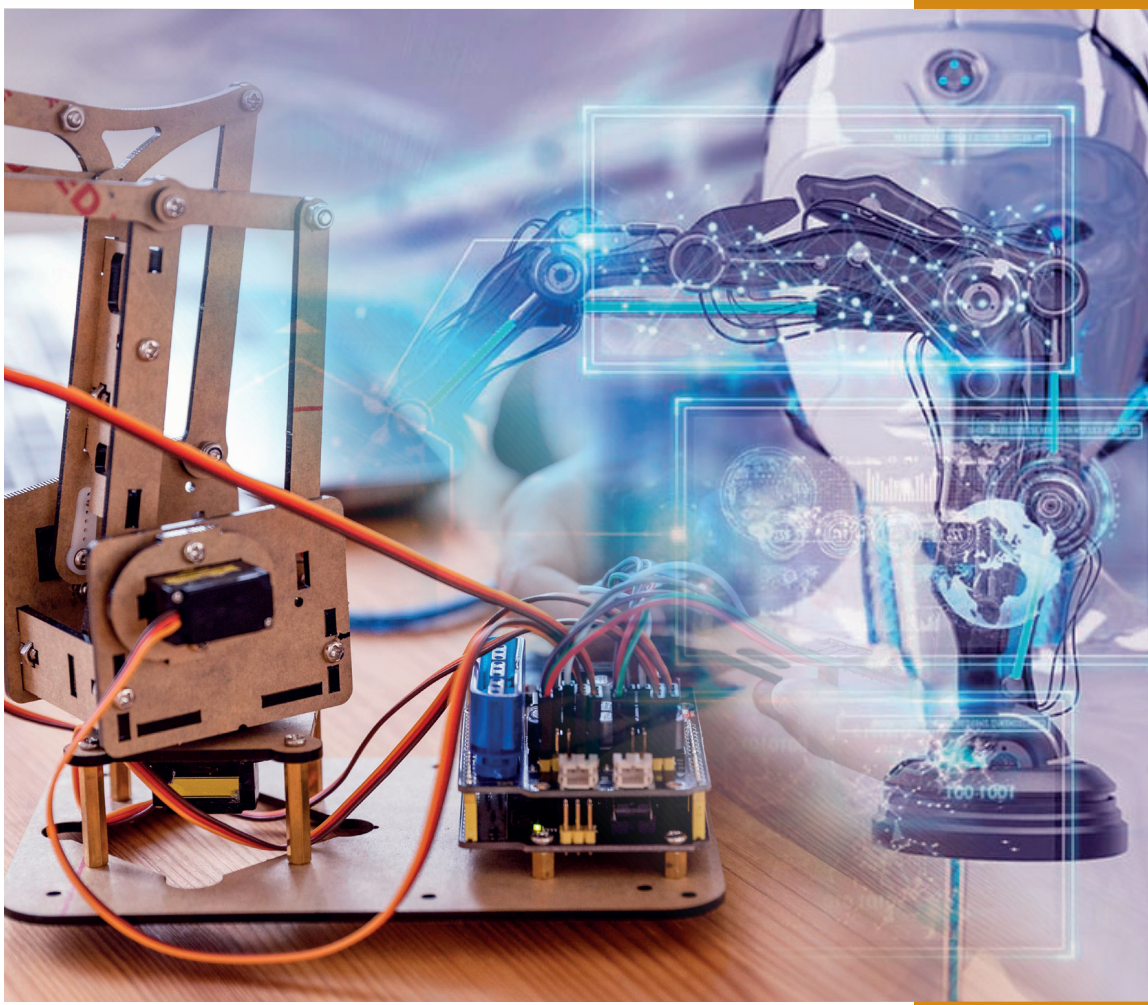
ELEKTROMECHANICZNE
ELEMENTY MECHATRONIKI

PODRĘCZNIK. STUDIA PRZYPADKÓW



ARKADIUSZ MAŁEK

Tom 17 Kompetencje, Wiedza, Innowacje – Zintegrowany Program Rozwoju WSEI w Lublinie – Etap III

17
TOM

ELEKTROMECHANICZNE ELEMENTY MECHATRONIKI

Część pierwsza
Podręcznik

Arkadiusz Małek

Lublin 2021

WYŻSZA SZKOŁA EKONOMII I INNOWACJI W LUBLINIE

Seria wydawnicza:
Kompetencje, Wiedza, Innowacje – Zintegrowany Program Rozwoju WSEI w Lublinie – Etap III
Tom 17

ELEKTROMECHANICZNE ELEMENTY MECHATRONIKI
Cz. I - Podręcznik Cz. II - Studia przypadków

Autor:
Arkadiusz Małek
ORCID: 0000-0001-7772-2755

Recenzenci:
prof. Andrzej Marciniak
dr inż. Łukasz Wojciechowski

Korekta:
Markowska Teresa

Skład, łamanie:
Marta Krysińska-Kudlak

Projekt okładki:
Patrycja Kaczmarek

Grafika na okładce:
freepik/Freepik.com
rawpixel.com/Freepik.com

@Copyright by
Innovatio Press, Lublin 2021

Wszelkie prawa zastrzeżone. W sprawie kopiowania lub rozpowszechniania fragmentów albo całości niniejszej pracy należy kontaktować się z wydawcą.
Publikacja oraz recenzje zrealizowano w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.
Proces wydawniczy (korekta, skład) sfinansowano z dotacji na zadania związane z zapewnieniem osobom niepełnosprawnym warunków do pełnego udziału w procesie kształcenia.

Printed in Poland
Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe
Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji
20-209 Lublin, ul. Projektowa 4
tel.: +48 81 749 17 77, fax: + 48 81 749 32 13
www.wsei.lublin.pl

ISBN – wersja elektroniczna: 978-83-66159-91-4

Spis treści

Wprowadzenie 7

1. Założenia i składowe Przemysłu 4.0 16
   1.1. Rewolucje przemysłowe w historii 17
   1.2. Łączenie komponentów i maszyn w sieci 20
   1.3. Identyfikowalne i komunikowalne obiekty 24
   1.4. Ćwiczenia 27
      1.4.1. Ćwiczenie 1 27
      1.4.2. Ćwiczenie 2 27
      1.4.3. Ćwiczenie 3 27
      1.4.4. Ćwiczenie 4 28
      1.4.5. Ćwiczenie 5 28
   1.5. Pytania testowe 29

2. Systemy elektromechaniczne w obrabiarkach sterowanych numerycznie 34
   2.1. Mechatronika w obrabiarkach sterowanych numerycznie 35
   2.2. Elektromechaniczne elementy w obrabiarkach CNC 37
      2.2.1. Mechatronika w obrabiarkach CNC 37
      2.2.2. Budowa obrabiarki – głowice narzędziowe 42
      2.2.3. Uchwyty przedmiotu obrabianego 44
      2.2.4. Napędy stosowane w obrabiarkach CNC 46
      2.2.5. Sterowanie osiami na obrabiarkach numerycznych 51
      2.2.6. Układy pomiarowe przemieszczeń obrabiarek CNC 58
   2.3. Ćwiczenia 60
      2.3.1. Ćwiczenie 1 60
      2.3.2. Ćwiczenie 2 60
      2.3.3. Ćwiczenie 3 61

2.3.4. Ćwiczenie 4 61
2.3.5. Ćwiczenie 5 61
2.4. Pytania testowe 62

3. Systemy elektromechaniczne w mobilnej linii przetwórczej betonu 67
3.1. Wersja mobilna linii przetwórczej kruszenia odpadów budowlanych 68
3.1.1. Kruszarka szczękowa 68
3.2. Opis głównych komponentów mobilnej linii przetwórczej odpadów budowlanych 79
3.2.1. Opis ogólny linii przetwórstwa odpadów budowlanych 79
3.2.2. Szczękowe mechanizmy kruszące 81
3.2.3. Bębny magnetyczne 83
3.3. Opcjonalne systemy automatyki 86
3.3.1. Wyłączniki linkowe Lifeline 4 87
3.3.2. Wyłączniki krańcowe LHPE-R 90
3.3.3. Czujniki prędkości obrotowej 91
3.3.4. Detekcja materiału 92
3.3.5. Termopary do pomiaru temperatur 93
3.4. Ćwiczenia 95
3.4.1. Ćwiczenie 1 95
3.4.2. Ćwiczenie 2 95
3.4.3. Ćwiczenie 3 96
3.4.4. Ćwiczenie 4 96
3.4.5. Ćwiczenie 5 96
3.5. Pytania testowe 97

4. Maszyny rolowe do pakowania próżniowego jako urządzenia mechatroniczne 102
4.1. Budowa maszyny rolowej i opis procesu pakowania próżniowego 103
4.2. Ćwiczenia 114
4.2.1. Ćwiczenie 1 114
4.2.2. Ćwiczenie 2 114
4.2.3. Ćwiczenie 3 115
4.2.4. Ćwiczenie 4 115
4.2.5. Ćwiczenie 5 115
4.3. Pytania testowe 116

5. Elementy elektromechaniczne w zasilaniu gazem LPG pojazdów 121
5.1. Wstęp 122
5.2. Komponenty składowe systemu IV generacji 123
5.2.1. Elektroniczna jednostka sterująca 124
5.2.2. Zbiornik gazu 133
5.2.3. Reduktor/parownik 141
5.2.4. Wtryskiwacze gazu 144
5.2.5. Wiązka elektryczna przewodów 149
5.3. Projekt i wykonanie mechatronicznego stanowiska systemu zasilania pojazdu gazem LPG 150
5.3.1. Projekt wózka jezdnego 150
5.3.2. Rozmieszczenie komponentów 152
5.3.3. Widok finalny stanowiska 157
5.4. Ćwiczenia 161
5.4.1. Ćwiczenie 1 161
5.4.2. Ćwiczenie 2 163
5.4.3. Ćwiczenie 3 165
5.4.4. Ćwiczenie 4 166
5.4.5. Ćwiczenie 5 167
5.5. Pytania testowe 168

6. Podsumowanie i wnioski 173

Bibliografia 174
Spis rysunków 181
Odpowiedzi do pytań testowych 186

Wprowadzenie

Od pewnego czasu w wielu publikacjach naukowych i naukowo-technicznych pojawia się sformułowanie „mechatroniczny", „mechatronika". Czym jest ta „nowa" dziedzina wiedzy, która z jednej strony tak bardzo przyciąga młodych ludzi, z drugiej zaś bardzo poważne i uznane na świecie ośrodki naukowo-badawcze określają dziedziny wiedzy, którymi się zajmują – mechatronicznymi [5]. Jedną z definicji mechatroniki znaleźć można w Internecie – to nauka interdyscyplinarna, łącząca badaczy z różnych dziedzin wiedzy. Najpopularniejszym współcześnie połączeniem jest współpraca specjalistów z obszaru szeroko rozumianej elektrotechniki, automatyki oraz mechaniki i budowy maszyn. Tak też rozumie mechatronikę większość inżynierów. Wielu z nich nie ma jednak pojęcia, że mechatronika – jako określenie – obchodzi właśnie pięćdziesiąte urodziny – to tyle, ile już trwa historia sterowników programowalnych.

Urządzeniami mechatronicznymi są wszystkie obecnie produkowane pojazdy i maszyny obróbcze i przetwórcze. Ze względu na wszechobecność systemów mechatronicznych Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji otworzyła kształcenie inżynierów na kierunku mechatronika. Podręcznik jest przeznaczony dla studentów tego kierunku w celu zdobycia przez nich wiedzy teoretycznej, kwalifikacji i umiejętności założonych w module kształcenia Elektromechaniczne elementy mechatroniki. Aby dokładnie zlokalizować studiowany obszar, należy wrócić do rysunku 0.1. Elektromechanikę tworzą wspólnie dwa obszary tj. Systemy elektroniczne i Systemy mechaniczne. Zatem w podręczniku należy się spodziewać dużo przykładów Systemów elektromechanicznych w innowacyjnych maszynach produkcyjnych i przemysłowych.

We wprowadzeniu warto od razu zdefiniować, czym są elementy elektromechaniczne. Wpisując to hasło w wyszukiwarkę internetową na pierwszych miejscach w wyszukiwaniu pojawią się reklamy skle-

pów internetowych z takimi komponentami. Należą do nich na przykład: elektromagnesy, elektrozawory, hamulce elektromagnetyczne i silniki [68]. Jest to szeroka oferta elementów, które są powszechnie wykorzystywane w budowie nowoczesnych maszyn, urządzeń i całych linii technologicznych. Do elementów elektromechanicznych zaliczamy także wszelkiego rodzaju przełączniki. W ofercie jednej z firm znajduje się szeroka gama produktów elektromechanicznych. Znajdą tam Państwo informacje na temat złącz i przełączników [69]. Ponadto do elementów elektromechanicznych zaliczamy wszelkiego rodzaju czujniki (sensory) [70].

Elektromechanika to dziedzina elektrotechniki zajmująca się przetwarzaniem energii elektrycznej w energię mechaniczną i odwrotnie. Procesy mechaniczne w elektromechanice nie są tworzone za pomocą płynów, jak ma to miejsce w hydraulice i pneumatyce, ale za pomocą napędów elektrycznych i magnetyzmu. Przez długi czas, napędy hydrauliczne były szczególnie preferowane do wymagających zadań, np. podczas transportu ciężkich ładunków. W międzyczasie do tego celu zaczęto stosować napędy elektromechaniczne. W porównaniu z hydraulicznymi są często mniejsze i lżejsze, ponieważ mają tylko silnik elektryczny i nie potrzebują pomp, zbiorników, przewodów i innych elementów typowych dla układów hydraulicznych. Napędy elektryczne pracują cicho, mają większy zakres prędkości obrotowej i nadają się do zadań, w których wymagane jest precyzyjne pozycjonowanie. Ponadto elementy elektromechaniczne są łatwiejsze do osadzenia w elektronicznym sterowaniu niż hydrauliczne. Wiele firm zwróciło na to uwagę i coraz częściej stosuje napędy elektromechaniczne do celów produkcyjnych.

Dziedziny elektromechaniki nie da się jasno określić, ale ma ona punkty styku z innymi dziedzinami specjalnymi, w szczególności z elektroniką i mechaniką, ale także z inżynierią mechaniczną i informatyką [71]. Systemy elektromechaniczne pojawiły się obecnie w wielu obszarach i są wykorzystywane np. w produkcji urządzeń precyzyjnych i pomiarowych, w elektroakustyce (głośniki), w technologii medycznej oraz w technologii czujników i elementów wykonawczych.

Żadne urządzenie zasilane elektrycznie nie działałoby bez elementów elektromechanicznych. Wiele elementów zostało zaprojektowanych do specjalnych zastosowań. Płytki PCB są wykorzystywane

np. do mocowania elementów obwodu elektronicznego w określonym układzie oraz do ustanowienia połączenia elektrycznego między nimi. Składają się z materiału izolującego, zwykle wzmocnionego włóknami tworzywa sztucznego oraz cienkiej warstwy miedzi na spodzie. Komponenty, takie jak tranzystory, kondensatory lub rezystory, są przylutowane na płytce lub po prostu wkładane, pod warunkiem, że jest to płytka drukowana wtykowa.

Procesy mechaniczne w elektromechanice są często tworzone za pomocą magnetyzmu np. głośniki są wyposażone w magnesy elektryczne i stałe, które przyciągają się i odpychają, powodując ruch membrany głośnika. W ten sposób sygnały elektryczne są zamieniane w drgania mechaniczne, a następnie przekształcane w sygnały akustyczne.

Magnesy można znaleźć w wielu innych urządzeniach elektromechanicznych, np. w dzwonkach, brzęczkach drzwi i podobnych instalacjach elektrycznych. Magnetyzm odgrywa również rolę w rozwoju przekaźników elektromechanicznych (EMR). Są to przełączniki z dwoma pozycjami przełączania, które mogą służyć do włączania i wyłączania obwodu. Sposób działania opiera się na sile elektromagnetycznej wytwarzanej w cewce. W zależności od rodzaju styków (zestyk rozwierny i zwierny), obwód elektryczny zostanie wytworzony lub przerwany. Przekaźniki służą do przełączania obwodów obciążenia i mogą być stosowane jako wzmacniacze przełączające. Znanym przykładem jest przekaźnik samochodowy.

Do sterowania w aplikacjach elektromechanicznych służą przełączniki i przyciski. Za ich pomocą można otwierać, utrzymywać i zamykać połączenia elektryczne. Dostępne są przełączniki obsługiwane ręcznie, takie jak suwakowe, dźwigienkowe lub kołyskowe oraz takie, które można obsługiwać bez ręcznej interwencji za pomocą specjalnych mechanizmów, siły magnetycznej, zmian temperatury lub położenia. Przykładem wyłączników pozycyjnych są wyłączniki krańcowe, które wyzwalają proces przełączania po osiągnięciu określonej pozycji krańcowej, np. przerywają zasilanie. Specjalną formą przełączników są styczniki.

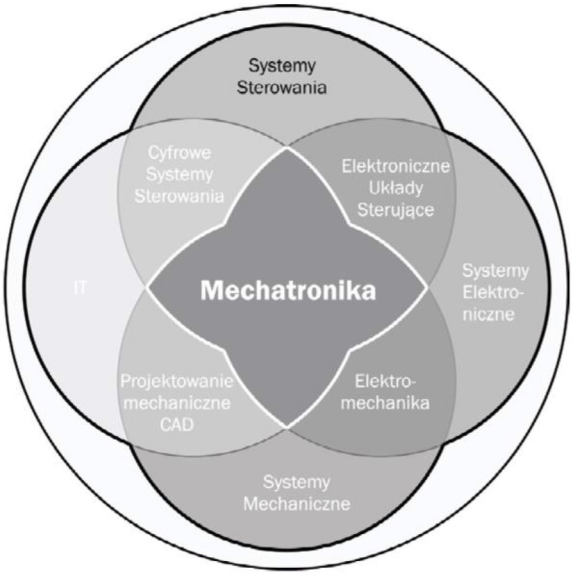
Stycznik elektromechaniczny jest bardzo podobny do przekaźnika pod względem jego budowy i działania, ale jest zaprojektowany dla większych mocy załączania i może oddziaływać na większą moc mechaniczną. Z tego powodu styczniki znakomicie nadają się do za-

stosowań o wysokiej wydajności i są stosowane przede wszystkim w przemyśle. Chociaż ich nazwa sugeruje inaczej, styczniki nie są używane do ochrony przed przeciążeniem lub zwarciem. To zadanie wykonują bezpieczniki. Są zintegrowane z obwodem elektronicznym i przerywają obwód lub zasilanie, gdy tylko zostanie przekroczony określony prąd. Zapobiega to uszkodzeniom instalacji elektrycznej.

W wielu przypadkach elementy elektromechaniczne są instalowane w jednej obudowie. Chroni ona wewnętrzną elektronikę i powinna być dopasowana do danego zastosowania pod względem funkcji i konstrukcji. Oprócz standardowych 19-calowych wsporników podzespołów, które służą jako uchwyty i są stosowane w przemyśle i handlu, istnieją obudowy do montażu na ścianie, obudowy stołowe, obudowy wtyczek i wiele innych, które są odpowiednie dla hobbystów i małych aplikacji.

Mechatronika ma wiele punktów stycznych z elektromechaniką, ale wykracza poza nią [71]. Jest to dziedzina interdyscyplinarna, która łączy w sobie trzy obszary: inżynierię maszyn, elektrotechnikę i informatykę oraz wykorzystuje ich metody do rozwiązywania problemów technicznych. W mechatronice systemy pracują mechanicznie w swoim rdzeniu, ale są wspierane przez technologię (technologie komputerowe i systemy elektroniczne).

Zespół mechatroniczny (w rozumieniu grupy osób) zatem to zespół badaczy z obszarów: IT, systemów sterowania, systemów elektronicznych oraz systemów mechanicznych. Dzięki ich wspólnym staraniom w maszyny technologiczne można „tchnąć nowego ducha”, rozszerzyć ich funkcjonalność, czy zakres dotychczasowych zastosowań. Zakresy wiedzy wszystkich badaczy z zespołów mechatronicznych, podczas prac nad projektami muszą się uzupełniać, wspierać. Aby praca nad projektami mechatronicznymi mogła być efektywna, inżynierowie powinni „mówić wspólnym językiem”, co należy rozumieć jako pracę z użyciem narzędzi programowych/sprzętowych zrozumiałych dla całego zespołu. Powiązania pomiędzy różnymi działami, tworzącymi mechatronikę, przedstawiono na rysunku 0.1. Aby tworzyć zespoły mechatroniczne w przedsiębiorstwach i instytutach naukowych konieczne jest kształcenie przyszłych inżynierów, magistrów i doktorów w obszarze mechatroniki.



Rys. 0.1. Koncepcja mechatroniki – interdyscyplinarny charakter prowadzonych projektów badawczych sprawia, że konieczna jest współpraca inżynierów z różnych dziedzin nauki [5].

Oprócz określenia mechatronika w podręczniku będzie również bardzo często występowało określenie Przemysł 4.0 i Internet Rzeczy. Przemysł 4.0 wykorzystuje integrację systemów oraz tworzy sieci i integruje ludzi z maszynami sterowanymi cyfrowo. Wykorzystuje ponadto w bardzo dużym stopniu Internet oraz technologie informacyjne. W ten sposób unifikuje się świat maszyn i wirtualny świat Internetu, a także Internetu Rzeczy [16] (ang. *Internet of Things, IoT)* oraz technologii informacyjnej [30]. Jest właściwie sednem czwartej rewolucji przemysłowej, która zapewnia dostęp do dowolnej informacji w dowolnym czasie. Ponadto może się to odbywać z dowolnego miejsca. Rzeczywistymi rezultatami takich szerokich możliwości pozyskiwania i przetwarzania danych są takie, jak ekonomiczna produkcja szczególnych wyrobów dedykowanych konkretnym grupom odbiorców w postaci małych serii produkcyjnych. Firmy wykorzystujące funkcje i możliwości Przemysłu 4.0 mogą wdrożyć nieosiągalną do tej pory elastyczność w spełnianiu oczekiwań indywidualnych klientów. W ten sposób firmy oparte na Przemyśle 4.0 zwiększają przewagę nad konkurentami [37] [39].

Przemysł 4.0 jest odpowiedzią na oczekiwania klientów XXI wieku. Mają oni bardzo duże wymagania w stosunku do produktów mechatronicznych obecnych na rynku, jakimi są pojazdy, sprzęt elektroniczny, sprzęt AGD i RTV, a także bardzo często zabawki dziecięce. Oczekiwanie w stosunku do ich zindywidualizowanego wyglądu (różne kolory, materiały), różnych funkcji, które można wybierać z długiej listy opcjonalnego wyposażenia, sprawiają że proces produkcyjny bardzo się komplikuje. Ponadto wszystkie produkty w XXI wieku muszą być ekologiczne, co wynika z konkretnych regulacji prawnych na poziomie poszczególnych krajów, a nawet całego globu. To również bardzo często komplikuje budowę danego produktu. Przykładem może być silnik spalinowy napędzający nowoczesne pojazdy. Ze względu na wyśrubowane normy emisji spalin sam silnik jest bardzo skomplikowanym urządzeniem mechatronicznym, uzupełnionym przez zaawansowany system oczyszczania spalin. Klienci mają również swoje preferencje w zakresie oczekiwań mocy generowanej przez silnik pojazdu. Jedni preferują oszczędne silniki małej mocy. Dla innych liczą się sportowe osiągi oraz komfort podróżowania pojazdem z mocnym silnikiem. Jeszcze inni chcieliby mieć wszystko w jednym.

Jednak bardzo szybko rozwijające się technologie informatyczne przychodzą tutaj z pomocą. Ścisły monitoring linii produkcyjnych oraz przetwarzanie uzyskiwanych danych pomiarowych pozwalają firmom sprostać stawianym przez ich klientów oczekiwaniom. Można zatem podsumować, że bez Przemysłu 4.0 niemożliwe byłoby podejście do oferowania zaawansowanych i zindywidualizowanych produktów w XXI w. Z drugiej jednak strony, gdyby nie te wymagania (ssanie ze strony rynku) producenci maszyn i urządzeń produkcyjnych nie rozwijaliby i nie uzupełnialiby swoich linii produkcyjnych o coraz to nowe funkcje i możliwości.

