół uszczelnień głowicy i cylindra. Podanie azotu pod ciśnieniem do amortyzatora dokonuje się w głowicy walcującej. Najazd układu walcowania jest realizowany za pomocą serwonapędu. Następnie poprzez przekładnię napędzana jest śruba planetarna sprzężona z głowicą gazująco-walcującą. Proces walcowania jest na bieżąco monitorowany przez układ tensometryczny, który ma za zadanie zmierzyć siłę walcowania – wyniki pomiarów są analizowane oraz na bieżąco korygowane. Układ dojeżdża do momentu wystąpienia określonej wartości siły. Droga jest więc uzależniona od punktu wystąpienia zadanej siły, a ta zależy od rodzaju (referencji) amortyzatora i jego gabarytów.

Opracowanie koncepcji stacji w postaci wolnostojącego modułu doczepianego stanowi o możliwościach adaptacyjnych. Takie rozwiązanie daje możliwość zastosowania autonomicznego lub dowolnego łączenia stacji w ciągi technologiczne. Wykorzystany EPICS jest zintegrowany z CTS przy pomocy robota przeładunkowego oraz robota autonomicznego AMR.

Pomiar siły walcowania jest realizowany za pomocą tensometru oporowego o zakresie 250 kN. Umożliwia pomiar sił w założonym przedziale 45–150 kN. Przewymiarowanie przetwornika pozwala zwiększyć trwałość układu dzięki znacznemu zapasowi zakresu i odporności na znaczne nawet przekroczenia założonego przedziału.

3. Podsumowanie

3.1. Osiągnięcie kamieni milowych projektu

Opisane w publikacji moduły stanowiły kluczowe kamienie milowe projektu POIR.01.02.00-00-0056/18-00. W przypadku opisanych modułów zrealizowano kilka istotnych celów:

- **Modułowość** – każdy moduł może działać zarówno jako integralna część linii montażowej, jak i jako autonomiczna stacja zdolna do załadunku/rozładunku za pomocą robotów. Można modyfikować przepływ linii i kolejność modułów, a także odpowiednio konfigurować serializację produkcji.
- **Zwiększona dokładność pomiarów** podczas testów funkcjonalnych (CTS) – osiągnięto dzięki zastosowaniu elektromagnetycznego napędu liniowego (tab. 2).
- **Elastyczna konfiguracja procesu testów funkcjonalnych (CTS)** – umożliwia programowanie liczby cykli wstępnych (rozruchowych) i testowych, a także ramp przyspieszeń (np. trójkątne, prostokątne, sinusoidalne). Niezależne programowanie ramp jest też możliwe dla faz kompresji i rozciągania.
- **Uproszczenie procesu, skrócenie czasu cyklu** oraz zmniejszenie przestrzeni zajmowanej przez moduł (EPICS) – dzięki opracowaniu jednolitego procesu napełniania gazem i uszczelniania, dwie wcześniej oddzielne stacje zostały połączone w jedną. Ta konsolidacja ułatwia analizę charakterystyki siły, zapewniając dostęp do spójnego, jednolitego zestawu danych pomiarowych.

Linia technologiczna, na której zastosowano udoskonaloną metodę montażu i testowania amortyzatorów oraz sprężyn gazowych dla przemysłu motoryzacyjnego, osiągnęła 9 poziom gotowości technologicznej (TRL 9) po zakończeniu realizacji Projektu. Było to możliwe dzięki opracowaniu zrobotyzowanej linii technologicznej składającej się z oddzielnych, lecz kompatybilnych elementów/modułów z logistyką opartą na pojazdach AMR.

Chociaż prace B+R rozpoczęto na poziomie TRL 4, w ramach Projektu nie przewidziano prowadzenia badań przemysłowych. Rozwój technologii nastąpił przez odpowiednie połączenie i transformację istniejącej wiedzy naukowej i technicznej w danym obszarze.

Po zakończeniu etapów projektowania, montażu i programowania linia została uruchomiona. Przeprowadzono testy próbne, które zweryfikowały funkcjonalność każdego modułu oraz ustawiono wartości referencyjne. Walidacja wszystkich stacji i komponentów wykazała, że linia montażowa spełnia ustalone cele. Do pełnej obsługi operacyjnej linii w domyślnej konfiguracji, wymagany jest tylko nadzorujący operator logistyki.

3.2. Potencjalne zalety modułowości

Modułowe linie produkcyjne oferują szereg potencjalnych zalet, które mogą zdecydować o popularyzacji tego podejścia w nowoczesnym przemyśle. Szczególnie dotyczy to branży automotive, która charakteryzuje się wysokim stopniem automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych.