Przemysł 4.0 nie jest oparty tylko na zaawansowanych maszynach i nie wyklucza ludzi jako siły roboczej. Proponuje jednak całkiem nowe sposoby pracy i nową rolę, jaką mogą odgrywać ludzie w przemyśle. Przemysł 4.0 jest bardzo często określany mianem rewolucji cyfrowej z tego względu, że jego funkcje potrzebują bardzo często dużej mocy obliczeniowej, oferowanej przez nowoczesne maszyny cyfrowe. Innowacyjna firma, która wdrożyła założenia Przemysłu 4.0 powinna posiadać i cały czas rozwijać następujące obszary [11]:

1. **Platformy internetowe.** Są one wykorzystywane do wyświetlania, archiwizowania i przetwarzania danych pomiarowych, pochodzących z linii produkcyjnych. Mogą to być dane pomiarowe wyświetlane w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem Internetu Rzeczy. Bardzo często jednak duża ich ilość wymaga archiwizacji w systemach chmurowych. Wówczas w bezpieczny sposób zgromadzone i przechowywane dane mogą być także dowolnie przetwarzane off-line. Zaawansowane platformy internetowe dedykowane są dla całych zakładów, jak i samych linii produkcyjnych. Oczywiście punktem wyjścia dla ich rozwoju jest automatyzacja i monitoring pracy pojedynczych maszyn z których następnie budowane są coraz bardziej zaawansowane linie technologiczne. Platformy internetowe zapewniają wgląd we wszystkie wskaźniki wydajności poszczególnych maszyn i procesów. Pozwalają na analizę i optymalizację produkcji. Kilka lat wcześniej miały postać dużych programów komputerowych, wymagających posiadania komputera PC o dużej mocy obliczeniowej i wydajnej grafice. W chwili obecnej są to aplikacje na urządzenia mobilne w postaci tabletów i smartfonów.

2. **Logistykę zakładową.** Jej celem jest osiągnięcie wysokiej wydajności produkcji oraz dystrybucji zindywidualizowanych wyrobów do klienta. Logistyka XXI wieku wykorzystuje w tym celu zaawansowane technologie. Zaliczamy do nich bramki RFID, automatycznie zapisujące transportowane elementy i pośredniczące w wymianie informacji pomiędzy produkcją a magazynem. Wymiana informacji dotyczy także tych produktów, które już opuściły fabrykę. Klienci oczekują okresowej możliwości aktualizacji oprogramowania danej maszyny, aby mogła być ona jeszcze bardziej wydajna i niezawodna.

3. **Posiadany potencjał ludzki.** Największe firmy doradcze zgodnie twierdzą, że po strukturze pracowniczej można rozpoznać, z jaką firmą mamy do czynienia. Oczywiście firmy zgodne z Przemysłem 4.0 potrzebują bardzo wykwalifikowanej i doświadczonej kadry pracowniczej. Za to liczba pracowników wykonujących proste prace fizyczne będzie odpowiednio mniejsza ze względu na zastąpienie ich wysokowydajnymi i nigdy niemęczącymi się maszynami. Firmy Przemysłu 4.0 charakteryzuje ponad 20% zatrudnionych osób w charakterze planistów, konstruktorów i managerów, którzy posiadają wykształcenie wyższe. Ponad 40% osób

w takiej firmie będą to wysoko wykwalifikowani pracownicy, managerowie techniczni i technicy [35].

4. **Strategia Przemysłu 4.0.** Powinna być ona starannie opracowana dla konkretnej firmy i wdrożona w życie. Jest to proces ciągły i nigdy niekończący się. Polega na standaryzacji procesów wytwórczych, tworzeniu infrastruktury sieciowej łączącej systemy sterowania maszyn oraz pozyskiwaniu danych z maszyn i procesów produkcyjnych. Celem takiej standaryzacji jest objęcie nią wszystkich maszyn, składających się na linię produkcyjną. Wykorzystanie jednolitych standardów, na przykład transmisji danych, przyczynia się do uproszczenia ich budowy i zwiększenia ich niezawodności.

5. **Zaawansowany sprzęt do wizualizacji, pomiarów i monitoringu.** Jest to sprzęt w postaci tradycyjnych interfejsów HMI, laptopów i ekranów dotykowych, tabletów i coraz częściej smartfonów. W kontroli jakości można wykorzystać zaawansowane systemy wizyjne oparte na przemysłowych kamerach lub bardzo dobrze znane wszystkim sportowe kamery GoPro.

6. **Inne rozwiązania Przemysłu 4.0.** Obejmują one wszystkie aspekty zarówno samej produkcji, jak i służących jej narzędzi. Dotyczą wszystkich zamawianych materiałów, produkcji, produktów, fabryki, a także zarządzania energią elektryczną, flotą pojazdów, technologiami bezpieczeństwa czynnego i biernego a także cyberbezpieczeństwa.

7. **Predykcyjne utrzymanie ruchu.** Najlepiej, gdy ma to miejsce w całej sieci produkcyjnej. Sztuczna inteligencja oraz wirtualna rzeczywistość wykorzystywane powinny być przy wspomaganiu planowania produkcji. Zaawansowane algorytmy predykcyjne pozwalają na odpowiednio szybkie wykrywanie potencjalnych awarii i uszkodzeń, dzięki czemu czas przestojów całych linii produkcyjnych, wynikających z naprawy, są minimalizowane.

Celem podręcznika jest zapoznanie studentów z budową systemów elektromechanicznych w mechatronice. Jak wynika z syllabusa, po ukończonym kursie student będzie potrafił identyfikować elementy systemów mechatronicznych, pozna zasadę działania typowych

elementów, wchodzących w skład tych systemów, oraz poszerzy wiedzę związaną z mechatroniką.

W rozdziale pierwszym podręcznika opisano główne założenia i elementy składowe Przemysłu 4.0. Oparto się na opracowaniach przygotowanych przez duże koncerny jak Bosch oraz firmy konsultingowe jak PwC [36] [37]. W rozdziale tym zamieszczone zostało również wprowadzenie do czwartej rewolucji przemysłowej w Europie i w Polsce.

Rozdział drugi poświęcono elektromechanicznym systemom, obecnym w najnowszych obrabiarkach sterowanych numerycznie.

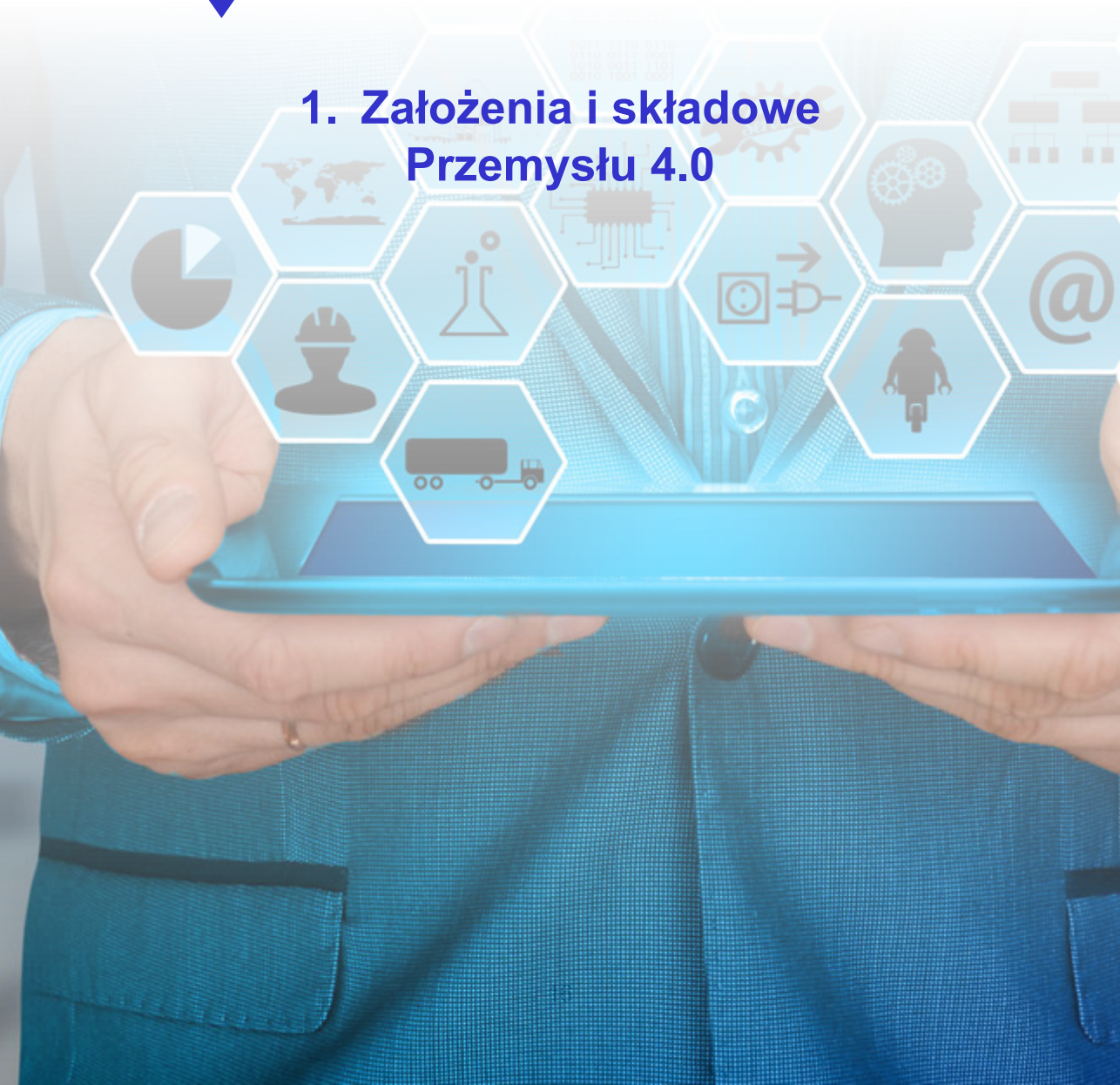
Celem trzeciego rozdziału podręcznika było przedstawienie i praktyczne zastosowanie metod pomiaru i zwiększania efektywności maszyny rolowej do pakowania próżniowego. Dalszą część rozdziału poświęcono konstrukcjom maszyn rolowych do pakowania próżniowego. Opisano ich budowę oraz sposób diagnostyki. Rozdział ten jest rozdziałem praktycznym, poświęconym zwiększeniu efektywności maszyny rolowej do pakowania próżniowego. Udowodniono, że stosując wybrane metody Lean Management można rzeczywiście uzyskać większą sprawność i niezawodność pracy maszyny i w ten sposób uzyskać przewagę nad konkurencją.

W rozdziale czwartym zawarto opis budowy innowacyjnej kruszarki do betonu. Dokonano analizy komponentów składowych takiej zaawansowanej linii technologicznej. Skupiono się na charakterystyce elementów elektromechanicznych oraz sposobie sterowania nimi.

W rozdziale piątym zawarto zaś analizę budowy systemu sekwencyjnego wtrysku gazu LPG do silnika benzynowego. Podobnie, jak w poprzednich rozdziałach, zostanie dokonana analiza budowy i działania najważniejszych systemów elektromechanicznych występujących w takim systemie. Zwrócono uwagę na trendy rozwojowe w tym obszarze, wynikające z ciągle zwiększających się wymogów w obszarze zmniejszenia emisji spalin z pojazdów.

Autor zachęca do uważnego przestudiowania podręcznika oraz towarzyszącego mu case study, który stanowi odrębny podręcznik. Po nabyciu wiedzy teoretycznej dla studentów przygotowano szereg ćwiczeń do wykonania w laboratorium. W instrukcji opisano dokładnie przebieg tychże ćwiczeń. Każdy rozdział zakończony jest pytaniami kontrolnymi w postaci testów.

1 2 3 4 5



1. Założenia i składowe Przemysłu 4.0

1.1. Rewolucje przemysłowe w historii

W historii ludzkości istniały cywilizacje mniej lub bardziej rozwinięte, które wpływały na ogólny poziom życia ludzi. Miało to miejsce w wyniku rozwoju technologicznego i dostarczania ludziom przedmiotów i urządzeń w znaczny sposób ułatwiających i mechanizujących wykonywaną przez nich pracę. Wczesne mechanizmy wykorzystywały proste elementy mechaniczne takie jak koło oraz źródła ich napędu w postaci potoku przepływającej wody. Najbardziej genialnym konstruktorem renesansowym w tym obszarze był bez wątpienia Leonardo da Vinci.

Pierwsze elementy elektromechaniczne pojawiły się dopiero w XIX wieku w wyniku odkryć Volty oraz Faradaya. Chyba najbardziej znanym na świecie naukowcem kojarzonym z szybkim wdrażaniem na rynek urządzeń elektromechanicznych był Tomasz Edison. Żył on w tym samym czasie co inny geniusz elektrotechniczny Nikola Tesla. Rywalizacja tych dwóch indywidualności przyczyniła się do wielu odkryć i opracowań naukowych. Wiele z nich zostało wdrożonych na rynek i jest wykorzystywanych do dzisiaj.

Rozwój przemysłu obejmuje nie tylko opracowywanie i ulepszanie maszyn tak, aby były coraz bardziej efektywne. Potrzebne są także zmiany w organizacji pracy firm produkcyjnych. Takie decydujące zmiany w rozwoju przemysłu światowego nazywane są rewolucjami przemysłowymi [38]. Przedstawiono je za pomocą infografiki, jak i krótkiego opisu, na rysunku 1.1. Obecnie żyjemy w trakcie trwania czwartej rewolucji przemysłowej, która jest nazywana Przemysłem 4.0 i wykorzystuje sieci przesyłania informacji, w tym Internet.



Rys. 1.1. Rewolucje przemysłowe [47].

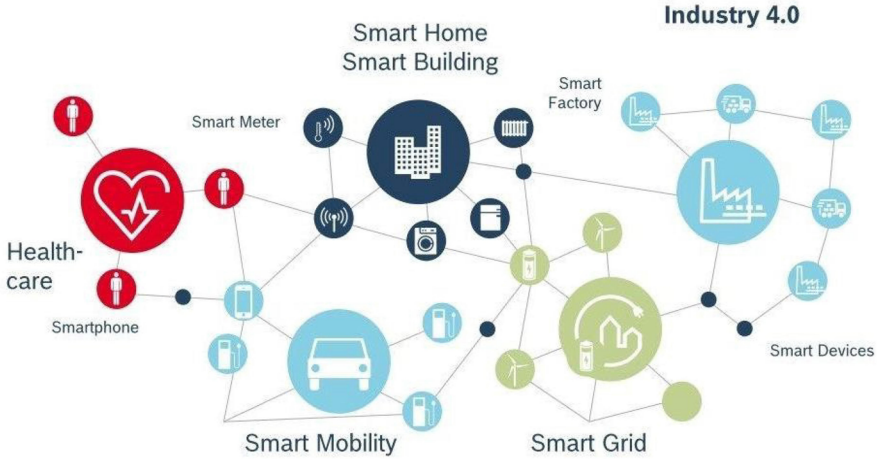
Wiele osób zastanawia się, skąd pochodzi nazwa **Przemysłu 4.0**? Dlaczego mówi się o **czwartej rewolucji przemysłowej**? W dotychczasowej historii rozwoju przemysłu nowe technologie już trzy razy fundamentalnie zmieniały zasady funkcjonowania fabryk produkcyjnych a tym samym całych społeczeństw [47]:

- **Pierwsza rewolucja przemysłowa zwana Przemysłem 1.0**. Polegała na mechanizacji produkcji w wyniku wynalezienia i wdrożenia silnika parowego. Wprowadziło to przemysł produkcyjny w erę przemysłową.
- **Druga rewolucja przemysłowa zwana Przemysłem 2.0**. Polegała na elektryfikacji, która wyparła silniki parowe z zakładów produkcyjnych i zapewniła automatyzację masowej produkcji na liniach produkcyjnych.
- **Trzecia rewolucja przemysłowa zwana Przemysłem 3.0**. Polegała na cyfryzacji w wyniku zastosowania w produkcji zaawansowanych maszyn cyfrowych. Rozwijane od lat 50. XX wieku komputery i układy przetwarzania danych dały możliwość precyzyjnego sterowania maszynami produkcyjnymi. Dzięki efektywnemu sterowaniu możliwe było uzyskanie coraz większej wydajności maszyn, zwiększenie ich precyzji i elastyczności w dostosowywaniu produktów do zmieniających się potrzeb klientów. Sam proces cyfryzacji powodował osiąganie coraz wyższych stopni automatyzacji poszczególnych linii technologicznych oraz całych fabryk. Rozwijano i wdrażano kompletne systemy planowania i kontroli produkcji, których celem była koordynacja działań w obrębie produkcji dóbr i towarów.
- **Czwarta rewolucja przemysłowa zwana Przemysłem 4.0**. Polega na integracji systemów i tworzeniu sieci. Przemysł 4.0 integruje ludzi oraz sterowane cyfrowo maszyny z Internetem i technologiami informacyjnymi. Każde ogniwo w procesie produkcyjnym jest dobrze znane, identyfikowalne oraz podlega monitoringowi i sterowaniu. Materiały produkowane lub wykorzystywane do produkcji mogą być w łatwy sposób zidentyfikowane. Poszczególne maszyny, tworzące linie przetwórcze i produkcyjne, mogą niezależnie komunikować się między sobą oraz z operatorami. Przepływ informacji można określić jako pionowy i dwukierunkowy. Poszczególne komponenty wysyłają informacje do działu IT przedsiębiorstwa oraz z działu IT do komponentów. Ten drugi kierunek przepływu informacji jest realizowany w poziomie: pomiędzy maszynami zaangażowanymi w proces produkcji a systemem produkcyjnym przedsiębiorstwa.

Funkcje Przemysłu 4.0 mają zatem na celu połączenie świata rzeczywistego maszyn produkcyjnych ze światem wirtualnym Internetu za pomocą technologii informacyjnych. Ludzie, maszyny oraz systemy IT automatycznie wymieniają informacje w trakcie trwania procesu produkcyjnego. Ma to miejsce w obrębie fabryki z wykorzystaniem różnych systemów IT w niej działających. Przemysł 4.0 obejmuje nie tylko linie produkcyjne, ale cały łańcuch wartości: od złożenia zamówienia i dostarczenia komponentów dla trwającej produkcji, aż do wysyłki towaru do klientów i usług posprzedażnych [39].

Środowisko Przemysłu 4.0 (ang. *Industry 4.0*) wspiera załogę pracującą w firmie, zapewniając dostęp do praktycznie każdej przydatnej informacji w dowolnym czasie, z dowolnego miejsca. Umożliwia to bardziej ekonomiczną produkcję zindywidualizowanych wyrobów i krótkich serii produkcyjnych (tzw. *Mass Customization*) [35]. Firmy, które wdrożyły założenia Przemysłu 4.0 są w stanie obniżyć koszty produkcji i w elastyczny sposób reagować na zmieniające się dynamicznie potrzeby i wymagania klientów. W ten sposób firmy mogą zyskać zdecydowaną przewagę nad innymi podmiotami, działającymi w bardziej tradycyjny sposób.

Przemysł 4.0 może być również traktowany w szerszym kontekście, jako element składowy Internetu Rzeczy. Inteligentne fabryki są uzupełnieniem nowej gamy inteligentnych technologii związanych z mobilnością, budynkami czy Smart Grid. Zależności pomiędzy tymi elementami przedstawiono na rysunku 1.2.



Rys. 1.2. Internet Reczy oraz jego składowe [47].

1.2. Łączenie komponentów i maszyn w sieci

Bardziej ekonomiczna produkcja oraz szybsza reakcja producenta na zmieniające się wymagania klientów są możliwe dzięki usieciowieniu i ciągłej wymianie danych w poszczególnych obszarach działalności przedsiębiorstwa.

Innowacyjne linie produkcyjne z funkcjami Przemysłu 4.0 są tak zaprojektowane, że czas konieczny na ich dostosowanie do nowych wymogów jest zredukowany do minimum. Oznacza to, że linie produkcyjne Przemysłu 4.0 cechują się bardzo dużą elastycznością. Elastyczność i szybkość produkcji przejawiają się w tym, że ma miejsce indywidualizacja produktów zorientowana na klienta (patrz rysunek 1.3). Jest to możliwe z tego względu, że zasoby produkcyjne są efektywne i skalowalne. Wynika to z faktu, że bazują na otwartych standardach o wysokim stopniu modularności. Taka budowa przyczynia się również do łatwego zarządzania produkcją wielu wariantów produktów dzięki integracji systemów produkcyjnych.

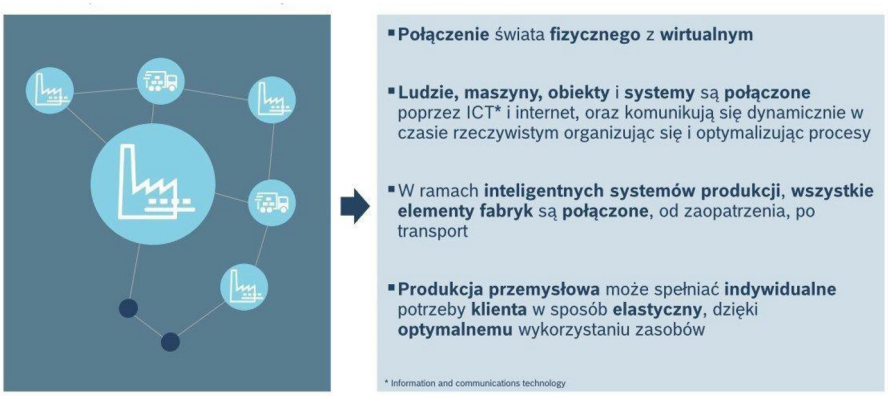
Fabrykę Przemysłu 4.0 charakteryzuje również efektywność. Oznacza ona produkcję małoseryjną z zaletami produkcji masowej. Brzmi to niewiarygodnie, ale jest to rzeczywiście możliwe do osiągnięcia, jak to zostanie wykazane w dalszej części pordęcznika na konkretnych przykładach. W fabryce takiej wszystkie procesy oraz zapasy są zoptymalizowane oraz występuje duża dostępność produkcji bazująca na inteligentnej analizie danych. Ostatecznie, fabrykę Przemysłu 4.0 charakteryzuje również konkurencyjność. Wynika ona z niskich kosztów produkcji oraz dużego potencjału innowacyjnego dzięki połączeniu ze światem IT.



Rys. 1.3. Cele Przemysłu 4.0 [48].

Innowacyjne fabryki wykorzystują innowacyjne procesy produkcyjne i innowacyjne narzędzia. Narzędzia produkcyjne posiadają możliwość samoczynnej modyfikacji. Ich działanie może przystosować się do nowych zadań produkcyjnych w wyniku zastosowania odpowiedniego polecenia programu do obsługi tych maszyn. Polecenie automatycznie aktywuje także moduły potrzebne do wykonania innowacyjnego procesu i dezaktywuje wszystkie niepotrzebne. Dzięki takim funkcjom producenci są w stanie realizować zamówienia niskoseryjne, a nawet produkować pojedyncze sztuki po kosztach standardowej produkcji seryjnej. W fabryce Przemysłu 4.0 możliwe jest zwiększenie wydajności produkcji. Wszystkie przypadki obniżania efektywności oraz marnotrawstwa są identyfikowane i eliminowane dzięki większej przejrzystości łańcucha wartości.

Na rysunku 1.4 przedstawiono połączenia występujące w Przemyśle 4.0. Występuje tam przede wszystkim **połączenie świata rzeczywistego z wirtualnym**. Ludzie, maszyny, obiekty i systemy są połączone poprzez ICT i Internet. **Komunikują się między sobą w sposób dynamiczny w czasie rzeczywistym, same organizując się i optymalizując zachodzące procesy**. W ramach inteligentnych procesów produkcyjnych wszystkie elementy składowe fabryk są ze sobą połączone, począwszy od zaopatrzenia aż po transport wyrobów finalnych. Produkcja przemysłowa z funkcjami Przemysłu 4.0 może w łatwy i szybki sposób spełniać indywidualne potrzeby klientów. Dzieje się to w sposób elastyczny dzięki optymalnemu wykorzystaniu posiadanych zasobów.



Rys. 1.4. Połączenia w Przemyśle 4.0 [47].

Nowe, innowacyjne systemy produkcji wykazują ponadto **wyższy stopień integracji funkcjonalnej**. Także dane generowane przez te systemy stają się łatwiej dostępne, a przez to użyteczne. W związku z tym Przemysł 4.0 pozwala tworzyć nowe modele biznesowe. Wyzwanie polega na dostrzeżeniu tych nowych modeli i jak najszybszym ich wdrożeniu oraz skoncentrowaniu się na wykorzystaniu korzyści ekonomicznych, jakie oferują.

Rozproszone, inteligentne komponenty automatyki to komponenty wyposażone we własne układy przetwarzania danych i oprogramowanie. Rozproszone, inteligentne napędy potrzebują jedynie polecenia z systemu sterującego, aby wykonać określony ruch lub sekwencję ruchów. Samodzielnie kontrolują wszystkie operacje. Im więcej funkcji zostanie przeniesionych do oprogramowania, tym elastyczniej elementy wykonawcze potrafią adaptować się do nowych wymogów. Przystosowanie maszyn do nowych warunków nie odbywa się już, tak jak dawniej, za pomocą wkrętaków, lecz poleceń programu.

Inteligencja rozproszona w Przemyśle 4.0 wymaga otwartych standardów w obszarach komunikacji i oprogramowania. Zdaniem wielu osób, Industry 4.0 oznacza zmierzch standardów będących własnością poszczególnych producentów. Stąd też wiele firm wspiera otwarte technologie, czego przykładem jest Open Core Engineering firmy Bosch Rexroth, a także Ethernet, który jest podstawową

technologią komunikacyjną nie tylko w świecie IT i biznesu, ale też pomiędzy nimi, a warstwą maszyn i automatyki przemysłowej.

W przeciwieństwie do wcześniejszych koncepcji, jak np. CIM (ang. *Computer Integrated Manufacturing*), Przemysł 4.0 nie ma na celu tworzenia fabryk, w których ludzie zostają zastąpieni przez roboty. Przemysł 4.0 sprawia, że fabryki stają się lepszym miejscem pracy. Ludzie są niezmiennie najważniejsi, a dzięki nowym rozwiązaniom otrzymają znacznie większe wsparcie niż do tej pory [11].

Przemysł 4.0 to nie abstrakcyjna koncepcja, ale **realne technologie i wdrożenia**. Przykładowo firma Bosch Rexroth na linii produkcyjnej w Hamburgu montuje ponad 200 różnych wariantów zaworów hydraulicznych przy użyciu jednej uniwersalnej linii produkcyjnej bez konieczności modyfikowania maszyn.

Poszczególne elementy oraz etapy produkcji są identyfikowane za pomocą chipów RFID (ang. *Radio-Frequency Identification*). W ten sposób dziewięć stacji linii produkcyjnej rozpoznaje, jaki kolejny krok jest konieczny w procesie montażu. System sterowania maszyny PLC (ang. *Programmable Logic Controller*) otrzymuje odpowiedne informacje z serwera. W procesie zindywidualizowanej produkcji do każdej stacji dostarczana jest wymagana liczba potrzebnych części.

Dodatkowo linia produkcyjna oferuje także wsparcie dla pracowników. Pracownik logując się na danym stanowisku roboczym za pomocą technologii Bluetooth widzi na ekranie instrukcje dotyczące danego wariantu produktu, a także kolejny krok – w języku preferowanym przez pracownika oraz w sposób dostosowany do jego kwalifikacji. To także ma wpływ na wyższą jakość produktu finalnego.

Tak wygląda Przemysł 4.0 w praktyce: człowiek, maszyna i proces są ze sobą zintegrowane [4]. W efekcie otrzymujemy elastyczną i ekonomiczną produkcję 200 wariantów zaworów hydraulicznych. Jeśli porównać to liczbowo do dotychczasowych linii produkcyjnych, nowa linia oznacza o 10% wyższą wydajność produkcji i o 30% niższe rezerwy materiałów. Przykładowa linia produkcyjna zgodna z Przemysłem 4.0 została przedstawiona na rysunku 1.5. Na linię produkcyjną składają się autonomiczne stacje robocze, które są połączone w sieć. Występuje tam kilka wariantów komunikacji i transmisji danych. Należą do nich sieci WLAN, RFID oraz Bluetooth. Konfiguracja stacji jest możliwa do przeprowadzenia przez przeszkolonego pracownika po jego

identyfikacji. Na linii produkcyjnej ma miejsce ciągłe śledzenie produktu oraz zarządzanie awariami. Interaktywna komunikacja (*smart connected*) oznacza integrację z BPS/CIP (ang. *Bosch Production System/Critical Infrastructure Protection*). Występuje tam również pionowa integracja zadań z wykorzystaniem oprogramowania SAP-MES (ang. *Systems Applications and Products in Data-Manufacturing Execution System*). W przedmiotowej linii produkcyjnej w ciągu roku uzyskano o 10% większą wydajność. W 2014 roku przygotowanie produkcji trwało 450 sekund. Rok później nie zabiera już wcale czasu. Przed wdrożeniem funkcji Przemysłu 4.0 zapasy przebywały w magazynie 3 dni, zaś po wdrożeniu dzień krócej. Czas trwania cyklu produkcyjnego został skrócony z 474 sekund do 438 sekund.



Rys. 1.5. Linia produkcyjna zgodna z Przemysłem 4.0 [47].

1.3. Identyfikowalne i komunikowalne obiekty

Aby zaliczyć dane obiekty do urządzeń **Internetu Rzeczy** powinny być one identyfikowalne i posiadać możliwość komunikacji z innymi urządzeniami tego typu. Identyfikowalność to nic innego, jak precyzyjne określenie położenia geograficznego i rodzaju obiektu, z jakim mamy do czynienia. Dzięki identyfikowalności jest możliwe zabezpieczenie obiektu. Ma to wpływ na usprawnienie procesu produkcyjnego oraz późniejszą redukcję kosztów wycofania produktu z użytku. Znakowanie produktów w chwili obecnej jest bardzo powszechne i niezwykle ważne.

Systemy znakowania miały na początku zastosowanie jedynie w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. Niezawodność maszyn znakujących oraz sama trwałość takiego znakowania sprawiają, że jest ono wykorzystywane w różnorodnych gałęziach przemysłu w celu zapewnienia śledzenia produktów. Za pomocą kodów kreskowych i QR kodów znakowane są wszelkiego rodzaju przesyłki. Laserowo znakowane są komponenty motoryzacyjne i lotnicze, które wymagają większej trwałości znakowania. Znakowanie bez problemu może zostać wykonane za pomocą technologii ubytkowych na maszynach sterowanych numerycznie CNC (ang. *Computerized Numerical Control*) oraz wydruków 3D. Znakowanie wymaga urządzeń do odczytu informacji w nim zawartych oraz przesłania ich do platform lub serwerów chmurowych, gdzie możliwe jest ich wyświetlenie i wykorzystanie znakowanych informacji.

Zapewnienie identyfikowalności różnych produktów jest w obecnych czasach priorytetem w wielu dziedzinach przemysłu. Umożliwienie śledzenia produktów i urządzeń technicznych od momentu ich wyjścia z fabryki przez cały cykl życia jest możliwe dzięki unikalnemu identyfikatorowi UID (ang. *User ID*) połączonemu z bazą danych. Ogromne znaczenie ma to w dziedzinie motoryzacji, gdzie obowiązują restrykcyjne wymogi unijne w odniesieniu do recyklingu pojazdów.

Drugą cechą **obiektów Internetu Rzeczy jest ich komunikowalność**. Oznacza ona komunikację dwustronną urządzenia z siecią za pomocą jednego z przewodowych lub bezprzewodowych systemów transmisji danych. Możliwa jest również bezpośrednia komunikacja urządzeń między sobą.

Do systemów przewodowej transmisji danych zaliczamy:

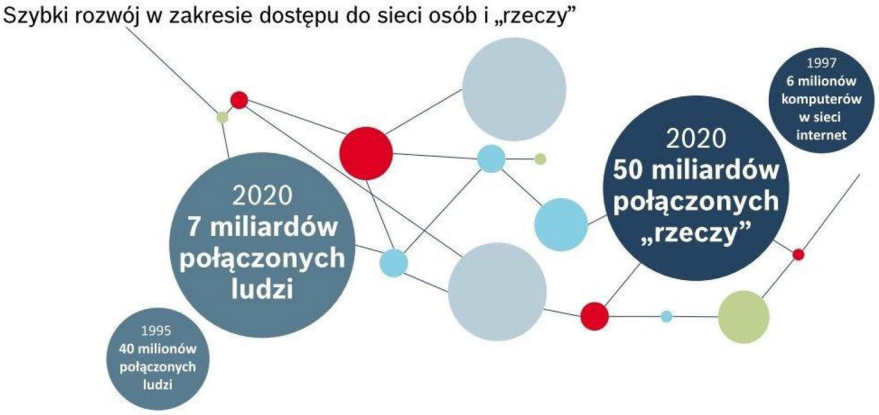
- LAN (ang. *Local Area Network*),
- CAN (ang. *Controller Area Network*),
- RS-232 (ang. *Recommended Standard 32*).

Do systemów bezprzewodowej transmisji danych zaliczamy:

- Bluetooth,
- Wi-Fi to mniej więcej to samo co WLAN (*Wireless Local Area Network*), czyli bezprzewodowa sieć lokalna.

Internet Rzeczy jest ściśle powiązany z Przemysłem 4.0. Podobieństwo dotyczy wymiany informacji pomiędzy urządzeniami, systemami i ludźmi. Internet Rzeczy stwarza nowe możliwości w niemal wszystkich aspektach życia. Samochody zdolne do wymiany ze sobą danych mogą zapobiegać wypadkom drogowym oraz korkom. Jednostki sterujące urządzeń grzewczych, zdolne wykrywać odpowiednio wcześniej przyjazd właściciela do domu, są w stanie odpowiednio wcześniej podwyższać temperaturę w domu. Inteligentne lodówki są w stanie, na podstawie znakowania, kontrolować stan zapasów i automatycznie generować zamówienia w sklepie internetowym. Z każdym rokiem urządzeń z takimi innowacyjnymi funkcjami przybywa w dużym tempie (patrz także rysunek 1.6).

IoT (ang. *Internet of Things*) jest chyba najbardziej przyszłościową dziedziną rozwoju technologicznego i nie trzeba już chyba nikogo do tego przekonywać. W tej chwili na świecie jest więcej urządzeń podłączonych do sieci, niż mieszkańców Ziemi, a ich liczba wciąż rośnie [52]. Według szacunków Google'a, w 2020 roku rynek Internetu Rzeczy był wart 26 mld $.



Rys. 1.6. Potencjał rozwoju IoT [52].

1.4. Ćwiczenia



1.4.1. Ćwiczenie 1

Znajdź komercyjny przykład zaawansowanej linii przetwórczej, posiadającej funkcje Przemysłu 4.0 i dokonaj ich krótkiej charakterystyki. Wyszczególnij elementy elektromechaniczne w przedmiotowej linii.

.....
.....
.....
.....
.....

1.4.2. Ćwiczenie 2

Znajdź komercyjny przykład zaawansowanej linii przetwórczej, posiadającej funkcje Internetu Rzeczy i dokonaj ich krótkiej charakterystyki. Wyszczególnij elementy elektromechaniczne w przedmiotowej linii.

.....
.....
.....
.....

1.4.3. Ćwiczenie 3

Znajdź komercyjny przykład pojazdu posiadającego funkcje Internetu Rzeczy i dokonaj ich krótkiej charakterystyki. Wyszczególnij elementy elektromechaniczne w przedmiotowym pojeździe.

.....
.....
.....
.....



1.4.4. Ćwiczenie 4

Znajdź ofertę firmy wspomagającej inne firmy w transformacji cyfrowej z wykorzystaniem założeń Przemysłu 4.0. Dokonaj analizy narzędzi i elementów elektromechanicznych wykorzystywanych w wybranej branży.

.....
.....
.....

.....
.....
.....

.....

.....
.....
.....
.....
.....

1.4.5. Ćwiczenie 5

Znajdź ofertę firmy wspomagającej inne firmy w transformacji cyfrowej z wykorzystaniem założeń Internetu Rzeczy. Dokonaj analizy narzędzi i elementów elektromechanicznych wykorzystywanych w wybranej branży.

.....
.....
.....

.....
.....
.....

.....
.....

.....
.....

1.5. Pytania testowe



1. Przemysł 1.0 opierał się na:

a. Elektryfikacji.
b. Mechanizacji.
c. Cyfryzacji.

2. Przemysł 2.0 opierał się na:

a. Elektryfikacji.
b. Mechanizacji.
c. Cyfryzacji.

3. Przemysł 3.0 opierał się na:

a. Elektryfikacji.
b. Mechanizacji.
c. Cyfryzacji.

4. Przemysł 4.0 opiera się na:

a. Elektryfikacji.
b. Cyfryzacji.
c. Integracji systemów i tworzeniu sieci.

5. Konkurencyjność Przemysłu 4.0 to:

a. Zoptymalizowane procesy i zapasy.
b. Niskie koszty produkcji.
c. Indywidualizacja produktów i zorientowanie na klienta.

6. Elastyczność Przemysłu 4.0 to:

a. Zoptymalizowane procesy i zapasy.
b. Niskie koszty produkcji.
c. Indywidualizacja produktów i zorientowanie na klienta.

7. Efektywność Przemysłu 4.0 to:

a. Zoptymalizowane procesy i zapasy.
b. Niskie koszty produkcji.
c. Indywidualizacja produktów i zorientowanie na klienta.



8. Konkurencyjność Przemysłu 4.0 to:

a. Duży potencjał innowacyjny dzięki połączeniu produkcji ze światem IT.
b. Produkcja małoseryjna z zaletami produkcji masowej.
c. Efektywne i skalowalne zasoby produkcyjne.

9. Efektywność Przemysłu 4.0 to:

a. Duży potencjał innowacyjny dzięki połączeniu produkcji ze światem IT.
b. Produkcja małoseryjna z zaletami produkcji masowej.
c. Efektywne i skalowalne zasoby produkcyjne.

10. Elastyczność Przemysłu 4.0 to:

a. Duży potencjał innowacyjny dzięki połączeniu produkcji ze światem IT.
b. Produkcja małoseryjna z zaletami produkcji masowej.
c. Efektywne i skalowalne zasoby produkcyjne.

11. Konkurencyjność Przemysłu 4.0 to:

a. Duża dostępność produkcji, bazująca na inteligentnej analizie danych.
b. Zabezpieczenie aktualnych lokacji fabryk dzięki zwiększeniu ich konkurencyjności.
c. Łatwe zarządzanie produkcją wielu wariantów produktów dzięki integracji systemów produkcyjnych.

12. Efektywność Przemysłu 4.0 to:

a. Duża dostępność produkcji, bazująca na inteligentnej analizie danych.
b. Zabezpieczenie aktualnych lokacji fabryk dzięki zwiększeniu ich konkurencyjności.
c. Łatwe zarządzanie produkcją wielu wariantów produktów dzięki integracji systemów produkcyjnych.



13. Elastyczność Przemysłu 4.0 to:

a. Duża dostępność produkcji, bazująca na inteligentnej analizie danych.
b. Zabezpieczenie aktualnych lokacji fabryk dzięki zwiększeniu ich konkurencyjności.
c. Łatwe zarządzanie produkcją wielu wariantów produktów dzięki integracji systemów produkcyjnych.

14. Inteligentne komponenty automatyki:

a. Nie posiadają własnych układów przetwarzania danych.
b. Posiadają własne układy przetwarzania danych.
c. Nie są stosowane w Przemyśle 4.0.

15. Koncepcja CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) zakłada, że:

a. Należy zastąpić ludzi robotami.
b. Człowiek jest najważniejszy.
c. Nie należy budować inteligentnych fabryk.

16. Koncepcja Przemysłu 4.0 zakłada, że:

a. Należy zastąpić ludzi robotami.
b. Człowiek jest najważniejszy.
c. Nie należy budować inteligentnych fabryk.

17. System sterowania maszyny automatycznej jest oparty na sterownikach:

a. CAD.
b. CAM.
c. PLC.

18. Cechą komponentów stanowiących elementy Internetu Rzeczy jest:

a. Anonimowość.
b. Identyfikowalność.
c. Brak możliwości komunikacji.



19. UID to:

a. Sterownik.
b. Unikalny numer indentyfikacyjny.
c. System łączności przewodowej.

20. PLC to:

a. Sterownik.
b. Unikalny numer indentyfikacyjny.
c. System łączności przewodowej.

21. Sieć LAN zaliczamy do:

a. Jednostronnego systemu transmisji danych.
b. Dwustronnego systemu transmisji danych.
c. Trójstronnego systemu transmisji danych.

22. IoT odnosi się do:

a. Informacji o Technologiach.
b. Internetu Usług.
c. Internetu Rzeczy.

23. RFID to:

a. Systemy cyberfizyczne pozwalające na budowę inteligentnych sieci kontaktów pomiędzy ludźmi, produktami i zasobami produkcyjnymi.
b. Odczyt danych z etykiet lub mikroprocesorów za pomocą komunikacji na falach o częstotliwościach radiowych.
c. Cyfrowa wizualizacja niewidocznych lub planowanych elementów na rzeczywistych obiektach.

24. API to:

a. Moduł wykonawczy w systemach cyberfizycznych.
b. Autonomiczne pojazdy.
c. Program komunikujący się z różnymi rodzajami baz danych.

25. Termin *Smart Production* odnosi się do:

a. Produkcji spersonalizowanej.
b. Produkcji wielkoseryjnej.
c. Nieużywanego już systemu produkcyjnego



26. Pojęcie *Human-centered automation*:

a. Jest charakterystyczną cechą koncepcji CIM.
b. Jest charakterystyczną cechą Przemysłu 4.0.
c. Oznacza człowieka przy maszynie.

27. CPS to:

a. Systemy cyberfizyczne pozwalające na budowę inteligentnych sieci kontaktów pomiędzy ludźmi, produktami i zasobami produkcyjnymi.
b. Odczyt danych z etykiet lub mikroprocesorów za pomocą komunikacji na falach o częstotliwościach radiowych.
c. Cyfrowa wizualizacja niewidocznych lub planowanych elementów na rzeczywistych obiektach.

28. NFC to:

a. Systemy cyberfizyczne pozwalające na budowę inteligentnych sieci kontaktów pomiędzy ludźmi, produktami i zasobami produkcyjnymi.
b. Zbliżeniowa komunikacja pomiędzy dwoma elementami.
c. Cyfrowa wizualizacja niewidocznych lub planowanych elementów na rzeczywistych obiektach.

29. *Augmented Reality* to:

a. Systemy cyberfizyczne pozwalające na budowę inteligentnych sieci kontaktów pomiędzy ludźmi, produktami i zasobami produkcyjnymi.
b. Zbliżeniowa komunikacja pomiędzy dwoma elementami.
c. Cyfrowa wizualizacja niewidocznych lub planowanych elementów na rzeczywistych obiektach.

30. Pierwszy polski inteligentny i autonomiczny system decyzyjny samodzielnie sterujący produkcją to:

a. APOsystem.
b. POLsystem.
c. IPOsystem.

2. Systemy elektromechaniczne w obrabiarkach sterowanych numerycznie



2.1. Mechatronika w obrabiarkach sterowanych numerycznie

Zagadnienia **mechatroniki**, rozumianej jako **sposób nadawania urządzeniom technicznym nowej i doskonalenia już istniejącej funkcjonalności** rozważane są przez różnych badaczy od dłuższego czasu. Pojęcie mechatroniki istnieje w języku technicznym od ponad pięćdziesięciu lat. To tyle, ile ma historia programowalnych sterowników logicznych (PLC), stosowanych od początków swojego istnienia do sterowania maszynami technologicznymi, współcześnie dość często w połączeniu z komputerami osobistymi klasy PC (ang. *Personal Computer*) [34].

Z punktu widzenia mechatroniki **obrabiarka sterowana numerycznie** z jednej strony stanowi niezwykle wdzięczny obiekt badań, łączący w swym działaniu zagadnienia: mechaniki, elektrotechniki, elektroniki i automatyki, czy wreszcie informatyki stosowanej. Z drugiej jednak strony nie bez powodu zwykło się określać obrabiarki CNC „arystokratami" pośród obiektów sterowania – choćby z uwagi na bardzo wysoki poziom skomplikowania różnorodnych procesów (tak mechanicznych, jak i elektrycznych), zachodzących podczas obróbki skrawaniem. Współcześnie dynamiczny rozwój techniki mikroprocesorowej sprawił, iż doskonałe z punktu widzenia konstrukcyjnego rozwiązania konwencjonalnych maszyn obróbczych (frezarek, tokarek) można, w mechatroniczny sposób, przekształcić w urządzenia wielofunkcyjne o nowych i/lub poprawionych właściwościach [26].

Wraz z rozwojem mechatroniki, kilkanaście lat temu do języka technicznego weszło określenie **układów sterowania o otwartej architekturze, bądź wprost otwartych układów sterowania** [32] [23]. Jak rozumiano to pojęcie, gdy się pojawiło, co oznaczało kilkanaście lat temu, a jak jest interpretowane współcześnie? Jaki jest związek mechatroniki, systemów sterowania o otwartej architekturze i maszyn technologicznych, w tym obrabiarek wielofunkcyjnych? Niniejszy artykuł pokazuje ten związek, potwierdzając jednocześnie wyjątkowe korzyści, płynące dla użytkowników z tego powiązania. W otwartości systemów sterowania elastycznych systemów wytwarzania już od blisko dziesięciu lat upatrywano głównego kierunku ich rozwoju [44],

jednocześnie wykazując przewagę takiego rozwiązania nad systemami zamkniętymi, dedykowanymi dla jednego rodzaju procesu technologicznego.

W pracy [8] omówiono **możliwości inteligentnej diagnostyki frezarki sterowanej numerycznie**. Dzięki systemom o otwartej architekturze możliwa obecnie staje się integracja tego typu funkcjonalności już wewnątrz samego systemu. Z kolei w pracy [45] w dość interesujący sposób omówiono zagadnienie integracji stacji obróbczej z wyższymi warstwami zarządzania produkcją w przedsiębiorstwie na przykładzie nowego sposobu programowania obrabiarki z poziomu projektu w systemie CAM (ang. *Computer-Aided Manufacturing*). Zagadnienie to znacznie rozwinięto w pracy [31], wskazując na konieczność ujednolicenia (STEP-NC) projektowania procesów technologicznych, jak również programowania obrabiarek. Autorzy stawiają tezę, że zastosowanie standardu wymiany danych STEP-NC w przyszłości sprawi, iż maszyny technologiczne różnych producentów, będą bardziej „otwarte na siebie".

O mechatronicznym charakterze prac badawczych nad zagadnieniami związanymi z systemami sterowania o otwartej architekturze świadczyć może praca [33], w której w bardzo informatyczny sposób omówiono najważniejsze zagadnienia, związane z możliwościami rozbudowy jądra systemu operacyjnego sterownika CNC maszyny technologicznej. Prace [18] [17] [19] [3] utwierdzają czytelnika w przekonaniu, iż współczesna mechatronika układów obrabiarkowych to głównie prace, związane z nowymi rozwiązaniami w zakresie algorytmów sterowania układami napędowymi, diagnostyką procesów obróbczych oraz implementacją opracowywanych funkcjonalności w szybkich układach programowalnych, np. FPGA. Z kolei dzięki pracom, których wyniki zamieszczono w [6] [28], tworzone są kolejne funkcjonalności, bardzo istotne z punktu widzenia poprawy jakości obróbki skrawaniem. W pracach przeglądowych [27] [41] można znaleźć wiele informacji na temat trendów rozwojowych obrabiarek sterowanych numerycznie, jak również dowiedzieć się, nad jakimi problemami z obszaru obrabiarek wielofunkcyjnych pracują obecnie badacze z całego świata.

2.2. Elektromechaniczne elementy w obrabiarkach CNC

2.2.1. Mechatronika w obrabiarkach CNC

O mechatronicznym charakterze współczesnych maszyn technologicznych, a w szczególności **obrabiarek wielofunkcyjnych** świadczy sposób ich budowy, tak od strony sprzętowej, jak i programowej.