- **Elastyczność i skalowalność** – modułowe linie produkcyjne pozwalają łatwo dodawać, usuwać lub modyfikować moduły, aby dostosować proces produkcji do nowych produktów lub zmieniającego się popytu. Umożliwiają szybką rekonfigurację, czyli zmiany układu lub funkcji przy minimalizacji kosztów przebudowy infrastruktury.
- **Optymalizacja kosztów, redukcja kosztów operacyjnych, redukcja czasu wprowadzenia na rynek** – dzięki możliwości etapowej realizacji poszczególnych modułów, które same w sobie powinny zapewniać również działanie off-line, koszty mogą być rozłożone w czasie. Dzięki prefabrykowanym modułom linie produkcyjne mogą być szybciej instalowane i uruchamiane. Nowe moduły mogą być projektowane równolegle z bieżącą produkcją, co skraca czas potrzebny na wprowadzenie nowego produktu na rynek.
- **Zwiększenie efektywności produkcji** – przez minimalizację przestojów. W przypadku awarii jednego modułu możliwa jest szybsza naprawa lub szybka wymiana czy zastąpienie, jeśli mamy moduły redundantne. Redundancja modułów może znacząco poprawić przepustowość linii przy zachowaniu jakości produkcji.
- **Integracja zaawansowanych technologii** – przez robotyzację i wykorzystanie AI. Moduły mogą być wyposażone w technologie sztucznej inteligencji i robotyki, co pozwala na optymalizację procesów, monitorowanie wydajności i szybkie reagowanie na zmiany w środowisku produkcyjnym. Moduły mogą gromadzić dane, umożliwiając analizę procesów i ich dalsze usprawnianie. To z kolei pociąga za sobą ograniczenie wolumenu odpadów, wydłużenie cyklu życia całej linii i wsparcie zrównoważonego rozwoju.
- **Zwiększenie bezpieczeństwa pracy** – przez łatwą lokalizację zagrożeń, możliwość lepszej organizacji stref bezpieczeństwa i ograniczanie udziału człowieka w ryzykownych etapach procesu produkcyjnego.

3.3. Efekty robotyzacji i zastosowania AMR

Opracowanie integracji wózka AMR z linią spełniło następujące założenia:

- **Optymalizacja przepływu materiałów** – mobilne roboty odpowiadają za dostarczanie komponentów na linie pro-

dukcyjne oraz odbiór gotowych produktów. Automatyzacja przepływu materiałów pomaga zminimalizować przestoje w produkcji spowodowane niedoborami komponentów.

- **Redukcja kosztów operacyjnych** – automatyzacja transportu wewnętrznego zmniejsza potrzebę ręcznego obsługiwanie wózków widłowych i ogranicza błędy w dostarczaniu komponentów. Mobilne roboty mogą pracować 24/7, obniżając koszty związane z nadgodzinami pracowników.
- **Zwiększone bezpieczeństwo** – dzięki technologii sztucznej inteligencji roboty AMR mogą unikać przeszkód i reagować na dynamiczne zmiany w otoczeniu, co przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa w miejscu pracy.
- **Skrócenie czasu konfiguracji** – dzięki elastyczności robotów AMR zakład może skrócić czas potrzebny na rekonfigurację linii podczas zmiany produkowanych produktów. Roboty dostosowują swoje trasy i zadania do nowych wymagań, eliminując konieczność modyfikowania fizycznej struktury zakładu.

Przy pracach nad budową poszczególnych modułów i integracji z wózkiem autonomicznym wzięto również pod uwagę potencjalne wyzwania:

- **Wysokie koszty początkowe** – zakup i wdrożenie systemu mobilnych robotów wymaga znacznych nakładów finansowych. Dodatkowo konieczne może być dostosowanie infrastruktury, m.in. podłogi czy punkty ładowania.
- **Integracja systemów** – mobilne roboty muszą współpracować z systemami zarządzania produkcją i logistyką (np. MES, WMS). Zapewnienie płynnej komunikacji i koordynacji między tymi systemami wymaga odpowiedniego oprogramowania i narzędzi monitorujących.
- **Szkolenie personelu** – wprowadzenie automatyzacji wymaga przeszkolenia personelu obsługującego linie produkcyjne oraz zespołów utrzymania ruchu. Obsługa robotów AMR, które często korzystają z zaawansowanych kontrolerów i algorytmów nawigacyjnych, wymaga nowych umiejętności.

Wraz z postępem technologicznym i rosnącymi wymaganiami rynku rola mobilnych robotów AGV i AMR w produkcji będzie się zwiększać. Przyszłość automatyzacji modułowych linii zakłada pełną automatyzację przepływu materiałów, integrację z zaawansowanymi systemami analizy danych oraz zastosowanie sztucznej inteligencji w celu optymalizacji całego procesu produkcyjnego. Rozwój robotów AMR, zdolnych do uczenia się tras i dostosowywania do nowych sytuacji w czasie rzeczywistym, powinien dodatkowo stymulować elastyczność produkcji i obniżanie kosztów związane z modyfikacjami infrastruktury.

Podziękowania

Prace nad projektem były realizowane przez ELPLC S.A. zgodnie z planem, w okresie od 1 lipca 2018 r. do 29 stycznia 2021 r. W wyniku prac powstała szczegółowa koncepcja, projekt oraz została zbudowana i przetestowana linia montażowa amortyzatorów, składająca się m.in. z modułów opisanych w publikacji. Projekt „Nowatorski ciąg technologiczny do montażu i testowania amortyzatorów oraz sprężyn gazowych” nr projektu: POIR.01.02.00-00-0056/18-00, działanie: 1.2 Sektorowe programy B+R otrzymał dofinansowanie w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020.