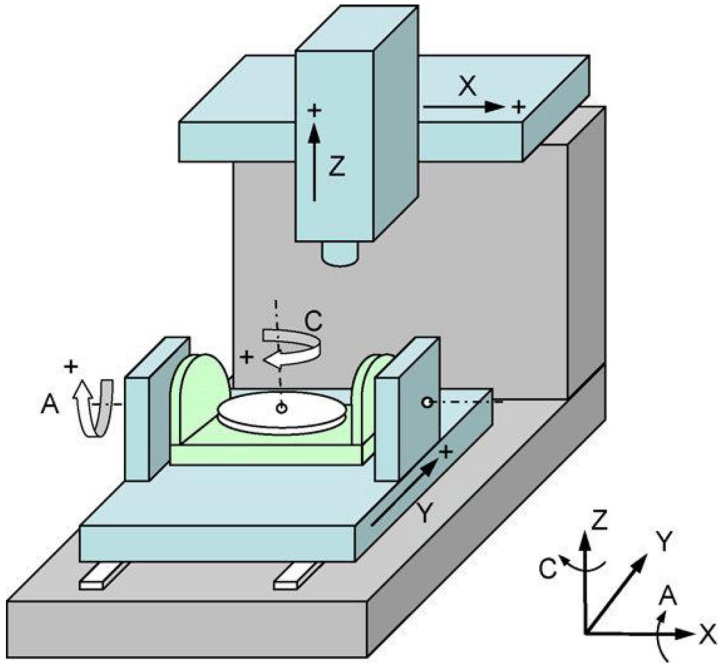
Obrabiarka CNC z jednej strony łączy wszystkie aspekty **automatyzacji procesów przemysłowych** (komunikacja w sieci urządzeń cyfrowych, sterowanie cyfrowe, sterowanie ruchem z użyciem serwonapędów, wizualizacja sterowanego procesu), z drugiej zaś **parametry obróbki skrawaniem** (w przypadku frezowania metali jest to dokładność na poziomie pojedynczych mikrometrów) sprawiają, iż zagadnienie poprawy jakości sterowania w tego typu układach stanowi bardzo atrakcyjny temat i nie lada wyzwanie [5].

Realizacja podstawowych funkcji systemu sterowania CNC sprowadza się do kilku czynności:

- włączenie zasilania,
- sprawdzenie komunikacji,
- inicjalizacja systemu CNC,
- inicjalizacja poszczególnych osi ruchu,
- zasilenie regulatorów w osiach,
- oczekiwanie na ruch/rozpoczęcie wykonywania programu obróbki,
- rozpoczęcie realizacji funkcji zawartych w programie,
- zakończenie wykonywania programu obróbki,
- obsługa maszyny w trybie pracy ręcznej,
- wizualizacja procesu obróbki,
- wymiana informacji z otoczeniem produkcyjnym,
- obsługa innych interfejsów komunikacyjnych poza tym, z użyciem którego komunikują się urządzenia w ramach samej maszyny.

To, co można zrobić w **otwartym systemie sterowania** dodatkowo (w porównaniu do dostępnych na rynku systemów CNC), poza realizacją funkcji zawartych w programie obróbki, stanowi o indywidualnych cechach opracowanego systemu.

Budowa obrabiarek sterowanych numerycznie jest bardzo podobna do obrabiarek konwencjonalnych [57]. Wyróżnikiem jest możliwość sterowania za pomocą komputera, który przekazuje „informacje" dotyczące obróbki w postaci sygnałów do odpowiednich obszarów maszyny. Poniżej, na rysunku 2.1, przedstawiono budowę przykładowej obrabiarki CNC o pięciu osiach swobody.



Rys. 2.1. Schemat budowy obrabiarki sterowanej numerycznie CNC o pięciu osiach [12].

Jak wyraźnie widać na rysunku 2.1 **w obrabiarce sterowanej numerycznie występują ruchy, które muszą być realizowane przez napędy liniowe i napędy o ruchu obrotowym**. Do takich zadań służą bardzo zaawansowane elementy elektromechaniczne. Napędy obrabiarek CNC muszą wykonywać ruchy złożone, dzięki którym możliwe jest wykonywanie zaawansowanych kształtów obrabianych przedmiotów. Najnowsze obrabiarki sterowane numerycznie o pięciu osiach są bardzo zaawansowanymi urządzeniami mechatronicznymi.

Obrabiarki sterowane numerycznie (CNC) w znacznym stopniu różnią się od obrabiarek konwencjonalnych. **Do ich cech charakterystycznych można zaliczyć [15]:**

- Posiadają wiele osi, które są sterowane numerycznie.
- Posiadają zazwyczaj niezależny napęd wszystkich osi: przesuwu i wrzeciona, suportów i uchwytów przedmiotów obrabianych. Napęd ten może być bezpośredni lub pośredni.
- Wykorzystują zazwyczaj serwonapędy i elektrowrzeciona.
- Są wyposażone w urządzenia z numerycznymi danymi wejściowymi informacji sterowniczych. Zazwyczaj są zapisane na nośnikach informacji w postaci kart pamięci, dysków twardych, itp.
- Są wyposażone w pośrednie i bezpośrednie systemy pomiarowe i kontrolne. Służą one przekazywaniu informacji zwrotnej o położeniu narzędzi i przedmiotu obrabianego do elektronicznej jednostki sterującej.
- Składają się zazwyczaj z charakteryzujących się niskim współczynnikiem tarcia przekładni i par kinematycznych tocznych z kulkowymi, krążkowymi, wałeczkowymi lub stożkowymi elementami tocznymi w postaci śrub tocznych, wózków jezdnych tocznych i prowadnic tocznych.
- Posiadają automatyczne urządzenia do wymiany narzędzi oraz podawania przedmiotów obrabianych i oddawania obrobionych.
- Są wyposażone w proste i efektywne systemy programowania, które posiadają dynamiczno-interaktywną symulację procesów zaprogramowanej obróbki. Dzięki temu możliwe jest wykrycie kolizji narzędzia z wrzecionem lub przedmiotem obrabianym.
- Posiadają system diagnostyki pokładowej w celu ciągłej diagnostyki najważniejszych zespołów oraz graficzne systemy wyświetlania błędów obrabiarek sterowanych komputerowo lub nawet całego systemu obróbkowego.

Maszyny sterowane numerycznie umożliwiają osiąganie większej wydajności obróbki w wyniku większej szybkości skrawania, krótkich czasów głównych, pomocniczych i przygotowawczo-zakończeniowych.

Do najważniejszych **czynników, wpływających na efektywność obróbki na maszynach sterowanych numerycznie**, zaliczamy [15]:

- Programowanie maszyn sterowanych numerycznie w biurze technologicznym.
- Możliwość programowania ręcznego bezpośredniego na maszynie.

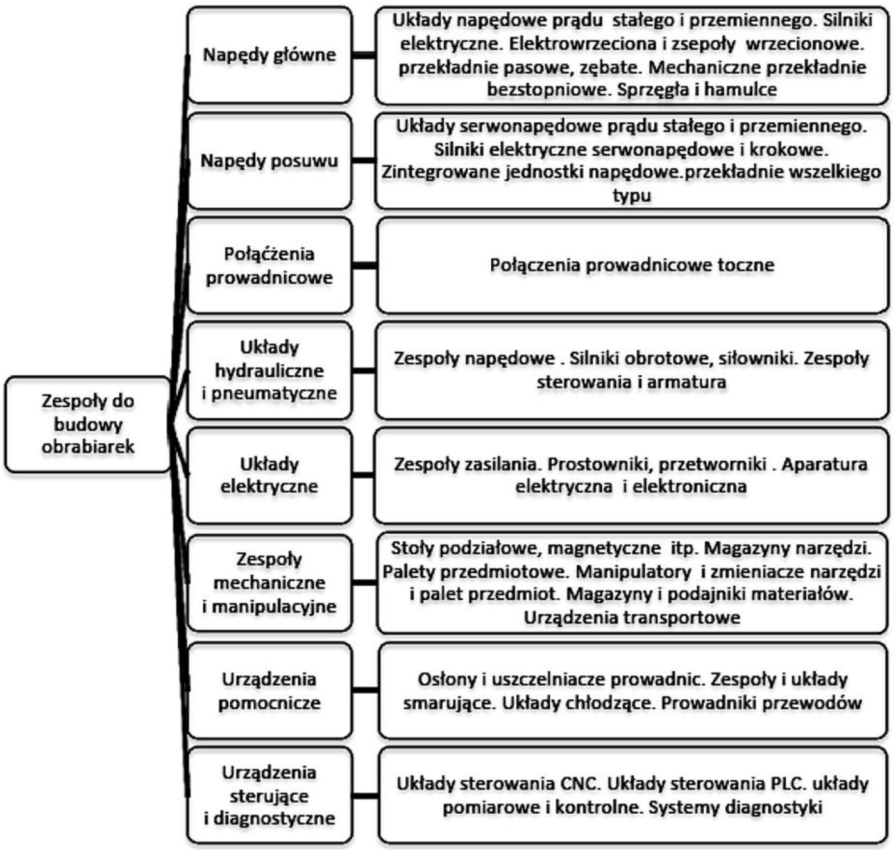
- Zwiększanie prędkości skrawania w wyniku rozwoju nowych materiałów skrawających oraz optymalne obciążenie stanowiska CNC.
- Możliwość zapisywania typowych przypadków obróbki specyficznych przedmiotów w formie podprogramów.
- Możliwość optymalizacji i symulacji programów sterowania cyfrowego w systemie.
- Automatyczne dosuwanie narzędzia do osiągnięcia wymaganego wymiaru końcowego.
- Uruchamianie wszystkich funkcji obrabiarki w trybie automatycznym oraz bezpośrednia interwencja po stwierdzeniu błędów czy zakłóceń.
- Sprawowanie automatycznego nadzoru nad obróbką wykonywanego przez sam układ sterowania (automatyczny pomiar i kontrola).
- Zastosowanie uniwersalnych narzędzi w systemach uchwytów.
- Ustawianie narzędzi poza obrabiarką bez negatywnego wpływu na czas pracy maszyny.

Ze względu na ograniczenie ingerencji pracownika w proces obróbczy, obrabiarka sterowana numerycznie pozbawiona jest elementów ręcznego napędu posuwów. Sanie obrabiarek napędzane są przez napędy i przekładnie śrubowe ruchów posuwowych. Wartości zrealizowanych przemieszczeń, wyznaczonych przez układy pomiarowe, są porównywane z zaprogramowanymi wartościami zadanymi.

Duża dokładność obrabiarek sterowanych numerycznie wynika z odpowiedniej ich budowy i konstrukcji, które zostały uwzględnione na etapie ich projektowania. Zmniejszenie błędów wykonania danego elementu można uzyskać za pomocą regulacji odpowiednich parametrów, ale także przez odpowiednią budowę i dobór materiałów na części składowe maszyny roboczej. W ostatnich latach bardzo często obserwuje się zastępowanie materiałów metalicznych materiałami z tworzyw sztucznych o podwyższonej wytrzymałości lub materiałami kompozytowymi. Naukowcy i technologowie potwierdzili również pozytywny wpływ na ocenę jakości obrabianych elementów poprzez zastosowanie do budowy postumentów i łoży maszyn betonu polimerowego.

Obrabiarki to złożone układy konstrukcyjne obejmujące szereg funkcjonalnych zespołów, umożliwiających realizację złożonej kinematyki oraz możliwości kształtowania części maszyn. Podstawowe

zespoły funkcjonalne obrabiarek CNC przedstawiono na rysunku 2.2. Należy zwrócić uwagę na dużą ilość elementów elektromechanicznych w budowie nowoczesnych obrabiarek sterowanych numerycznie.



Rys. 2.2. Podstawowe zespoły funkcjonalne obrabiarek CNC [15].

Do zespołów tych należą: korpusy, zespoły napędowe, połączenia prowadnicowe, układy hydrauliczne, pneumatyczne i elektryczne, zespoły mechaniczne i manipulacyjne, urządzenia sterujące i diagnostyczne oraz wymienione na rysunku 2.2 urządzenia pomocnicze, rozszerzone o roboty, manipulatory, zmieniacze, itp. Większość z tych komponentów są to systemy elektromechaniczne.

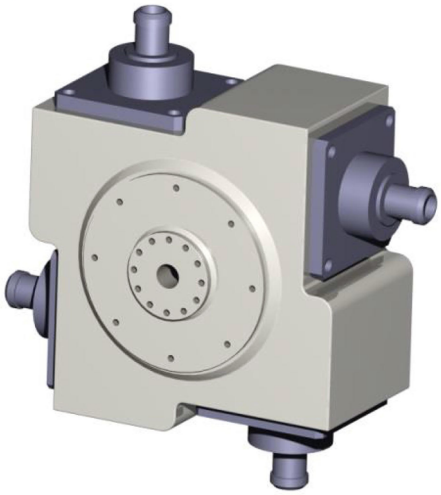
2.2.2. Budowa obrabiarki – głowice narzędziowe

Obrabiarki sterowane numerycznie posiadają na wyposażeniu urządzenie do automatycznej wymiany narzędzi. W zależności od rodzaju może mieć ono różną ilość gniazd narzędziowych. Za pomocą programu wybrane narzędzie ustawiane jest w pozycji wyjściowej.

Najczęściej spotykane to:
- głowica rewolwerowa,
- magazyn narzędzi.

Rewolwerowa głowica narzędziowa jest stosowana przede wszystkim w tokarkach. Gdy w programie wywoływane jest nowe narzędzie, wtedy głowica obraca się i ustawia odpowiednie narzędzie w położeniu roboczym. Cała operacja trwa mniej niż sekundę. Głowice, w zależności od typu, posiadają od 8 do 16 miejsc na narzędzia. W centrach obróbczych można spotkać do 3 głowic lub magazyny o większej ilości miejsc.

Na rysunku 2.3 przestawiono wygląd rewolwerowej głowicy CNC. Głowica obróbcza CNC P4MAN – rewolwerowa, pryzmatyczna z czterema niezależnymi wrzecionami (tzw. wielowrzecionowa). Zastosowanie kompaktowej głowicy czteronarzędziowej pozwala na znaczne ułatwienie i przyspieszenie obróbki bardzo skomplikowanych kształtów. Wielowrzecionowa głowica obróbcza CNC w układzie pryzmatycznym jest znakomitym rozwiązaniem do centrum obróbczego, frezarki do drewna w przypadku seryjnej obróbki elementów krzeseł, schodów i mebli.



Rys. 2.3 Rewolwerowa głowica CNC P4MAN [59].

Rodzaje rewolwerowych głowic narzędziowych:

- bębnowa – używana do toczenia małych części i z udziałem niedużych narzędzi,
- z pionową i poziomą osią obrotu – stosowana do obrabiania większych przedmiotów, stosowana np. w wiertarkach średniej wielkości,
- koronowa – jest pochylona, łączy zalety dwóch wcześniejszych głowic.

Magazyn narzędzi zazwyczaj stosowany we frezarkach. Wymiana narzędzi odbywa się za pomocą chwytaków. Po wywołaniu w programie komendy zamiany narzędzia, dwuramienny chwytak dokonuje wymiany. Trwa to dłużej niż w przypadku tokarki ok. 6–15 sekund, jednakże są już urządzenia, które potrafią zrobić to w czasie około 1 sekundy.

Magazyn narzędzi do centrum obróbczego, frezarki CNC, plotera frezującego przedstawiono na rysunku 2.4. **Magazyn narzędzi rewolwerowy (ATC)** – zwykle montowany poziomo przy kolumnie portalu lub na wózku obok bramy obrabiarki CNC. Automatyczna wymiana narzędzia następuje, kiedy program CNC wywoła nowe narzędzie. Wówczas głowica rewolwerowa magazynka obraca się aż do ustawienia żądanego narzędzia w położeniu roboczym. Obrót magazynu rewolwerowego jest sterowany serwomotorem (dodatkowa oś inter-

polowana). Może zawierać od kilku do kilkunastu gniazd na oprawki narzędziowe CNC. Obrabiarki CNC: centra obróbcze, frezarki CNC, plotery frezujące doposażone w 15-pozycyjny magazyn rewolwerowy zdecydowanie zwiększają swoją wydajność, zwłaszcza kiedy obróbka CNC wymaga zastosowania większej liczby narzędzi CNC.

W razie potrzeby maszyna może być wyposażona w magazyn narzędzi o innej liczbie gniazd narzędziowych. **Zaletą rewolwerowego magazynu jest szybsza wymiana narzędzia niż w magazynach liniowych, ze względu na krótszy czas dojazdu do punktu wymiany narzędzia.**



Rys. 2.4 Magazyn narzędzi rewolwerowy [61].

2.2.3. Uchwyty przedmiotu obrabianego

Podczas obróbki skrawaniem na maszynach sterowanych numerycznie przedmiot obrabiany musi być zamocowany w uchwycie mocującym. Mocowanie obrabianego przedmiotu powinno być stabilne i pozbawione luzów, z tego względu, że podczas procesu skrawania występują znaczne siły. Sposób mocowania obrabianego przedmiotu zależy oczywiście od tego, jaka to obrabiarka. W tokarkach materiał obrabiany musi być zamocowany obrotowo.

We frezarkach liczba stopni swobody materiału obrabianego zależy oczywiście od ilości osi frezarki. Najprostsze mocowanie wystąpi w przypadku maszyn o trzech osiach. Najwięcej ruchu będzie mógł wykonać przedmiot w centrum frezerskim o pięciu osiach. Do mocowania i obracania obrabianym przedmiotem podczas obróbki skrawaniem na maszynach sterowanych służą mechatroniczne mechanizmy liniowe i obrotowe.

Jako wyposażenie mocujące w tokarkach sterowanych numeryczne oraz tokarko-frezarkach stosuje się:

- uchwyty szczękowe z możliwością sterowania zamykaniem i otwieraniem szczęk mocujących,
- tarcze tokarskie,
- uchwyty zaciskowe z przeciwwagami sił odśrodkowych, które przeznaczone są do pracy przy wysokich prędkościach obrotowych występujących podczas skrawania,
- tuleje zaciskowe, które zazwyczaj mają zastosowanie do mocowania niewielkich przedmiotów.

Automatycznemu mocowaniu w maszynach sterowanych numerycznie podlega nie tylko obrabiany materiał, ale także narzędzie skrawające. Powszechnym wyposażeniem uchwytów mocujących obrabiarek sterowanych numerycznie są oprawki. Dzięki stosowaniu oprawek do narzędzi tokarskich i tokarsko-frezerskich zagwarantowane jest bardzo stabilne mocowanie narzędzia i jego prawidłowe usytuowanie. Oprawki umożliwiają także dopływ chłodziwa do ostrza narzędzia skrawającego.

Podczas frezowania ustalenie położenia przedmiotu obrabianego jest równie ważne, jak przy toczeniu. Zazwyczaj wystarcza wykorzystanie uchwytów szczękowych, które są częścią ruchomego stołu. Jednak podczas skrawania skomplikowanych elementów można wykorzystać specjalne zestawy. Służą one do budowy specjalnych uchwytów frezerskich. Zamocowanie w nich obrabianego detalu pozwala na całkowitą jego obróbkę bez konieczności przemocowywania.

2.2.4. Napędy stosowane w obrabiarkach CNC

Obrabiarki sterowane numerycznie składają się z wielu elementów elektromechanicznych. Oprócz opisanych wcześniej uchwytów należą do nich także, a może nawet przede wszystkim, elektromechaniczne napędy.

W obrabiarkach sterowanych numerycznie dzielimy je na:
- napędy główne,
- napędy posuwów,
- napędy pomocnicze.

Napęd główny realizowany jest przez elektryczne silniki napędowe i poprzez wrzeciono przekazuje niezbędną moc do obróbki skrawaniem. Napęd główny w maszynie sterowanej numerycznie charakteryzuje się:
- wysoką sztywnością tzn. moment obrotowy musi utrzymać aktualne położenie, pomimo działających sił skrawania,
- zdolnością do szybkiej i płynnej zmiany prędkości skrawania, bez generowania dodatkowych drgań.

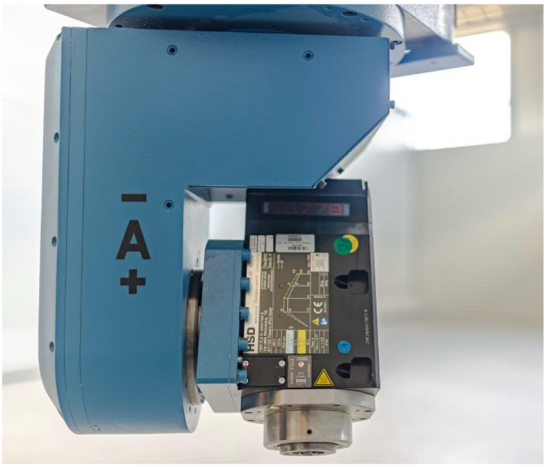
Napędy główne maszyn sterowanych numerycznie dzielimy na:
- elektromechaniczne z przekładnią stopniową lub bezstopniową,
- hydrauliczne,
- elektryczne z silnikiem prądu stałego i przekładnią stopniową,
- elektryczne z asynchronicznym lub synchronicznym silnikiem prądu przemiennego.

Przykład elektrowrzeciona HSD ES779 z automatyczną wymianą narzędzi przedstawiono na rysunku 2.5. Na rysunku 2.6 przedstawiono zaś widok wrzeciona zamontowanego na obrabiarce. Elektrowrzeciona HSD z szybką wymianą narzędzia, chłodzone cieczą do obróbki drewna, aluminium i tworzyw sztucznych. Wrzeciona charakteryzują się wyjątkowo wysoką niezawodnością oraz szerokim zakresem dostępnych mocy i prędkości roboczych. Deklarowane moce znamionowe są gwarantowane podczas pracy ciągłej (S1), natomiast moc dostępna do obróbki (S6) może być nawet o 100% wyższa podczas pracy przerywanej.

Każdy element mechaniczny, pneumatyczny i elektroniczny zastosowany w elektrowrzecionach HSD przechodzi podwójną fazę testowania, która gwarantuje optymalne standardy jakości. HSD jest wiodącą światową firmą produkującą elektrowrzeciona do frezowania. Wrzeciona ES779 renomowanej włoskiej firmy często są stosowane w głowicach 5d HSD. Wrzeciono przystosowane jest do ciężkiej pracy przemysłowej, posiada ceramiczne łożyska na górze oraz na dole.



Rys. 2.5. Elektrowrzeciono do maszyny CNC [60].



Rys. 2.6. Elektrowrzeciono do maszyny CNC zamocowane na obrabiarce [60].

Charakterystyka elektrowrzeciona HSD ES779 HSK F63 przedstawia się następująco:

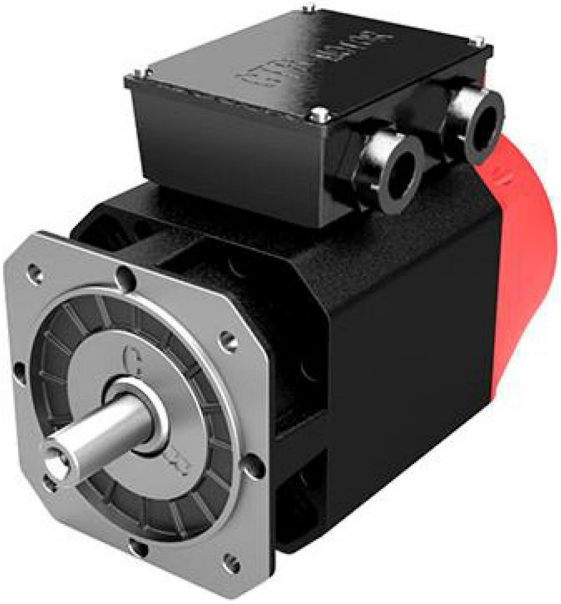
- Moc: 10 kW (S1) / 12 kW (S6).
- Maksymalna szybkość obrotowa: 24000 obr./min.
- Łożyska: ceramiczne góra/dół.
- Smarowanie łożysk – dożywotnie.
- Napięcie zasilające: 380V/220V.
- Uchwyt stożka: HSK F63.
- Wymiana narzędzi: pneumatyczna.
- Częstotliwość max: 800Hz.
- Chłodzenie wrzeciona: ciecz.

W obrabiarkach sterowanych numerycznie mamy do czynienia z napędami elektrycznymi. Należy pamiętać, że stosowanie silników prądu stałego wymusza na nas częstą wymianę szczotek węglowych. Natomiast silniki prądu przemiennego wypadają korzystniej.

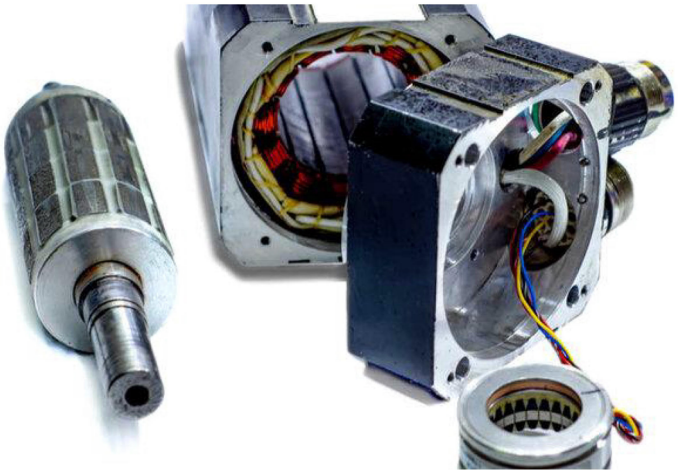
Zalety silników prądu przemiennego:

- uzyskują wyższe momenty obrotowe,
- osiągają nawet trzykrotnie większą prędkość obrotową,
- większa moc,
- pracują bez szczotek węglowych, kolektorów i pierścieni ślizgowych,
- są bezobsługowe.

Serwosilnik oparty na silniku synchronicznym z magnesami trwałymi przedstawiono na rysunku 2.7. Na rysunku 2.8 przedstawiono taki silnik w stanie rozmontowanym. Dzięki zastosowaniu magnesów trwałych na wirniku silniki w znaczny sposób uproszczono jego konstrukcję i sterowanie. Silniki takie charakteryzują się bardzo dużą sprawnością elektryczną oraz niezawodnością działania.



Rys. 2.7. Serwosilnik PMSM do maszyny CNC [63].

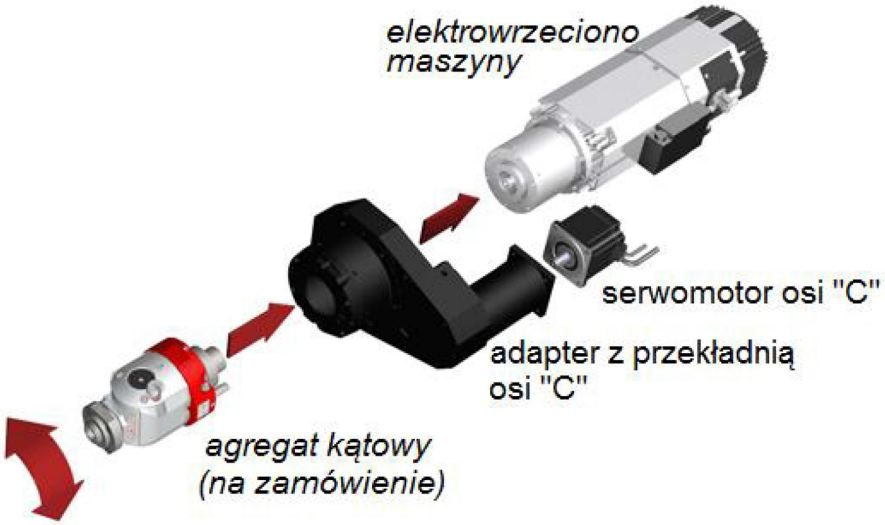


Rys. 2.8. Rozmontowany serwosilnik PMSM do maszyny CNC [64].

Napędy ruchu posuwowego, jakie możemy spotkać w obrabiarkach sterowanych numerycznie, dzielą się na następujące grupy:

- napęd tradycyjny, gdzie silnik obrotowy napędza śrubę toczną bezpośrednio lub pośrednio za pomocą przekładni pasowej lub zębatej,
- napęd z elektronakrętką, w których silnik współpracuje z obracającą się nakrętką toczną, a śruba jest nieruchoma,
- bezpośredni napęd liniowy z silnikiem elektrycznym.

Maszyny sterowane numerycznie mają strukturę mechaniczną, jak i sterującą otwartą. Oznacza to, że mogą być dowolnie rozbudowywane o nowe komponenty lub modyfikowane zarówno na poziomie hardware, software i firmware. Przyjrzyjmy się ciekawemu przykładowi doposażenia obrabiarki sterowanej numerycznie w dodatkową oś C. 4 oś C uzyskujemy zakładając do agregatu adapter – przystawkę na podstawowe wrzeciono (rysunek 2.9).



Rys. 2.9. 4 oś C – adapter do agregatu na wrzeciono HSD ze stożkiem ISO 30 [62].

Adapter z przekładnią jako dodatkowa oś C na elektrowrzecionie, umożliwia wykorzystanie różnych akcesoriów CNC, które zwiększą potencjał 3-osiowego centrum obróbczego i usprawniają produkcję. Dzięki zastosowaniu 4 osi interpolowanej "C" możliwa jest obróbka płaszczyzn bocznych materiału. Agregaty pozwalają m.in.

na cięcie piłami, frezowanie pod zamki, czy wykonywanie wpustów. Oprócz aktywnej osi C pakiet obejmuje zaawansowane oprogramowanie do projektowania i optymalizacji pracy maszyny CNC. Jest ono niezbędne do sprawnego użytkowania 4 osi.

Rozwiązanie to zdobyło uznanie i cieszy się największą popularnością w branży obróbki drewna i kompozytów.

Przy użyciu adaptera można doposażyć centrum obróbcze CNC w:

- agregaty kątowe,
- agregaty wiercące,
- agregaty tnące piłą,
- głowice tnące oscylacyjne,
- bigownik,
- głowice tłoczące.

Dokładność skrawania jest bardzo ważnym parametrem charakteryzującym obrabiarkę sterowaną numerycznie. Dla dokładnego określenia położenia, napędy ruchów posuwowych są zintegrowane z układem pomiarowym. Każda oś musi mieć układ pomiaru przemieszczenia z oceną sygnału pomiarowego, która powinna odbywać się automatycznie. Obecnie dokładności pomiarowe są bardzo duże i wynoszą 0,001 mm. Na tokarkach dla osi X, gdzie mierzona jest średnica, uzyskiwane dokładności są jeszcze większe i wynoszą one 0,0005 mm. W precyzyjnych szlifierkach można czasem spotkać dokładność pomiarową wynoszącą nawet 0,0001 mm.

2.2.5. Sterowanie osiami na obrabiarkach numerycznych

Jak wspomniano wcześniej, w maszynach sterowanych numerycznie nie ma możliwości ręcznej ingerencji w posuwy. **Sterowanie posuwem** wzdłuż poszczególnych osi musi się odbywać za pomocą mechanizmów posuwu liniowego. W przypadku toczenia istnieje konieczność wykonywania ruchu posuwowego przynajmniej w dwóch osiach X i Z, natomiast przy obróbce frezarskiej co najmniej w trzech osiach X, Y i Z. Poza ruchami prostoliniowymi istnieje także możliwość wystąpienia ruchów obrotowych wokół tych osi.

Ruchy te nazywane są odpowiednio:

- wokół osi X → A,
- wokół osi Y → B,
- wokół osi Z → C.

Układ sterowania maszyny CNC odczytuje zakodowane sygnały z programu sterującego i przekazuje je do silników napędów poszczególnych posuwów. Dzięki temu znane są ruchy posuwowe narzędzi względem osi. **W zależności od tych ruchów rozróżnia się następujące rodzaje układów sterowania:**

- sterowanie punktowe,
- sterowanie odcinkowe,
- sterowanie kształtowe (2D, 2obrabiarki1_html_21b4cd07D, 3D).

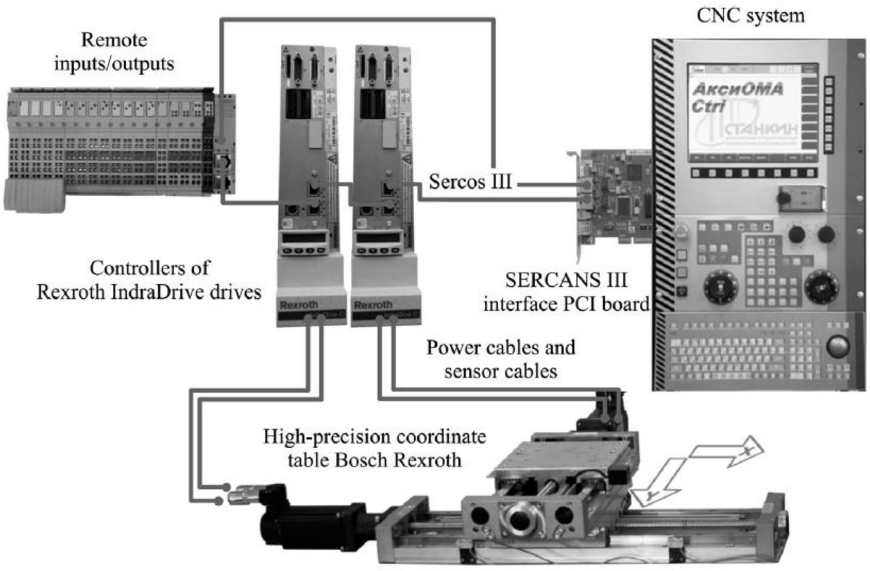
Sterowanie punktowe jest najprostszym rodzajem sterowania, występującym w maszynach CNC. W praktyce wygląda to w ten sposób, że narzędzie najeżdża w zaprogramowany punkt szybkim ruchem i rozpoczynana jest obróbka skrawaniem. Po skończonej pracy narzędzie jest wycofywane na bezpieczną odległość. Następnie najeżdża na kolejny punkt, zapisany w programie. Sterowanie punktowe najczęściej wykorzystywane jest przy nawiercaniu, wierceniu czy gwintowaniu otworów.

Sterowanie odcinkowe polega na realizacji przejść narzędzi tylko po torach równoległych do osi. Ten rodzaj sterowania stosowany jest na przykład w przypadku planowania prostego, przy frezowaniu płasko-równoległym, a także przy toczeniu wzdłużnym.

Najbardziej zaawansowane i skomplikowane jest **sterowanie kształtowe**, które umożliwia poruszanie się narzędziem na powierzchni i w przestrzeni. W ten sposób mogą być wykonywane skomplikowane skosy czy łuki. Dowolne kształty uzyskuje się dzięki jednoczesnemu działaniu na przykład dwóch lub więcej napędów posuwów. Aby taki ruch został wykonany, układ sterowania maszyny CNC musi najpierw wyznaczyć punkty pośrednie i punkt końcowy.

Przykład sterowania odcinkowego w dwóch prostopadłych osiach przedstawiono na rysunku 2.10. Można zobaczyć na nim kompletny system sterowania dwoma osiami stołu. Składa się z pulpitu

operatorskiego (CNC system), za pomocą którego operator komunikuje się z maszyną. Za pomocą klawiszy i pokręteł można ręcznie pozycjonować stół. Dane ustawcze są następnie przekazywane do jednostki sterującej (PCI *board*), która steruje kontrolerami napędów (*Controllers of Rexroth IndraDrive*). Z nich wychodzi już sygnał sterujący do serwosilników stołu o bardzo dużej dokładności pozycjonowania (*High-precision coordinate table*).



Rys. 2.10. Sterowanie odcinkowe stołem frezerskim [22].

Jest to odpowiednie miejsce, aby zapoznać czytelnika z serwosilnikami i serwonapędami. Zatem, czym jest **serwonapęd CNC**? To element wykonawczy wielu układów użytkowanych w automatyce przemysłowej. Serwonapęd do CNC to moduł składający się z: silnika, sterownika, enkodera.

Jaką rolę pełnią poszczególne elementy? **Serwosilnik CNC** to oczywiście główny element wykonawczy. Serwosilnik do CNC jest zasilany prądem stałym lub zmiennym. Pieczę nad pracą silnika sprawuje sterownik, a oba te elementy łączy wzmacniacz, którego

rolą jest odpowiednie przetwarzanie sygnałów płynących ze sterownika. To właśnie ten element odgrywa niebagatelną rolę w pracy silnika – może zarządzać choćby kierunkiem czy prędkością obrotową.

Z kolei **enkoder** można uznać za coś w rodzaju licznika lub czujnika, zapisującego wartości na poziomie silnika. Ten element umożliwia nie tylko pełną kontrolę nad obrotami silnika, lecz także regulację prędkości, z jakimi pracuje. Rolą enkodera jest bieżące przekazywanie tych informacji do sterownika. Na podstawie uzyskanych danych sterownik jest w stanie ustawić praktycznie dowolną zmianę parametrów – na przykład zwiększenie/zmniejszenie prędkości czy też całkowite wyhamowanie.

Serwonapęd to niezbędne urządzenie wszędzie tam, gdzie specyfika branży wymaga wysokiej precyzji pracy. Kolejną zaletą serwonapędów jest fakt, iż mają one spore możliwości regulacyjne – dzięki temu można ustawić jego parametry dokładnie tak, jak wymaga tego dane urządzenie. Czy to duże czy niewielkie prędkości, serwosilnik sprawdza się doskonale.

Obrabiarki CNC, do których przeznaczone są serwosilniki produkowane przez na przykład firmę CS-Lab [67], to tylko jeden z wielu przykładów urządzeń, w których można je stosować. Serwonapędy są używane jako części wtryskarek czy elementów sterujących stołami obrotowymi, procesami przenoszenia/pakowania produktów oraz wszelkiego typu przenośnikach taśmowych.

Przykład zestawu serwosilników przedstawiono na rysunku 2.11. 3-osiowy Zestaw Serwonapęd & Silnik 750W: simDrive™AC Servo 750W::325V + CSM Servo Motor AC 220V::750W to w pełni kompatybilny zestaw, w którego skład wchodzą:

- 3 serwonapędy simDrive 325V DC 750W Model M4-H075K Model,
- 3 serwosilniki CSMmotor 220V AC 750W Model CSM75-024M30 (z enkoderem 2500imp/rev i czujnikami halla),
- 3 kable mocy (5 m),
- 3 kable enkodera (5 m).

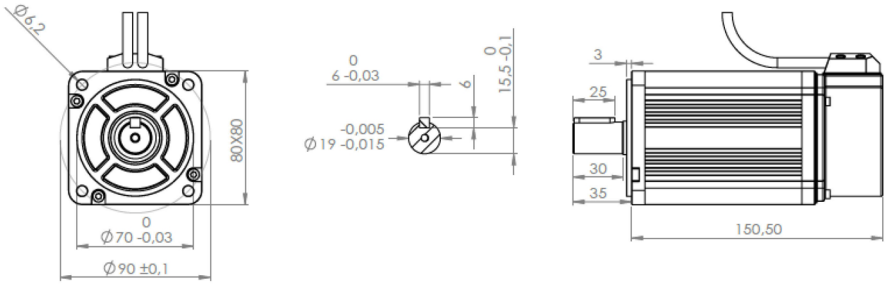


Rys. 2.11. Serwonapędy simDrive 750W na 3 osie: serwonapęd + serwosilnik [67].

Konstruktor, projektując nowy napęd wykorzystujący serwosilniki i serwonapędy, może ściągnąć ze strony producenta lub sprzedawcy dokładną specyfikację techniczną oraz dokumentację. Przykład takiej dokumentacji w postaci rysunków technicznych przedstawiono na rysunkach 2.12. i 2.13.

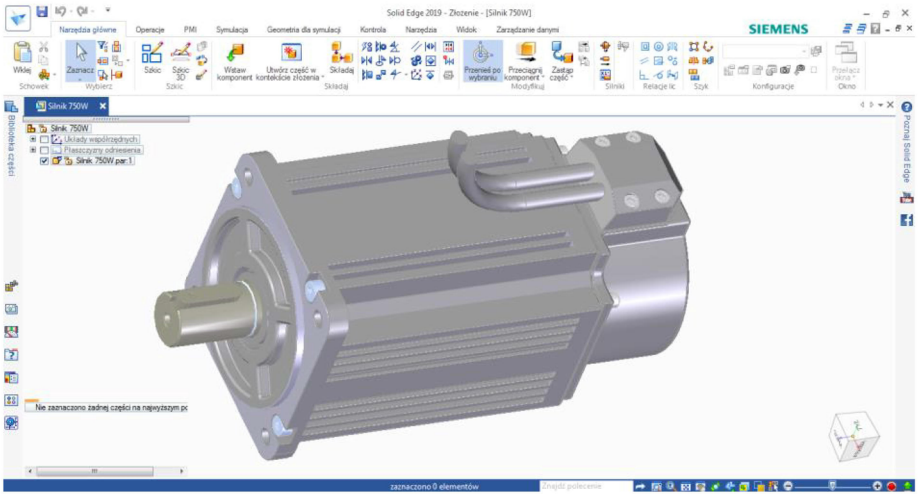


Rys. 2.12. Wygląd zewnętrzny i wybrane wymiary serwosilnika [67].



Rys. 2.13. Główne wymiary serwosilnika [67].

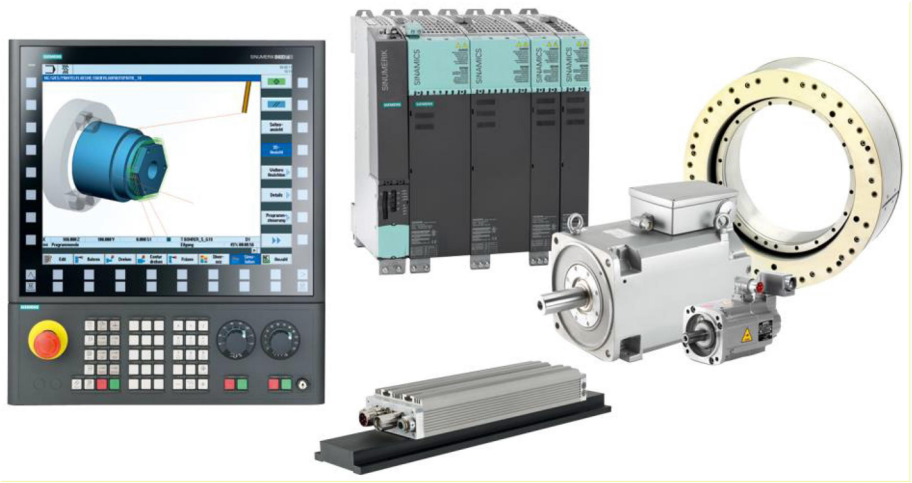
Producent dostarcza również **model 3D serwosilnika** zapisany w formacie *.STEP, który może zostać użyty do modelowania w przestrzeni całej maszyny. Ściągnięty model autor otworzył bez problemu w programie Solid Edge, który jest wykorzystywany w kształceniu inżynierów w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie (patrz rysunek 2.14.). Dzięki takiemu podejściu możliwe jest Szybkie Prototypowanie maszyn i urządzeń, zawierających elementy elektromechaniczne.



Rys. 2.14. Model 3D serwosilnika w programie Solid Edge.

Podstawowym zadaniem sterowania numerycznego jest przetwarzanie danych numerycznych, niosących informacje o programie pracy, na wielkości sterujące pracą obrabiarki. Typowym układem struktury sterowania numerycznego współczesnych obrabiarek jest układ automatycznego sterowania zamkniętego, składającego się z określonej liczby niezależnie działających osi sterowanych numerycznie.

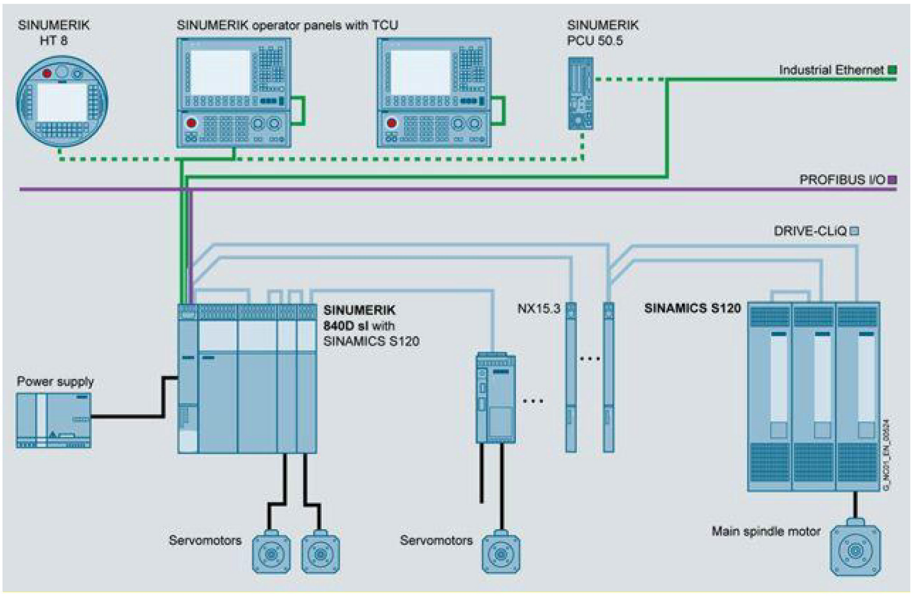
Na rynku producentów sterowań wyróżniają się firmy wyspecjalizowane w produkcji zarówno całych obrabiarek, jak i samych sterowań. Jednym z takich producentów jest firma Siemens, oferująca szereg rozwiązań systemów sterowania CNC o nazwie SINUMERIK [65], który został przedstawiony na rysunku 2.15. Cały system składa się z panelu sterowania ze sterownikiem PLC, napędów liniowych i obrotowych oraz kontrolerów do sterowania nimi.



Rys. 2.15. System sterowania SINUMERIK Solution Line firmy Siemens [65].

W zależności od potrzeb użytkownika, firma oferuje zaawansowane systemy sterowania, obsługi i wizualizacji składające się z modułów: zintegrowanego komputera przemysłowego, panelu operatorskiego, serwonapędów różnych typów oraz kart złączy komunikacyjnych.

Komunikacja w sterowaniu SINUMERIK Solution Line odbywa się za pośrednictwem typowych złączy komunikacyjnych: przemysłowego Ethernet, PROFINET i PROFIBUS-D, jak to widać na rysunku 2.16.



Rys. 2.16. Komponenty i sposób sterowania nimi w SINUMERIK [65].

2.2.6. Układy pomiarowe przemieszczeń obrabiarek CNC

Ogólnie rozróżnia się pomiary położenia bezpośrednie, które są najdokładniejsze, pośrednie, absolutne (całościowe) i inkrementalne (przyrostowe). Taki podział ma miejsce we wszystkich obszarach nauki i techniki nie tylko w przypadku skrawania na maszynach sterowanych numerycznie.

Przy pomiarze bezpośrednim skala jest umieszczona na saniach lub stole i w ten sposób niedokładności pochodzące np. od wrzeciona mogą być prawie całkowicie wyeliminowane. Na siatce skali, za pomocą czujnika, odnajdywane są wartości mierzone. Czujnik zamienia je na sygnały elektryczne i przekazuje do układu sterującego obrabiarki.

W trakcie pomiaru pośredniego odczyt dokonywany jest na śrubie pociągowej, na której znajduje się skala w postaci tarczy ob-

rotowej. Za pomocą czujnika rejestrowany jest ruch obrotowy tarczy, który następnie podawany jest dalej do układu sterowania w postaci standaryzowanego sygnału.

Przy absolutnym pomiarze przemieszczenia, skala w postaci zakodowanej, pokazuje bezpośrednio położenie sań względem stałego punktu obrabiarki, zdefiniowanego przez producenta. Punkt ten nazywa się punktem zerowym maszyny. Podczas pomiaru absolutnego muszą być spełnione następujące warunki:

- jednakowa wielkość obszaru odczytu skali i zasięgu pracy,
- binarne zakodowanie skali.

Takie podejście pozwala układowi sterowania nadać wartość liczbową każdemu odczytanemu położeniu.

Przy inkrementalnym pomiarze przemieszczenia wykorzystywana jest skala kreskowa, składająca się z ciemnych i jasnych pól. Czujnik zlicza ilość poszczególnych pól w trakcie ruchu posuwowego i wyznacza aktualne położenie sań w odniesieniu do poprzedniej pozycji. Aby można było wyznaczyć pierwsze położenie, obrabiarka musi znać jakiś punkt referencyjny. Dlatego po włączeniu systemu sterowania należy najechać na tzw. punkt referencyjny i w ten sposób oznaczyć położenie absolutne.



2.3. Ćwiczenia

2.3.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj analizy i charakterystyki elementów elektromechanicznych w pięcioosiowym pionowym centrum frezarskim CNC HAAS UMC750. Analizy dokonaj na podstawie specyfikacji przedstawionych przez producenta na stronach internetowych oraz instrukcji obsługi urządzenia. Analiza powinna zawierać opis i budowę przynajmniej jednego napędu liniowego, jednego napędu obrotowego, czujników oraz sterowania. Każdy z elementów powinien zostać scharakteryzowany jako element elektromechaniczny, mający warstwę mechaniczną (hardware) oraz elektroniczną (firmware i software).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.3.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj analizy i charakterystyki elementów elektromechanicznych w tokarce sterowanej numerycznie z napędzanymi narzędziami i dodatkową osią C HAAS ST10. Analizy dokonaj na podstawie specyfikacji przedstawionych przez producenta na stronach internetowych oraz instrukcji obsługi urządzenia. Analiza powinna zawierać opis i budowę przynajmniej jednego napędu liniowego, jednego napędu obrotowego, czujników oraz sterowania. Każdy z elementów powinien zostać scharakteryzowany jako element elektromechaniczny, mający warstwę mechaniczną (hardware) oraz elektroniczną (firmware i software).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.3.3. Ćwiczenie 3



Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu liniowego opartego na serwonapędzie o mocy do 1 kW i śrubę toczną. Należy zgromadzić kompletną dokumentację i specyfikację techniczną napędu w celu jego integracji z systemem sterowania maszyny. Należy wskazać potencjalne zastosowania takiego napędu liniowego.