Bibliografia

1. *Automotive Shock Absorbers Market Outlook (2023 to 2033)*, Persistence Market Research, 2023
2. *Global Nitrogen Gas Springs Market*, Report 2018.

3. Gruszka J., Misztal A., *Zarządzanie jakością w motoryzacji według standardu IATF 16949:2016 w ujęciu procesowym*, „Problemy Jakości”, R. 49, Nr 11, 2017, 4–10, DOI: 10.15199/48.2017.11.1.

4. *VDA 6.3 Audit procesu*, wyd. 4. zm., styczeń 2023.

5. Héder M., *From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation*, “The Innovation Journal”, Vol. 22, No. 2, 2017, 1–23.

6. Deutsch Ch., Meneghini Ch., Mermut O., Lefort M., *Measuring Technology Readiness to improve Innovation Management*, 2011.

7. Nourmohammadi A., Eskandari H., *Assembly line design considering line balancing and part feeding*, “Assembly Automation”, Vol. 37, No. 1, 2017, 135–143, DOI: 10.1108/AA-09-2016-122.

8. Miyauchi T., Yamada T., Sugi M., (2022). *2-stage design for a hybrid assembly line with humans and robots considering automation difficulty level: case study of the electrical equipment assembly line*, “International Journal of Smart Computing and Artificial Intelligence”, Vol. 6, No. 1, 2022, DOI: 10.52731/ijsc.v6.i1.646.

9. Brevault L., Balesdent M., Defoort S., *Preliminary study on launch vehicle design: Applications of multidisciplinary design optimization methodologies*, “Concurrent Engineering”, Vol. 26, No. 1, 2017, 93–103, DOI: 10.1177/1063293X17737131.

10. Gardulski J., *Metody badań amortyzatorów samochodów osobowych*, „Diagnostyka”, Vol. 3, No. 51, 2009, 93–100.

11. Lang H.H., *A study of the characteristics of automotive hydraulic dampers at high stroking frequencies*, The University of Michigan, 1977, DOI: 10.7302/11211.

12. Czop P., Sawik D., *A high-frequency first-principle model of a shock absorber and servohydraulic tester*, “Mechanical Systems and Signal Processing”, Vol. 25, No. 6, 2011, 1937–1955, DOI: 10.1016/j.ymssp.2011.01.011.

Robotic Technological Line for Assembling and Testing Dampers and Gas Springs

Abstract: The article describes the outcomes of work conducted under project no. POIR.01.02.00-00-0056/18-00. The goal of the project was to develop a product innovation in the form of a novel technological line for assembling and testing dampers and gas springs, intended for use by international Tier 1 component manufacturers in the automotive industry. The project involved research and development work aimed at designing an innovative, automated „all-in-one” technological line for assembling and testing dampers and gas springs. A key factor in the project’s execution was the team’s prior experience in building assembly lines for the mentioned components and their direct understanding of customer needs, which were carefully considered during the conceptual design phase. A particularly important feature of the developed solution is the versatility of the devices, which can simultaneously fill and seal dampers and gas springs with gas, integrated with a damping force characteristic tester. This capability, enabled by automation and robotics combined with modularity and system compatibility, allows for flexible configuration of the technological line, the use of only selected modules as needed, or its future expansion. Each module can operate autonomously with manual handling or be part of a larger technological line functioning within an automated intralogistics environment.

Keywords: gas springs, dampers, robotization, autonomous robots, assembly lines

mgr Robert Tomasiewicz, MBA

robert.tomasiewicz@elplc.pl
ORCID: 0009-0000-0379-9127

Przedsiębiorca, ekspert w dziedzinie automatyzacji, robotyzacji i cyfryzacji przemysłu, absolwent MWSE w Tarnowie oraz MBA in General Management, Corporate Management – Krakowskiej Szkoły Biznesu UEK. Pracuje i angażuje się na rzecz nowoczesnego przemysłu i edukacji technicznej w Polsce. Członek grupy roboczej ds. automatyzacji i robotyki procesów technologicznych w Departamencie Innowacji i Polityki Przemysłowej Ministerstwa Rozwoju i Technologii, ekspert ds. opracowania Koncepcji Rozwoju Kraju do 2050 r. w Ministerstwie Funduszy i Polityki Regionalnej, Wiceprzewodniczący Małopolskiej Regionalnej Rady Przemysłu Przyszłości, członek Instytutu Rozwoju Miast i Regionów oraz grupy roboczej ds. małopolskich inteligentnych specjalizacji. Swoją obecnością i aktywnością w wielu gremiach branżowych i eksperckich pokazuje, że innowacje i podążanie w kierunku Przemysłu 4.0 to nieodzowny element stabilnej przyszłości. Fundator Inkubatora Przemysłu Przyszłości. Założyciel i Prezes Zarządu ELPLC S.A.