.....
.....
.....
.....
.....

2.3.4. Ćwiczenie 4

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu obrotowego opartego na serwonapędzie o mocy do 1 kW. Należy zgromadzić kompletną dokumentację i specyfikację techniczną napędu w celu jego integracji z systemem sterowania maszyny. Należy wskazać potencjalne zastosowania takiego napędu obrotowego.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.3.5. Ćwiczenie 5

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu liniowego opartego na serwonapędzie o mocy do 1 kW i śrubę toczną. Należy pozyskać modele 3D wszystkich komponentów i dokonać ich złożenia w programie Solid Edge.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2.4. Pytania testowe

1. Obrabiarka CNC jest urządzeniem:

a. Mechanicznym.
b. Elektrycznym.
c. Mechatronicznym.

2. Obrabiarki sterowane numerycznie CNC, w odróżnieniu od obrabiarek konwencjonalnych odróżnia kilka charakterystycznych cech, do których zaliczyć można:

a. Ręczną wymianę narzędzi.
b. Osobny, niezależny napęd osi przesuwu i wrzeciona.
c. Osobny, zależny napęd osi przesuwu i wrzeciona.

3. Większa wydajność obróbki maszyn CNC uzyskiwana jest dzięki czynnikom takim, jak:

a. Przesunięcie odpowiedzialności za programowanie na biuro technologiczne.
b. Przesunięcie odpowiedzialności za programowanie na operatora maszyny.
c. Dłuższe czasy przygotowawczo-zakończeniowe.

4. Do napędów głównych obrabiarki CNC możemy zaliczyć:

a. Układy serwonapędowe prądu stałego lub przemiennego.
b. Elektrowrzeciona i zespoły wrzecionowe.
c. Połączenia prowadnicowe toczne.

5. Do napędów posuwu obrabiarki CNC możemy zaliczyć:

a. Układy serwonapędowe prądu stałego lub przemiennego.
b. Elektrowrzeciona i zespoły wrzecionowe.
c. Połączenia prowadnicowe toczne.

6. Do układów hydraulicznych i pneumatycznych obrabiarki CNC możemy zaliczyć:

a. Prostowniki, przetworniki.
b. Zespoły zasilania.
c. Silniki obrotowe, siłowniki.



7. Bębnowa rewolwerowa głowica narzędziowa:

a. Używana do toczenia małych części i z udziałem niedużych narzędzi.
b. Stosowana do obrabiania większych przedmiotów, np. w wiertarkach średniej wielkości.
c. Jest pochylona, łączy zalety dwóch wcześniejszych głowic.

8. Rewolwerowa głowica narzędziowa z pionową i poziomą osią obrotu:

a. Używana do toczenia małych części i z udziałem niedużych narzędzi.
b. Stosowana do obrabiania większych przedmiotów, np. w wiertarkach średniej wielkości
c. Jest pochylona, łączy zalety dwóch wcześniejszych głowic.

9. Koronowa rewolwerowa głowica narzędziowa:

a. Używana do toczenia małych części i z udziałem niedużych narzędzi.
b. Stosowana do obrabiania większych przedmiotów, np. w wiertarkach średniej wielkości.
c. Jest pochylona, łączy zalety dwóch wcześniejszych głowic.

10. Wymiana narzędzi we frezarkach CNC odbywa się:

a. Za pomocą chwytaków.
b. Ręcznie.
c. Przy pomocy plotera.

11. Szybsza wymiana narzędzia występuje w przypadku zastosowania:

a. Magazynu liniowego.
b. Magazynu rewolwerowego.
c. Ręcznej wymiany narzędzia.

12. Zaletą silników prądu przemiennego w porównaniu do silników prądu stałego jest:

a. Możliwość wymiany szczotek węglowych.
b. Niższa prędkość obrotowa.
c. Są bezobsługowe.



13. Napęd tradycyjny napędu ruchu posuwowego:

a. Bezpośredni napęd liniowy z silnikiem elektrycznym.
b. Silnik obrotowy napędza śrubę toczną bezpośrednio lub pośrednio za pomocą przekładni pasowej lub zębatej.
c. Silnik współpracuje z obracającą się nakrętką toczną, a śruba jest nieruchoma.

14. Maszyny sterowane numerycznie mają strukturę mechaniczną, jak i sterującą:

a. Zamkniętą.
b. Otwartą.

15. Ruch obrotowy wokół osi X to:

a. A.
b. B.
c. C.

16. Ruch obrotowy wokół osi Y to:

a. A.
b. B.
c. C.

17. Ruch obrotowy wokół osi Z to:

a. A.
b. B.
c. C.

18. Najprostszym układem sterowania jest:

a. Sterowanie kształtowe.
b. Sterowanie odcinkowe.
c. Sterowanie punktowe.

19. Sterowanie odcinkowe:

a. Pozwala nam na uzyskanie przejazdów narzędzi tylko po torach równoległych do osi.
b. Umożliwia poruszanie się narzędziem na powierzchni i w przestrzeni.
c. Wykorzystywane jest np. przy nawiercaniu, wierceniu czy gwintowaniu otworów.

20. Sterowanie kształtowe:

a. Pozwala nam na uzyskanie przejazdów narzędzi tylko po torach równoległych do osi.
b. Umożliwia poruszanie się narzędziem na powierzchni i w przestrzeni.
c. Wykorzystywane jest np. przy nawiercaniu, wierceniu czy gwintowaniu otworów.

21. Sterowanie punktowe:

a. Pozwala nam na uzyskanie przejazdów narzędzi tylko po torach równoległych do osi.
b. Umożliwia poruszanie się narzędziem na powierzchni i w przestrzeni.
c. Wykorzystywane jest np. przy nawiercaniu, wierceniu czy gwintowaniu otworów.

22. Napęd z elektronakrętką:

a. Jest napędem tradycyjnym.
b. Jest napędem bezpośrednim.
c. W tym napędzie śruba jest nieruchoma.

23. Napęd bezpośredni:

a. Napęd liniowy z silnikiem elektrycznym.
b. Silnik obrotowy napędza śrubę toczną bezpośrednio lub pośrednio za pomocą przekładni pasowej lub zębatej.
c. Silnik współpracuje z obracającą się nakrętką toczną, a śruba jest nieruchoma.

24. Rolą enkodera w serwonapędzie CNC:

a. Jest zapewnienie pełnej kontroli nad obrotami silnika oraz regulacja prędkości.
b. Jest wzmacnianie sygnału.
c. Sterowanie silnikiem.

25. Budowa obrabiarek sterowanych numerycznie:

a. Zasadniczo różni się od obrabiarek konwencjonalnych.
b. Jest bardzo podobna do obrabiarek konwencjonalnych.

26. Rewolwerowa głowica narzędziowa:

a. Stosowana jest głównie we frezarkach.
b. Nie jest stosowana.
c. Stosowana jest głównie w tokarkach.

27. Bigownik służy do:

a. Nawiercania.
b. Nacinania.
c. Tłoczenia.

28. Dokładność pomiaru przemieszczenia z automatyczną oceną sygnału pomiarowego najczęściej wynosi:

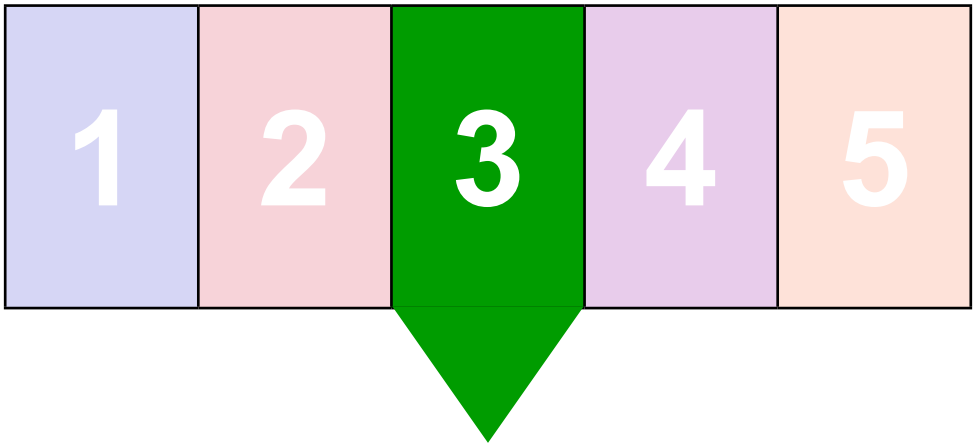
a. 0,1 m.
b. 0,001 m.
c. 0,001 mm.

29. Obróbka elementów na obrabiarkach sterowanych numerycznie wymaga sterowania posuwem wzdłuż osi, ze względu na:

a. Możliwość ręcznej ingerencji.
b. Brak możliwości ręcznej ingerencji.

30. Serwonapęd do CNC to moduł składający się z:

a. Silnika i sterownika.
b. Silnika i enkodera.
c. Silnika, sterownika, enkodera.



3. Systemy elektromechaniczne w mobilnej linii przetwórczej betonu

3.1. Wersja mobilna linii przetwórczej kruszenia odpadów budowlanych

Elementy elektromechaniczne są częściami składowymi poszczególnych maszyn i urządzeń, które mogą tworzyć zaawansowane linie technologiczne. W tej części skryptu zachęcam studentów do identyfikacji wszystkich elektromechanicznych elementów, występujących w mobilnej linii przetwórczej kruszenia odpadów budowlanych.

Wszelkiego rodzaju zakłady stacjonarne coraz częściej są zastępowane nowoczesnymi rozwiązaniami mobilnymi. Przyjrzyjmy się **budowie przykładowej takiej linii, która spełnia kryteria Internetu Rzeczy i posiada funkcje Przemysłu 4.0**. Prezentowana w tym rozdziale linia mobilna będzie posiadała **napęd gąsienicowy zasilany silnikiem spalinowym Diesla, będzie łatwa do przewozu za pomocą innych środków transportu**. Zdecydowano się na szczękowy mechanizm kruszący z napędem hydraulicznym. Kruszarka rozdrabnia materiał na kawałki o wymiarach 0–70 mm. Magnez podwieszany do odbioru dużych elementów metalowych znajduje się nad taśmociągiem. Na końcu taśmociągu znajduje się rolka z magnesami neodymowymi o mocy 3000 gausów, które oddzielają mniejsze części z metali żelaznych i nieżelaznych. Następnie przetwarzane odpady wpadają do przesiewacza i są dzielone na frakcje (3 taśmy). W ten sposób powstaje wysokiej klasy kruszywo frakcjonowane.

3.1.1. Kruszarka szczękowa

Ze względu na standardowe oraz opcjonalne wyposażenie wartą do rozważenia zakupu jest mobilna **kruszarka szczękowa SANDVIK QJ 341**, przedstawiona na rysunku 3.1.



Rys. 3.1. Mobilna kruszarka szczękowa [74].

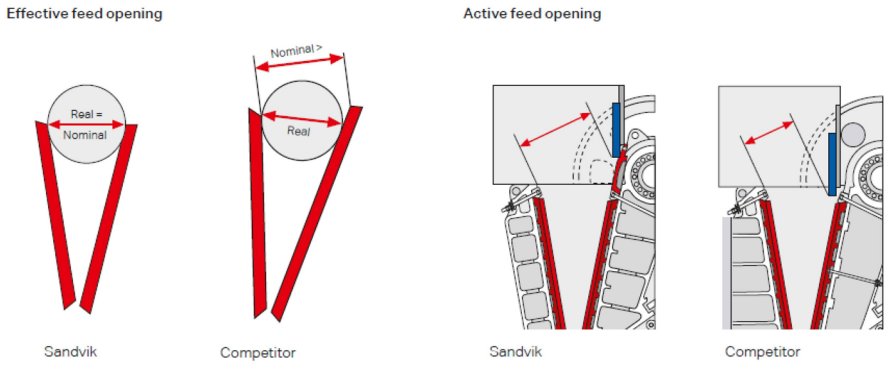
Unikalność proponowanej maszyny polega na zastosowaniu wielu opatentowanych przez firmę Sandvik technologii. Wszystkie kruszarki szczękowe tej marki są typu pojedynczego, z głęboką, symetryczną komorą kruszenia i łatwą regulacją ustawienia. Każdy model ma duży otwór podający ze względu na swój rozmiar i idealny kąt zacisku, zapewniający płynny przepływ materiału i wysoką wydajność. Za prostą konstrukcją kryje się wiele zaawansowanych funkcji, które zapewniają łatwą obsługę i konserwację, długą żywotność i niski koszt za tonę przetworzonego odpadu budowlanego.

Rama składa się z dwóch bocznych płyt ze stali walcowanej oraz pustych odlewów na przednim końcu ramy i ruchomej szczęki, która zapewnia wysoki stosunek sztywności do masy. Obszary przejściowe o dużym promieniu zmniejszają koncentrację naprężeń, a spoiny są umieszczane w obszarach o niskim naprężeniu. Zaletą spawanej ramy jest to, że jest ona równie wytrzymała we wszystkich kierunkach i zapewnia doskonałą wytrzymałość na obciążenia udarowe. W ten sposób minimalizuje się ryzyko awarii ramy głównej.

W przedmiotowej kruszarce zoptymalizowano proces kruszenia dzięki:

- dużej pojemności komory zasypowej,
- wysokiemu stopniowi rozdrobnienia,
- niskiemu zużyciu płytki szczękowej,
- możliwości przyjmowania dużych wsadów odpadów.

Te cztery czynniki są ściśle ze sobą powiązane, a kruszarka szczękowa Sandvik zapewnia dobrą równowagę pomiędzy nimi. Konstrukcja głębokiej symetrycznej komory kruszenia maksymalizuje wydajność i stopień kruszenia. Zoptymalizowany kąt chwytu zapewnia, że materiał przesuwa się płynnie w dół przez komorę kruszenia, aby umożliwić wysoki stopień kruszenia, wydajność i prawidłowe wykorzystanie płyt szczękowych. Niezbędny jest nie tylko duży nominalny otwór zasypowy – zdolność przyjmowania wsadu zależy od efektywnego i aktywnego otworu zasypowego (patrz rysunek 3.2.). Wszystkie kruszarki w tym zakresie mają prawie kwadratowy otwór podający, dzięki czemu mogą przyjmować największe bryły materiału bez zatykania. Gruba, wymienna płyta odchylająca chroni górną część szczęki ruchomej przed uderzeniem materiału podającego. Duże grudki materiału, wchodzące do kruszarki, spadają prosto do aktywnego obszaru komory kruszenia, więc nie ma potrzeby stosowania stacjonarnej ścianki poprzecznej w obszarze podawania.



Rys. 3.2. Otwór zasypowy w kruszarce Sandvik [76].

Kosz zasypowy (rys. 3.3)

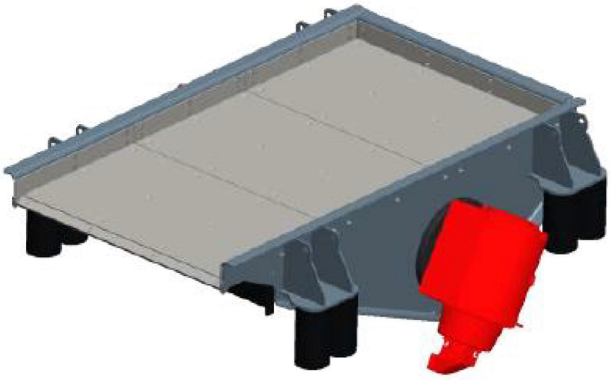
- kosz ustawiany hydraulicznie,
- pojemność 3,6 m³,
- podawacz wibracyjny wyłożony blachą trudnościeralną,
- wzmocnienia burty boczne i tylne.



Rys. 3.3. Kosz zasypowy kruszarki [76].

Podawacz wibracyjny, przedstawiony na rysunku 3.4, zawiera następujące komponenty i właściwości:

- wstępny podawacz wibracyjny,
- możliwość automatycznego sterowania załadunku,
- system regulacji przepływu nadawy z podajnika do kruszarki,
- możliwość regulacji prędkości w zakresie 550–1000 obr./min,
- stała amplituda 10 mm,
- wykładki trudnościeralne jako standardowe wyposażenie,
- napęd odbywa się przez dwa silniki mimośrodowe.



Rys. 3.4. Podawacz wibracyjny kruszarki [76].

Odsiew wstępny dwupokładowy zamontowany przed kruszarką, został przedstawiony na rysunku 3.5, zawiera:

- powierzchnię 1520 x 980 mm,
- sito z blachy perforowanej 40 mm na górnym pokładzie,
- sito stalowe 20 mm na dolnym pokładzie,
- wysoka prędkość 990 obr./min,
- amplituda 10 mm,
- nachylony pod kątem 100,
- napęd bezpośredni z silnika hydraulicznego.



Rys. 3.5. Odsiewacz wstępny dwupokładowy [76].

Regulowany trzystopniowy by-pass kruszarki został przedstawiony na rysunku 3.6 i posiada następujące cechy:

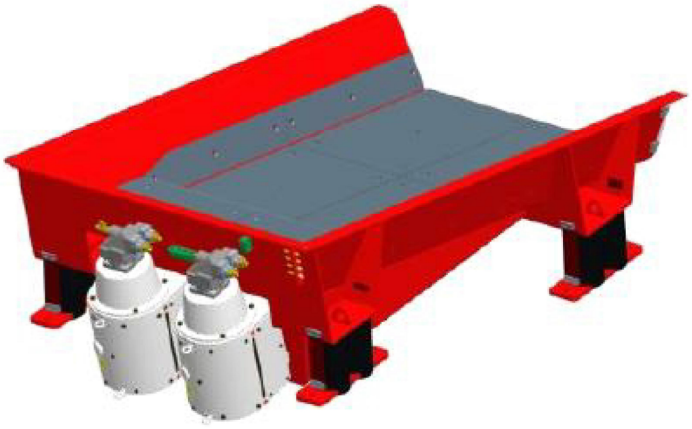
- kieruje materiał po wstępnym odsianiu,
- bezpośrednio na przenośnik boczny (drobnego ziarna – opcja), przenośnik główny lub rozdziela na dwa przenośniki,
- konstrukcja daje możliwość łatwego dostępu w celu obsługi i regulacji.



Rys. 3.6. Regulowany by-pass kruszarki [76].

Podawacz wibracyjny pod kruszarką został przedstawiony na rysunku 3.7 i posiada następujące cechy:

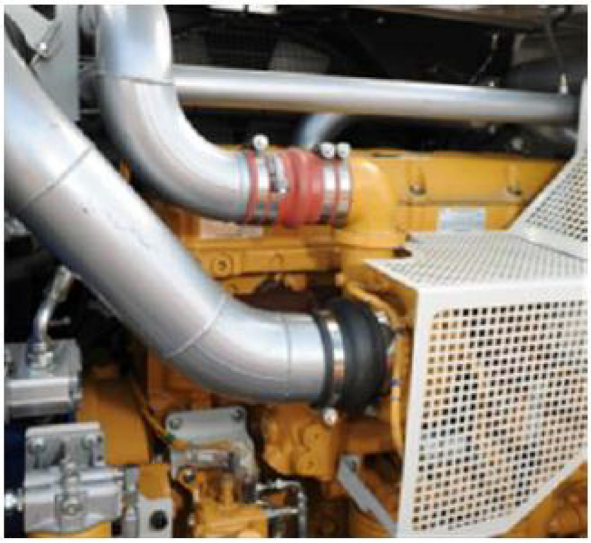
- powierzchnia 830 x 2040 mm,
- praca z prędkością 960 obr./min,
- amplituda 9 mm,
- wykładki trudnościeralne,
- prześwit od wysypu kruszarki 450 mm.



Rys. 3.7. Podawacz wibracyjny pod kruszarką [76].

Silnik został przedstawiony na rysunku 3.7 i posiada następujące cechy:

- CAT C9.3 o mocy 261 kW,
- Stage 3B/Tier4i,
- regulowana prędkość silnika – 1700–2100 obr./min,
- wentylator chłodnicy z napędem hydraulicznym,
- zbiornik paliwa o pojemności 660 litrów,
- zbiornik oleju hydraulicznego o pojemności 660 litrów,
- zbiornik wyposażony w system ciągłego monitoringu temperatury.



Rys. 3.8. Silnik spalinowy kruszarki [76].

Panel sterowania został przedstawiony na rysunku 3.9 i posiada następujące cechy:

- intuicyjny, prosty w obsłudze i czytelny kolorowy panel sterowania,
- uruchomienie procesu kruszenia za pomocą jednego przycisku,
- przyciski sterowania są przypisane do odpowiednich funkcji,
- całość instalacji elektrycznej 24 V posiada stopień zabezpieczenia IP 54,
- zintegrowany system kontroli ilości materiału.



Rys. 3.9. Panel sterowania [76].

System jazdy został przedstawiony na rysunku 3.10 i posiada następujące cechy:

- szerokość gąsienic 400 mm,
- prędkość jazdy 0–1,1 km/h,
- możliwość podjazdu, zjazdu dla nachylenia do 200,
- sterowanie jazdą za pomocą proporcjonalnego pilota przewodowego.



Rys. 3.10. Gąsienicowy układ jezdny kruszarki [76].

Opcjonalne doposażenie kruszarki jest bardzo bogate i może stanowić następujące komponenty.

Podpory stabilizujące zostały przedstawione na rysunku 3.11 i posiadają następujące cechy:

- hydrauliczne podpory stabilizujące z przodu i z tyłu maszyny,
- ręczna dźwignia sterująca,
- szybkie ustawienie i stabilizowanie maszyny pozwalające uzyskać:
  - ⇨ optymalną wydajność,
  - ⇨ łatwiejszy dostęp serwisowy do gąsienic.



Rys. 3.11. Podpory stabilizujące kruszarki [76].

Przenośnik boczny – drobnego ziarna – został przedstawiony na rysunku 3.12 i posiada następujące cechy:

- hydraulicznie składany,
- szerokość taśmy 650 mm,
- wysokość zrzutu 2 624 mm,
- składany i rozkładany hydraulicznie,
- napęd hydrauliczny.



Rys. 3.12. Przenośnik boczny drobnego ziarna w kruszarce [76].

Pilot zdalnego/radiowego sterowania został przedstawiony na rysunku 3.13 i posiada następujące cechy:

- zatrzymania/wyłączenia/zwolnienia/przyspieszenia podajnika,
- podnoszenia i opuszczania taśmociągu,
- podnoszenia i opuszczania kurtyny górnej,
- podnoszenia i opuszczania wlotu do komory.



Rys. 3.13. Pilot zdalnego sterowania [76].

Separator magnetyczny ERIEZ został przedstawiony na rysunku 3.14 i posiada następujące cechy:

- CP20/80 SC2,
- szerokość 750 mm,
- regulowana wysokość,
- samooczyszczający.



Rys. 3.14. Separator magnetyczny w kruszarce [76].

Rolki magnetyczne montowane są na końcu przenośnika taśmowego jako bęben zwrotny lub napędowy. Separacja obiektów magnetycznych od pozostałej frakcji przebiega przez zatrzymanie tych pierwszych na powierzchni taśmy i wyrzucenie ich do tyłu. Niemagnetyczna frakcja spada swobodnie do przesypu. Dużą zaletą tego rozwiązania jest bezpośredni kontakt pola magnetycznego z oczyszczanym produktem. Sytuacja jest odmienna od separatorów nadtaśmowych, które są zawieszane w określonej odległości od materiału.

Do usuwania obiektów o większej długości, np. prętów zbrojeniowych w recyklingu gruzu, lepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie separatora nadtaśmowego.

W celu stworzenia kompleksowej instalacji do usuwania metali, należy zastosować kombinację rolki magnetycznej w bębnie zwrotnym, oraz zawieszonego nad przenośnikiem separatora samoczyszczącego. Magnes nadtaśmowy będzie wychwytywał duże elementy

żelazne, podczas gdy bęben magnetyczny poradzi sobie doskonale z obiektami o słabych właściwościach magnetycznych.

Innowacyjny proces przetwarzania zakłada separację stali nierdzewnej, która nie posiada właściwości magnetycznych. Jednakże bezpośrednio po procesie rozdrobnienia materiał ten jest magnetyczny. Mamy rozwiązanie tego trudnego problemu: potężne magnesy neodymowe w bębnie zwrotnym mogą separować ten materiał dzięki bardzo silnemu i gęstemu polu magnetycznemu. Są to bębny magnetyczne ze specjalnym układem magnetycznym do separacji stali nierdzewnej i kwasoodpornej. Cechuje je osiowe ułożenie dużej mocy magnesów 12-polowych.

Cechy innowacyjnych rolek magnetycznych:

- usuwanie małych i ciężkich elementów metalowych od 1 mm wzwyż,
- maksymalna penetracja: 100 mm,
- oczyszczanie: automatyczne (ciągłe),
- rodzaj magnesów: trwałe ferrytowe lub Neoflux® (neodymowe),
- indukcja magnetyczna 3000, 6000 lub 9000 gausów,
- brak zasilania elektrycznego,
- wymiary rolki: dopasowane do aplikacji,
- opcjonalnie dostawa opraw łożyskowych z łożyskami,
- możliwość dostarczenia bębna gumowanego (np. karo, 8 mm),
- szerokość przenośnika: od 300 mm do 2000 mm.

3.2. Opis głównych komponentów mobilnej linii przetwórczej odpadów budowlanych

3.2.1. Opis ogólny linii przetwórstwa odpadów budowlanych

Kruszarki mobilne są urządzeniami mechanicznymi z napędem głównym pochodzącym od silnika spalinowego. Jest to jednostka z zapłonem samoczynnym (diesla), przystosowana do pracy z dużymi obciążeniami. Napęd na rolki obrotowe jest przenoszony z silnika spalinowego w sposób hydrauliczny. Kolejnym elementem

innowacyjnej linii przetwórczej jest przesiewacz. Ostatnim elementem linii przetwórczej jest ładowarka.

Krótka analiza działania urządzenia może skutkować stwierdzeniem, że **praca mobilnej kruszarki może zostać dodatkowo zautomatyzowana oraz opomiarowana w celu monitoringu pracy oraz sterowania wydajnością całej linii**. W ten sposób możliwe było zaplanowanie prac badawczo-rozwojowych, mających na celu nadanie projektowanej linii technologicznej innowacyjnych cech. Owe cechy nie tylko będą wyróżnikiem linii ze względu na niespotykane dotąd aplikacje, ale będą walnie przyczyniać się do wzrostu wydajności pracy przedmiotowej linii.

Komponenty występujące w projekcie mobilnej linii do przetwarzania odpadów budowlanych:

1. **Mobilność** oznaczająca możliwość poruszania się z wykorzystaniem własnego napędu lub łatwego przewiezienia za pomocą innych środków transportu. Jest to cecha odróżniająca przedmiotową linię od rozwiązań stacjonarnych, obecnie powszechnie stosowanych. Rozwiązania stacjonarne wymagają dostarczenia wsadu do przetwarzania do miejsca postawienia maszyn. Wersje mobilne mogą być dostarczone do produktu podlegającego przetwórstwu. Wersje mobilne muszą być zoptymalizowane pod względem ciężaru własnego oraz gabarytów zewnętrznych.
2. **Rodzaj mechanizmu kruszącego**. Wieloletnia praktyka rynkowa podpowiada, że najlepszym rozwiązaniem do przedmiotowych zastosowań jest szczękowy lub udarowy rodzaj mechanizmu kruszącego. Jeden i drugi został uznany za niezawodny i nie stanowi przedmiotu prac badawczo-rozwojowych.
3. **Mechanizm transportowy oparty na taśmociągach**.
4. **Mechanizm rolkowy** z różnego rodzaju separatorami. Mechanizm rolkowy napędza pas transmisyjny i za jego pomocą przemieszcza przetwarzane odpady. Ale nie tylko. Rolki separatora mogą posiadać bardziej skomplikowaną konstrukcję niż zwykły bęben transmisyjny. Umieszczone w środku bębna separatory magnetyczne mają za zadanie oddzielanie poszczególnych rodzajów materiałów z przetwarzanych odpadów. Głównymi cennymi zawartościami są metale żelazne i metale nieżelazne. Ze względu na ich odmienne własności fizyko-chemiczne są separowane za pomocą innych urządzeń separujących.

5. **Separatory podwieszane**. Pełnią podobną rolę, jak separatory bębnowe, tylko są podwieszane w praktycznie dowolnym miejscu nad pasem transmisyjnym z przetwarzanym produktem. Ich zadaniem jest zazwyczaj separowanie większych kawałków metali żelaznych o wymiarach około 15 cm.
6. **Przesiewacz jest urządzeniem sitowym**, zdolnym do separacji przetwarzanego wsadu na trzy frakcje, zależne od ich wymiarów zewnętrznych. Przesiewacze mogą być ustawione w wielu miejscach na linii przetwórczej w zależności od ilości i jakości zakładanego przetwórstwa. Inaczej mówiąc, w zależności od granulatu i zawartości wybranych zanieczyszczeń. Granulat i jego czystość stanowią o jego cenie i dalszym wykorzystaniu.

3.2.2. Szczękowe mechanizmy kruszące

Kruszarki szczękowe mają w chwili obecnej największe praktyczne zastosowanie **w przetwórstwie odpadów budowlanych**. Ich ważnym elementem są szczęki kruszące przedstawione na rysunku 3.15.



Rys. 3.15. Szczęki kruszące kruszarki [77].

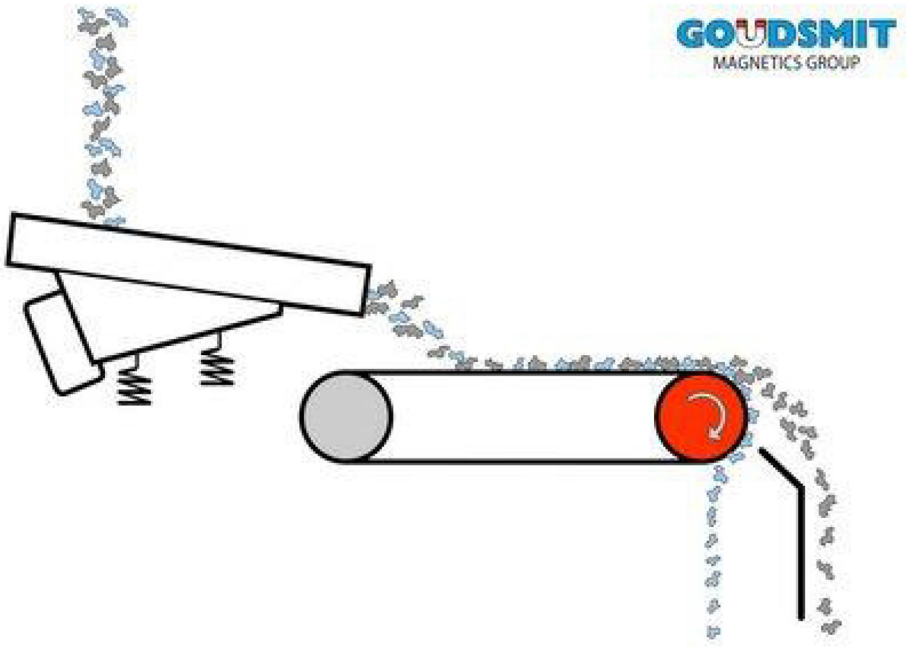
W zależności od aplikacji stosuje się różne typy szczęk kruszących:

1. **Szczęki standardowe** – zaprojektowane zostały do kruszenia żwiru, miękkich i średnio miękkich skał. Profil „Standard" w małych kruszarkach Metso stosowany jest także przy recyklingu gruzu budowlanego. Jedna ze szczęk o ostrym profilu zapewnia dobry kontakt z kruszonym materiałem typu otoczak. Przestrzeń pomiędzy zębami zapewnia swobodny ruch drobnego materiału między zębami.
2. **Szczęki dla kamieniołomów „Quarry"** – zaprojektowane zostały do kruszenia materiału po strzelaniu w kamieniołomie. Doskonale nadają się do pracy z twardym i abrazyjnym materiałem. Płaski profil zęba ma na celu wydłużenie żywotności szczęki. Mała przestrzeń między zębami obniża skuteczność przemieszczania się drobnych frakcji, stąd bardzo istotny jest wstępny odsiew przed kruszarką.
3. **Szczęki „Super teeth"** – właściwości tych szczęk to dłuższa żywotność niż szczęk standardowych, a kształt płyt sprawia, że drobny materiał szybciej przelatuje niż w szczękach dla kamieniołomu. Aplikacja jak dla szczęk „Quarry" z większą ilością drobnych frakcji.
4. **Szczęki „Special thick"** – są to w zasadzie szczęki typu „Quarry" z wyższą wysokością zęba, zapewniającą dłuższą żywotność przy bardzo abrazyjnym materiale.
5. **Szczęki „Super grip"** – zostały zaprojektowane do współpracy ze stałą szczęką typu „Quarry" zapewniając lepsze wgryzanie się w materiał, lepszą wydajność i lepszy przepływ drobnej frakcji przez komorę kruszenia. Do stosowania z twardą skałą typu otoczak z dużą ilością drobnej nadawy.
6. **Szczęki do recyklingu** – zaprojektowane do kruszenia gruzu budowlanego, cegieł oraz destruktu asfaltowego. Płaski, półokrągły profil zęba ułatwia przepływ materiału oraz uniemożliwia przylepianie się materiału do zębów szczęki.
7. **Szczęki specjalne** – dla wymagających użytkowników powstało kilka specjalnych profili szczęk kruszących, szytych na miarę ich potrzeb. Na przykład, w przypadku produkcji zbyt płaskich ziaren zastosowanie profilu szczęki specjalnej może mieć wpływ na produkcję ziaren bardziej kubicznych. W innym przypadku zastosowanie szczęki specjalnej może mieć znaczący wpływ na zmniejszenie przyspieszonego zużycia szczęk poprzez zastosowanie innego staliwa.

3.2.3. Bębny magnetyczne

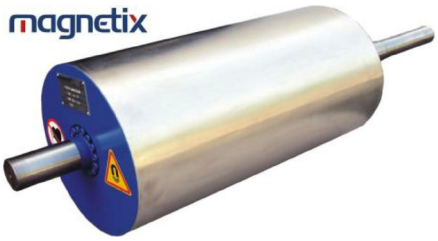
Bęben magnetyczny (rolka magnetyczna) typu BM jest przeznaczony do automatycznego oddzielania żelaza od materiałów sypkich, transportowanych na przenośnikach taśmowych.

Rolki magnetyczne montowane są na końcu przenośnika taśmowego jako bęben zwrotny lub napędowy. Separacja obiektów magnetycznych od pozostałej frakcji przebiega przez zatrzymanie tych pierwszych na powierzchni taśmy i wyrzucenie ich do tyłu (rysunek 3.16). Niemagnetyczna frakcja spada swobodnie do przesypu. Dużą zaletą tego rozwiązania jest bezpośredni kontakt pola magnetycznego z oczyszczanym produktem. Sytuacja jest odmienna od separatorów nadtaśmowych, które są zawieszane w określonej odległości od materiału.



Rys. 3.16. Zasada działania bębnowego separatora magnetycznego.

Bęben magnetyczny (rysunki 3.17, 3.18 i 3.19) zabezpiecza maszyny technologiczne przed uszkodzeniem spowodowanym przez niepożądany kawałek metalu, jak również odzyskuje cenny złom żelazny z surowców odpadowych.



Rys. 3.17. Bęben magnetyczny stalowy gładki.



Rys. 3.18. Bęben magnetyczny gumowany.



Rys. 3.19. Bęben magnetyczny w zastosowaniu stacjonarnym.

Aplikacje z udziałem bębna magnetycznego są następujące:

- Separacja zanieczyszczeń żelaznych z węgla, granitu, wapienia, bazaltu i innych kruszyw w celu ochrony młynów i kruszarek.
- Oczyszczanie grysów, piasków, mączek i innych substancji mineralnych.
- Oddzielanie zanieczyszczeń żelaznych na poszczególnych etapach produkcji cementu.
- Separacja żeliwa i staliwa z mas formierskich.
- Oczyszczanie zrębków, wiórów i innych rozdrobnionych surowców drzewnych.
- Oczyszczanie stłuczki szklanej, gumy, tworzyw sztucznych i innych surowców pochodzących z recyklingu.
- Odzysk złomu żelaznego z odpadów komunalnych i przemysłowych.
- Oczyszczanie paliw alternatywnych i kompostu.
- Bębny magnetyczne do oczyszczania śrutu i innych materiałów ściernych w zamkniętych układach piaskowania i śrutowania.
- Bębny magnetyczne ze specjalnym układem magnetycznym do separacji stali nierdzewnej i kwasoodpornej.

Zalety bębna magnetycznego:

- Możliwość adaptacji do wszystkich rodzajów przenośników taśmowych.
- Doskonale uzupełnia działanie separatora magnetycznego zawieszonego nad przenośnikiem taśmowym.
- Bęben magnetyczny posiada wymienny wał wykonany ze stali jakościowej o zwiększonej wytrzymałości i zamocowany w przeponach za pomocą pierścieni rozprężnych.
- Cechuje się solidną konstrukcją zapewniającą długą żywotność.
- Produkcja bębnów magnetycznych do mobilnych maszyn kruszących i przesiewających.

Możliwe do zakupu na rynku warianty wykonania bębna magnetycznego:

- Bęben magnetyczny (rolka magnetyczna) typu BMF: Zbudowany z magnesów ferrytowych o średnim natężeniu pola magnetycznego i przeznaczony do usuwania z transportowanego surowca większych kawałków metalu w postaci śrub, nitów, gwoździ, narzędzi, urwanych części maszyn.

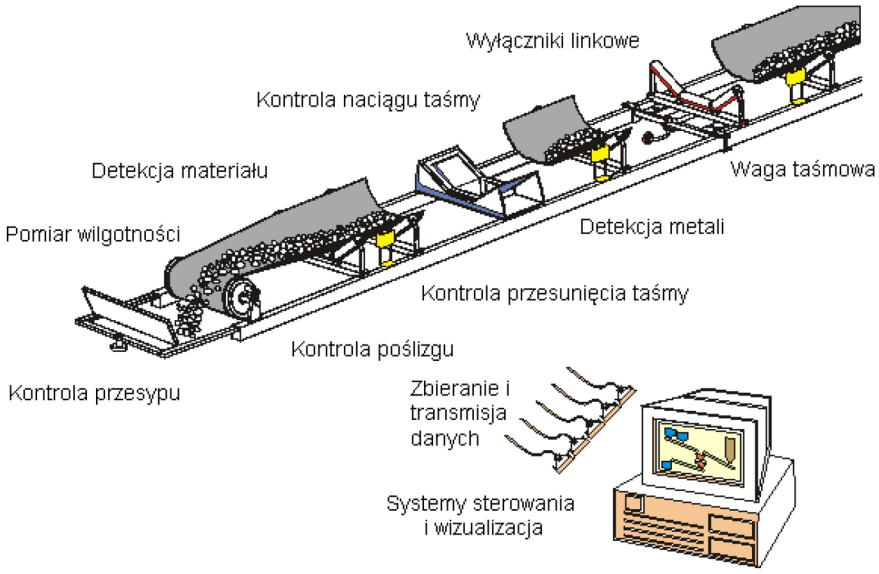
- Bęben magnetyczny (rolka magnetyczna) typu BMN: Zbudowany z wysokoenergetycznych magnesów neodymowych NdFeB o wysokim natężeniu pola magnetycznego i przeznaczony do usuwania z transportowanego surowca kawałków metalu o bardzo małej masie i powierzchni, opiłków, rdzy i innych zanieczyszczeń słabo podatnych magnetycznie.
- Bęben elektromagnetyczny (rolka elektromagnetyczna) typu BME: Zbudowany z elektromagnesów zasilanych prądem stałym o dużym zasięgu pola magnetycznego i przeznaczony głównie do oddzielania wielkogabarytowego złomu żelaznego.

W zakresie właściwego doboru komponentów w postaci separatorów magnetycznych bębnowych istnieje optymalne połączenie. W celu stworzenia kompleksowej instalacji do usuwania metali, należy **zastosować kombinację rolki magnetycznej w bębnie zwrotnym, oraz zawieszonego nad przenośnikiem separatora samoczyszczącego**. Magnes nadtaśmowy będzie wychwytywał duże elementy żelazne, podczas gdy bęben magnetyczny poradzi sobie doskonale z obiektami o słabych właściwościach magnetycznych.

3.3. Opcjonalne systemy automatyki

Automatyka dla przenośników taśmowych jest dość duża i obejmuje (patrz rysunek 3.20) [78]:

- wyłączniki linkowe LHPE (dwustronne),
- wyłączniki linkowe LHPE (jednostronne),
- wyłączniki linkowe Lifeline 4,
- czujniki zbiegania taśmy LHPE-L,
- wyłączniki krańcowe LHPE-R,
- czujniki obrotów VHR-10M,
- termopary do pomiarów temperatur.



Rys. 3.20. Opcjonalne systemy automatyki [78].

W zastosowaniach stacjonarnych można spotkać wiele **opcjonalnych systemów automatyki**. Dla rozwiązań mobilnych wybór jest o wiele mniejszy. Wynika to z konieczności zasilania wszystkich komponentów i przeprowadzenia przewodów sygnałowych. Zazwyczaj są to rozwiązania transmisji kablowej trudne do zastosowania w wersjach mobilnych. Korzystając z bezprzewodowych systemów transmisji, można uprościć konstrukcję i uczynić ją bardziej niezawodną.

3.3.1. Wyłączniki linkowe Lifeline 4

Wyłączniki linkowe zapewniają szybkie zatrzymanie przenośników taśmowych lub innych urządzeń o znacznych rozmiarach z dowolnego miejsca (rysunek 3.21). Pociągnięcie za linkę powoduje awaryjne wyłączenie urządzenia.



Rys. 3.21. Wyłącznik linkowy typu Lifeline 4 [78].

Zapewniają bezpieczeństwo pracy przy przenośniku taśmowym zgodnie ze zharmonizowanymi **normami Unii Europejskiej**:

- PN-EN 1050: „Maszyny. Bezpieczeństwo. Zasady oceny ryzyka”.
- PN-EN 954-1: „Maszyny. Bezpieczeństwo. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem”.
- PN-EN 418: „Maszyny. Bezpieczeństwo. Wyposażenie do zatrzymywania awaryjnego; aspekty funkcjonalne”.

Wyłączniki linkowe są wymagane wszędzie tam, gdzie do przenośników taśmowych mają dostęp ludzie. Zgodnie z wymogami norm bezpieczeństwa należy zapewnić możliwość zatrzymania przenośnika z każdego miejsca na całej jego długości. Już w przypadku przenośnika o długości kilku metrów wyłącznik STOP, znajdujący się przy napędzie, nie wystarcza do spełnienia tego kryterium.

Wyłączniki typu Lifeline 4 (rysunek 3.22) są niedrogim rozwiązaniem, zalecanym przez nas szczególnie dla krótszych taśm, w relatywnie stabilnych warunkach temperaturowych.



Rys. 3.22. Wyłącznik linkowy – opis przycisków [78].

Wyłączniki linkowe Lifeline 4 są przeznaczone do montażu linki z jednej strony. W zależności od warunków, długość linki nie powinna przekraczać 75 m. Dla warunków z dużym zapyleniem i większymi długościami przenośnika zalecamy zastosowanie wyłączników serii LHPE. Zgodnie z normami PN-EN 60497 i PN-EN 418 zestyk (zatrzymanie) następuje zarówno w przypadku pociągnięcia za linkę, jak i w przypadku zerwania lub poluzowania linki. Po aktywacji dochodzi do mechanicznej blokady wyłącznika. Odblokowanie jest możliwe jedynie ręcznie, bezpośrednio na wyłączniku. Stan wyłącznika można obserwować bezpośrednio przez okienko ze specjalnym wskaźnikiem (wyłącznik pracuje normalnie/pociągnięto za linkę/linka zerwana).

Parametry techniczne:

- Spełnianie normy: EN60947-5-5, ISO13850, ISOTR 12100, IEC 60947-5-1, PN-EN 418, CE.
- Zestyki: 2NC (+2NO) lub 3NC (+1NO) lub 4NC.
- Minimalne zasilanie: 5 V, 5 mA.
- Maksymalna częstość aktywacji: 1 cykl/1 sek.

- Obudowa: odlew o wysokiej wytrzymałości, IP 66.
- Wyjście: 3 x M20 lub 3 x 1,2”, szybkie rozłączanie.
- Temperatura otoczenia: -25°C do +80°C.
- Siła do zadziałania: <125 N.
- Montaż: 4 x M5.
- Liczba cykli mechanicznych: 1 000 000.
- Waga: 630 g.

3.3.2. Wyłączniki krańcowe LHPE-R

Wyłączniki krańcowe stosowane są w następujących branżach:

- surowce mineralne,
- automatyka.

Wyłącznik krańcowy służy do sygnalizowania zmiany położenia urządzenia lub jego części, tak aby zapobiegać uszkodzeniu maszyny wskutek jej przemieszczenia poza położenie dozwolone (rysunek 3.23).

W zależności od sposobu podłączenia zestyków do systemu sterującego, następuje uruchomienie sygnalizacji ostrzegawczej lub zatrzymanie napędu urządzenia.



Rys. 3.23. Wyłącznik krańcowy [78].

Mechaniczne zabezpieczenie urządzeń w przemyśle ciężkim, także w warunkach dużej wilgotności, zapylenia, etc.

Wyłącznik zaopatrzony jest w dźwignię z rolką, która obraca się w momencie kontaktu z częścią zmieniającą położenie. Oprócz dźwigni czujnik zaopatrzony jest w nóżki montażowe, ewentualną (w wersji z blokadą) dźwignię resetu oraz dwa wyjścia dla wypustów kablowych M25. Wewnątrz posiada mechanizm uruchamiający i określoną liczbę mikrostyków (1 do 4 – ich liczbę określa oznaczenie wyłącznika – cyfra za ukośnikiem).

Cechą charakterystyczną wyłączników serii LHPE jest bardzo wysoka żywotność, która dzięki ochronie IP 67 pozwala zastosować wyłączniki LHPE w typowo przemysłowych, ciężkich warunkach.

Parametry techniczne:

- Kąt zadziałania: 25°.
- Wyjścia: M25 x 1,5.
- Obudowa: IP 67.
- Klasa ochronności: 2.
- Zestyki: samoczyszczące, także dla niskich prądów.
- Liczba zestyków: 1NC+1NO lub 2NC+2NO lub większa ilość na życzenie.
- Obciążenie: 400V AC 6A / 230V AC 8A / 24V DC 10A / 80V DC 3A.
- Materiał obudowy: poliester utwardzany włóknem szklanym (opcjonalnie żeliwo).
- Barwa: żółta RAL 1004 lub czerwona RAL 3000.
- Waga: 2,0 kg.
- Mocowanie: dwa otwory na śruby M10.
- Dopuszczalna temperatura: -40°C do +85°C.

3.3.3. Czujniki prędkości obrotowej

Czujniki prędkości obrotowej, zwane potocznie czujnikami obrotów, są bardzo ważnymi elementami automatyki przemysłowej. Niosą bardzo dużo informacji o zachodzących na linii przetwórczej procesach, o ich szybkości i efektywności.

Zazwyczaj w rozwiązaniach mobilnych stosuje się 2 typy czujników:

- indukcyjne (nie wymaga zasilania),
- hallotronowe (wymaga zasilania).

Jeżeli na pokładzie linii występują **silniki bezszczotkowe prądu stałego** do detekcji prędkości obrotowej rotora może być wykorzystana wsteczna siła elektromotoryczna (BEMF).

Przykłady czujników prędkości obrotowej mogące być wykorzystane do doposażenia mobilnej linii przetwórczej:

- SHR-2 jest to czujnik obrotów w masywnym wykonaniu współpracujący z magnesami MHR-2, MHR-3, MHR-4, MHR-5. Nie zawiera żadnej elektroniki, ani ruchomych części mechanicznych. Jest odporny na wpływy atmosferyczne. Nie wymaga zasilania.
- VHR-Z jest to wzmacniacz formujący impulsy z czujnika SHR-2 do podłączenia do jednostki analizującej VHR-10M albo do sterownika PLC.
- SHR-3 jest czujnikiem obrotów w masywnym wykonaniu reagującym na magnes MHR-2, MHR-3, MHR-4, MHR-5 zawiera wzmacniacze impulsów do podłączenia do jednostki analizującej VHR-10M albo do sterownika PLC. Wymaga zasilania.

3.3.4. Detekcja materiału

Zadaniem **detektorów materiału** jest stwierdzenie jego obecności na taśmie lub w kolibie. **Przykładem mogą być następujące dostępne komercyjnie wersje:**

- UMV1 jest to kompletny ultradźwiękowy czujnik do detekcji materiału na taśmie transportowej. Nadaje się do wszystkich typów przenośników, różnych transportowanych materiałów i różnych frakcji.
- UMV1 s PID, czyli kompletny ultradźwiękowy czujnik do detekcji materiału na taśmie transportowej z regulacją PID. Nadaje się do wszystkich typów przenośników, różnych transportowanych materiałów i różnych frakcji.

Czujniki detekcji materiału mogą być bardzo ważnymi komponentami w innowacyjnej linii przetwórczej. W projekcie linii przetwórczej wprowadzono cechy, którymi charakteryzują się urządzenia Internetu Rzeczy zdolne do komunikowania się miedzy sobą oraz osobami z obsługi za pomocą systemów transmisji przewodowej i bezprzewodowej. Przykładem jest **automatyczny system detekcji zapełnienia koliby, powiadamiający obsługę za pomocą SMS -a o konieczności podstawienia pustej**.

3.3.5. Termopary do pomiaru temperatur

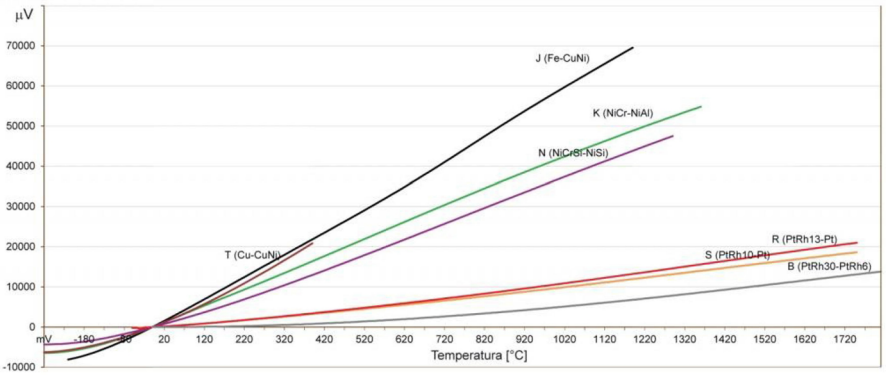
Termopary, przedstawione na rysunku 3.24, są to **termoelektryczne czujniki temperatury**. Termopary mierzą temperaturę na podstawie **zmiany napięcia termoelektrycznego wbudowanego w nie termoelementu (termopary)**. Napięcie generowane przez termopary zmienia się wraz ze zmianą temperatury (im temperatura wyższa, tym generowane jest wyższe napięcie). Termopara składa się z dwóch drutów, każdy z drutów termopary wykonany jest z innego materiału (metalu lub stopu metalu). W zastosowaniach przemysłowych najczęściej stosuje się termopary typu J, K, N, S oraz B.



Rys. 3.24. Termopary [78].

W zależności od zastosowanych materiałów **termopary generują różne napięcie termoelektryczne**. Zależności pomiędzy napięciem generowanym przez termoparę a temperaturą są unormowane. Wartości siły termoelektrycznej dla poszczególnych termopar oraz dopuszczalne odchyłki są opisane normą PN-EN60584-1: 2014-04 (patrz „Charakterystyki termoelektrycznych czujników temperatury").

Najczęściej używane typy termopar to termopary: E, J, K, T i N, które wykorzystują powszechnie dostępne metale takie jak nikiel, miedź i żelazo (rysunek 3.25). Zakres pomiarowy tych czujników w zależności od typu termopary mieści się w przedziale -200…1200°C.



Rys. 3.25. Charakterystyki termopar [78].

Podział termopar ze względu na zastosowanie:

- Termopara typu E (NiCr-CuNi) – jeden biegun składa się z NiCr, a drugi z konstantanu (CuNi). Zakres stosowania termopary typu E wynosi -200…+900°C, a czułość to 68µV/°C. Czułość termopary E jest największa w porównaniu do innych termopar. Termopary typu E mogą być używane w atmosferze obojętnej i utleniającej, natomiast nie należy ich używać w atmosferze redukującej i w próżni.
- Termopara typu J (Fe-CuNi) wykonana jest z żelaza (Fe) w połączeniu konstantanem (CuNi). Zakres stosowania termopary typu J wynosi -40…+750°C, a czułość to – 55µV/°C. Termopary typu J (Fe-CuNi) przeznaczone są do pomiaru temperatury w atmosferze obojętnej, redukującej, utleniającej, jak i w próżni.
- Termopara typu K (NiCr-Ni) wykonana jest z NiCr-Ni, zakres stosowania termopary typu K wynosi -200…+1200°C, a ich czułość to 41µV/°C. Termopary typu K charakteryzują się większą odpornością na utlenianie, niż termopary typu E, J i T, nie jest zalecane używanie termopar typu K w atmosferze redukującej i próżni.
- Termopara typu N (NiCrSi-NiSi) wykonana jest ze stopów NiCr-Si-NiSi, zakres pomiarowy temperatury termopary typu N wynosi -200…+1200°C, a czułość to 39µV/°C. Termopary typu N odporne są na utlenianie, nawet w wysokich temperaturach.
- Termopara typu T (Cu-CuNi) składa się z Cu-CuNi. Termopary typu T przeznaczone są do pomiaru temperatury w zakresie -200…+350°C. Czułość termopary T wynosi 30µV/°C. Nadają się one do pomiarów temperatury w atmosferze utleniającej, redukującej, obojętnej i w próżni.

3.4. Ćwiczenia



3.4.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj analizy i charakterystyki elementów elektromechanicznych w dowolnej kruszarce szczękowej firmy PowerScreen. Analizy dokonaj na podstawie specyfikacji przedstawionych przez producenta na stronach internetowych oraz instrukcji obsługi urządzenia. Analiza powinna zawierać opis i budowę przynajmniej jednego napędu liniowego, jednego napędu obrotowego, czujników oraz sterowania. Każdy z elementów powinien zostać scharakteryzowany jako element elektromechaniczny, mający warstwę mechaniczną (hardware) oraz elektroniczną (firmware i software).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3.4.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj analizy i charakterystyki elementów elektromechanicznych w dowolnej kruszarce szczękowej firmy PowerScreen. Analizy dokonaj na podstawie specyfikacji przedstawionych przez producenta na stronach internetowych oraz instrukcji obsługi urządzenia. Analiza powinna zawierać opis i budowę przynajmniej jednego napędu liniowego, jednego napędu obrotowego, czujników oraz sterowania. Każdy z elementów powinien zostać scharakteryzowany jako element elektromechaniczny, mający warstwę mechaniczną (hardware) oraz elektroniczną (firmware i software).

.....
.....
.....
.....
.....
.....



3.4.3. Ćwiczenie 3

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu liniowego, mogącego mieć zastosowanie w mobilnej linii przetwarzania betonu. Należy zgromadzić kompletną dokumentację i specyfikację techniczną napędu w celu jego integracji z systemem sterowania maszyny. Należy wskazać potencjalne zastosowania takiego napędu liniowego.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

3.4.4. Ćwiczenie 4

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu obrotowego, mogącego mieć zastosowanie w mobilnej linii przetwarzania betonu. Należy zgromadzić kompletną dokumentację i specyfikację techniczną napędu w celu jego integracji z systemem sterowania maszyny. Należy wskazać potencjalne zastosowania takiego napędu obrotowego.

.....
.....
.....
.....
.....

3.4.5. Ćwiczenie 5

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu liniowego mogącego mieć zastosowanie w mobilnej linii przetwarzania betonu. Należy pozyskać modele 3D wszystkich komponentów i dokonać ich złożenia w programie Solid Edge.

.....
.....
.....
.....
.....

3.5. Pytania testowe



1. Największe obciążenia jest w stanie przenieść napęd:

a. Elektryczny.
b. Pneumatyczny.
c. Hydrauliczny.

2. Maszyna rozdrabniająca gruz i surowce mineralne to:

a. Rozdrabniarka.
b. Kruszarka.
c. Rębak.

3. Napięcie generowane przez termopary zmienia się wraz ze zmianą temperatury, tj.:

a. Im niższa temperatura tym wyższe napięcie.
b. Im wyższa temperatura tym wyższe napięcie.
c. Im wyższa temperatura tym niższe napięcie.

4. Indukcyjne czujniki prędkości obrotowej:

a. Wymagają zasilania.
b. Nie wymagają zasilania.

5. Hallotronowe czujniki prędkości obrotowej:

a. Wymagają zasilania.
b. Nie wymagają zasilania.

6. Bęben magnetyczny w kruszarkach szczękowych:

a. Służy do wspomagania procesu kruszenia.
b. Służy do separacji frakcji żelaznej od materiałów sypkich.
c. Jest montowany na początku przenośnika taśmowego.

7. Cechą bębna magnetycznego jest:

a. Możliwość adaptacji do wszystkich rodzajów przenośników taśmowych.
b. Brak możliwości adaptacji do wszystkich rodzajów przenośników taśmowych.
c. Brak wymiennego wału.

8. Szczęki do kamieniołomów noszą nazwę:

a. Standard.
b. Grip.
c. Quarry.

9. Kruszarki gąsienicowe są samojezdne:

a. TAK.
b. NIE.

10. Napęd główny kruszarki mobilnej, to silnik:

a. Spalinowy.
b. Elektryczny.
c. Hydrauliczny.

11. Napęd na rolki obrotowe kruszarki jest przenoszony w sposób:

a. Elektryczny.
b. Pneumatyczny.
c. Hydrauliczny.

12. Szczęki typu Standard:

a. Doskonale nadają się do pracy z twardym i abrazyjnym materiałem.
b. Służą do kruszenia żwiru, miękkich i średnio miękkich skał.
c. Nadają się do współpracy z twardą skałą typu otoczak.

13. Wsteczna siła elektromotoryczna określana jest:

a. REMF.
b. FEMF.
c. BEMF.

14. Wyłączniki krańcowe służą do:

a. Zmiany kierunku ruchu urządzenia po przekroczeniu ustalonej pozycji.
b. Zatrzymania urządzenia po przekroczeniu ustalonej pozycji.
c. Nie są stosowane w układach mechatronicznych.



15. W ciężkich warunkach mogą być zastosowane urządzenia o klasie:

a. IP 67.
b. IP 47.
c. IP 27.

16. Stal nierdzewna przed rozdrobnieniem:

a. Posiada właściwości magnetyczne.
b. Nie posiada właściwości magnetycznych.

17. Stal nierdzewna po rozdrobnieniu:

a. Posiada właściwości magnetyczne.
b. Nie posiada właściwości magnetycznych.

18. Magnesy neodymowe:

a. Nie są stosowane w kruszarkach.
b. Posiadają bardzo słabe pole magnetyczne.
c. Posiadają bardzo silne pole magnetyczne.

19. Ostatnim elementem linii przetwórstwa odpadów budowlanych jest:

a. Ładowarka.
b. Kruszarka.
c. Przesiewacz.

20. Drugim elementem linii przetwórstwa odpadów budowlanych jest:

a. Ładowarka.
b. Kruszarka.
c. Przesiewacz.

21. Pierwszym elementem linii przetwórstwa odpadów budowlanych jest:

a. Ładowarka.
b. Kruszarka.
c. Przesiewacz.



22. Kruszarki szczękowe mają otwory podające:

a. Prawie okrągłe.
b. Prawie kwadratowe.
c. Trójkątne.

23. Do usuwania dużych elementów żelaznych najlepiej zastosować:

a. Bęben magnetyczny.
b. Ręcznie usunąć duże elementy żelazne.
c. Separator nadtaśmowy.

24. Termopara składa się z dwóch drutów, każdy z drutów wykonany jest:

a. Z tego samego materiału.
b. Z innego materiału.

25. Podawacz wibracyjny:

a. Napęd odbywa się przez dwa silniki mimośrodowe.
b. Napęd bezpośredni z silnika hydraulicznego.

26. Odsiewacz wstępny dwupokładowy:

a. Napęd odbywa się przez dwa silniki mimośrodowe.
b. Napęd bezpośredni z silnika hydraulicznego.

27. Optymalizację procesu kruszenia można uzyskać poprzez:

a. Małej pojemności komory zasypowe.
b. Dużej pojemności komory zasypowe.
c. Niski stopień rozdrobnienia.

28. Napędy gąsienicowe najczęściej zasilane są:

a. Silnikiem benzynowym.
b. Silnikiem Diesla.
c. Silnikiem elektrycznym.



29. W panelu sterowania kruszarki:

a. Przyciski sterowania nie są przypisane do odpowiednich funkcji.
b. Uruchomienie procesu kruszenia za pomocą jednego przycisku.
c. Uruchomienie procesu kruszenia za pomocą jednej linii kodu.

30. Optymalizację procesu kruszenia można uzyskać poprzez:

a. Brak możliwości przyjmowania dużych wsadów odpadów.
b. Niski stopień rozdrobnienia.
c. Wysoki stopień rozdrobnienia.

4. Maszyny rolowe do pakowania próżniowego jako urządzenia mechatroniczne

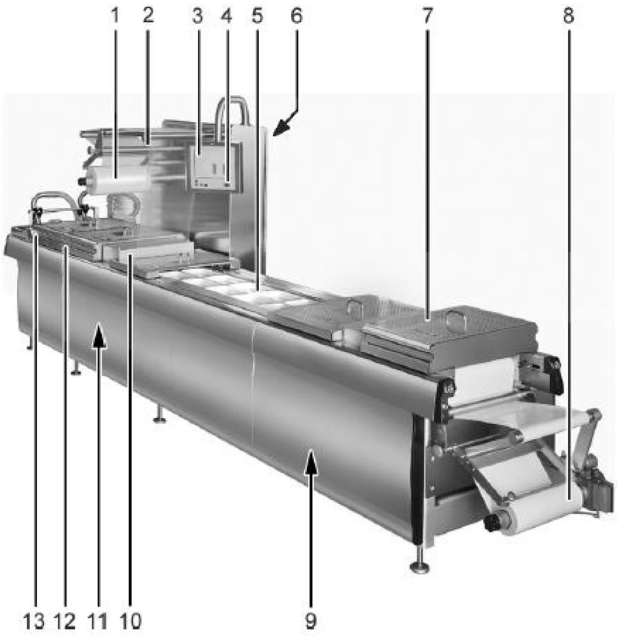


4.1. Budowa maszyny rolowej i opis procesu pakowania próżniowego

Standardem występującym w pakowaniu żywności w XXI wieku jest wykorzystanie pakowania próżniowego dla różnego rodzaju żywności. **Do automatycznego pakowania próżniowego służą zaawansowane maszyny mechatroniczne**, w których wykorzystanych jest bardzo wiele elementów elektromechanicznych. Zostaną one pokrótce scharakteryzowane podczas opisu działania przykładowej maszyny rolowej do pakowania próżniowego, produkowanej przez lubelską firmę Multivac [75].

Podstawowym elementem konstrukcyjnym maszyny rolowej do pakowania próżniowego jest rama wykonana ze stali nierdzewnej. Wygląd maszyny wraz z oznaczeniem jej głównych komponentów został przedstawiony na rysunku 4.1. Maszyna wyposażona jest w standardowe układy i stacje mogące różnić się od siebie w zależności od typu i wyposażenia maszyny. W maszynie można wyróżnić układ odwijania folii dolnej, stację formowania, układ posuwu, stację nakładania produktu, układ odwijania folii górnej, stację zgrzewania, stację cięcia poprzecznego, stację cięcia wzdłużnego oraz wylot maszyny.

Komponent oznaczony jako 1 na rysunku 4.1 to układ podawania folii górnej, 2 oznaczono sterowanie nadrukiem gniazdowym dla folii górnej, 3 to terminal obsługowy, 4 stanowi zatrzymanie awaryjne w postaci wyłącznika grzybkowego, 5 oznaczono odcinek nakładania produktu, potocznie zwany strefą załadunku, 6 jest to wyłącznik główny. Cyfrą 7 oznaczono stację formowania, 8 to układ podawania folii dolnej, zaś 9 to układ podnoszenia narzędzia formującego, 10 oznaczono stację zgrzewania, zaś 11 stację podnoszenia narzędzia zgrzewającego. Linię kończy 12, czyli układ cięcia poprzecznego oraz 13 oznaczająca układ cięcia wzdłużnego.



Rys. 4.1. Budowa maszyny rolowej [75].

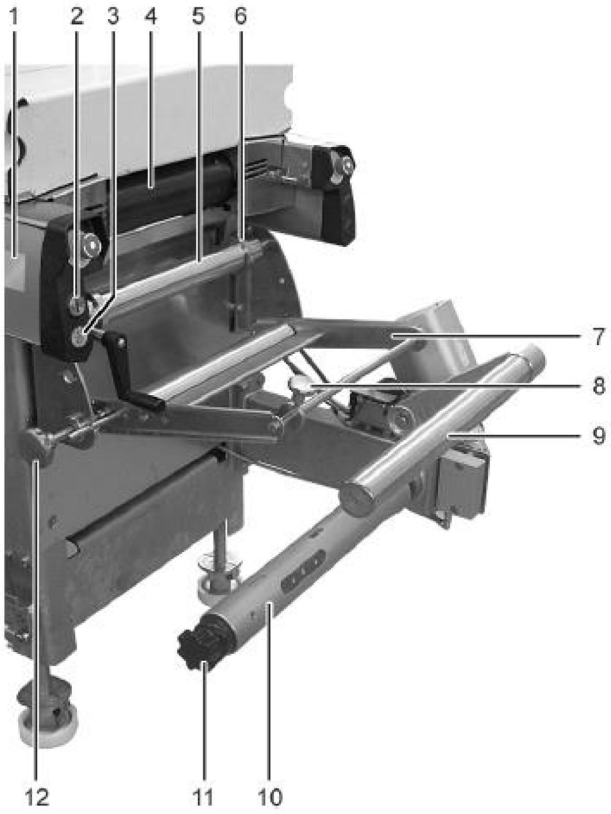
Układ podawania folii dolnej doprowadza materiał opakowaniowy do maszyny. Poprzez układ rolek w odpowiedniej konfiguracji, folia dolna dociera do łańcuchów transportowych, które chwytają folię i transportują ją w taktach pracy do narzędzia formującego. Długość posuwu w każdym takcie zależy od ilości, długości i formatu opakowań i zwana jest długością odcinania. Folia używana do pakowania na maszynach rolowych jest materiałem przeznaczonym do głębokiego tłoczenia. Podczas zakładania folii należy zwrócić uwagę na odpowiednie położenie strony zgrzewalnej zgodnie ze schematem przebiegu folii dostępnym na bocznej osłonie wlotu maszyny. Materiałem opakowaniowym może być: poliamid (PA), polipropylen (PP), polietylen (PE), poliester (PET), polichlorek winylu (PVC) oraz inne.

Z powyższego schematu i opisu wynika, że **maszyna rolowa do pakowania próżniowego jest skomplikowanym urządzeniem mechatronicznym**, wykorzystującym wiele elementów elektromechanicznych. Jedynie w zakresie transportu pakowanego towaru maszyny wykorzystują bardzo wiele technik i rozwiązań transportowych.

Należą do nich [75]:

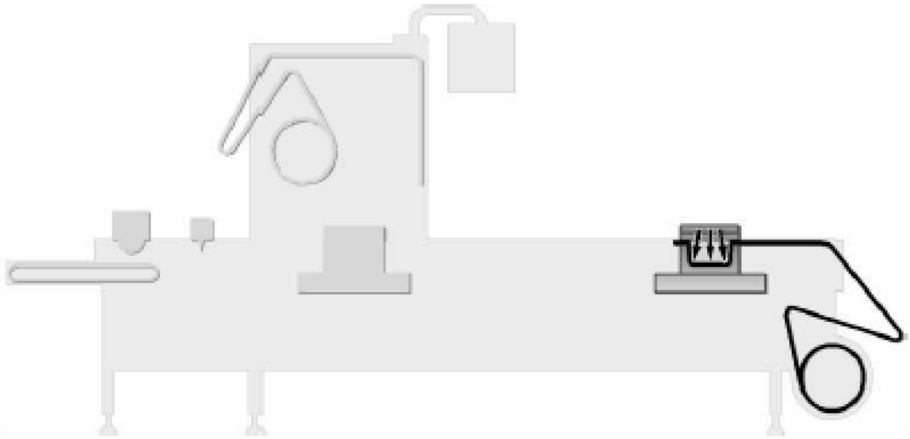
- modułowe taśmy przenośnikowe,
- tkaninowe taśmy przenośnikowe,
- pierścieniowe taśmy przenośnikowe,
- przenośniki rolkowe z napędem łańcuchowym,
- przenośniki rolkowe z silnikiem napędowym,
- grawitacyjne przenośniki rolkowe,
- łańcuchy zbierakowe.

Dokonajmy charakterystyki jednego z układów przedmiotowej maszyny. **Układ podawania folii dolnej** w maszynie rolowej do pakowania próżniowego przedstawiono na rysunku 4.2. Na obudowie każdej maszyny znajduje się schemat przebiegu folii dolnej oznaczony liczbą 1, 2 to przycisk posuwu, zaś 3 stanowi przycisk zaciskania rolki folii. 4 oznaczono rolkę wlotową, zaś 5 rolkę zwrotną, 6 to pierścień prowadzący, a 7 to prowadnica. 8 oznaczono kółko ręczne z krążkiem prowadzącym, zaś 9 ramię wahliwe, a na nim znajduje się trzpień mocujący 10, 11 to kółko ręczne zacisku, zaś 12 to kółko ręczne przebiegu folii.



Rys. 4.2. Układ podawania folii dolnej w maszynie rolowej do pakowania próżniowego [75].

Stacja formowania wyposażona jest w narzędzie formujące oraz układ podnoszenia. Narzędzie formujące dzieli się na dolną i górną część. Zadaniem narzędzia jest wyformowanie folii dolnej w wytłoczki opakowań. Układ podnoszenia porusza dolną część narzędzia w górę i w dół, podczas gdy posuw folii w łańcuchach jest zatrzymany. Ruch układów podnoszenia realizowany jest za pomocą napędów elektrycznych lub pneumatycznych w zależności od typu maszyny.



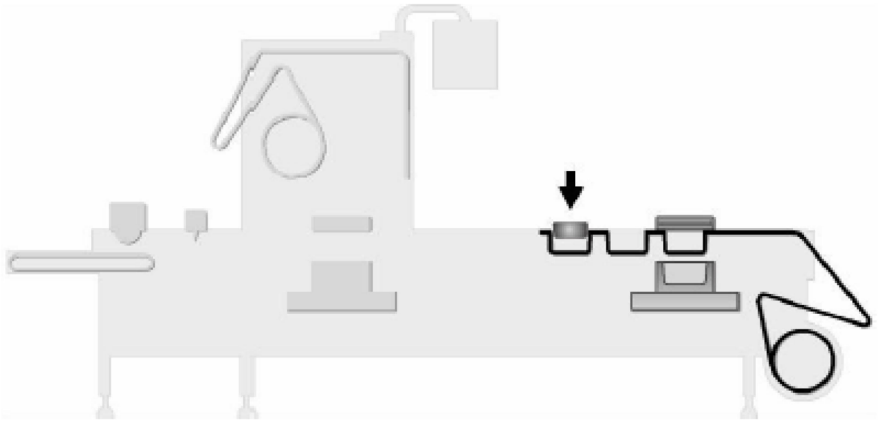
Rys. 4.3. Proces formowania folii [75].

Proces formowania folii rozpoczyna się zamknięciem narzędzia formującego (rysunek 4.3). Płyta grzejna w narzędziu formującym podgrzewa folię przez zadany okres fazy nagrzewania, następnie folia jest dociskana za pomocą próżni i/lub sprężonego powietrza do schłodzonej formy przez co następuje proces schładzania i formowania, tak powstaje wytłoczona dolna część opakowania. Cały cykl kończy się otworzeniem narzędzia formującego.

W zależności od wersji wykonania istnieją różne procesy formowania:

- Standard – podgrzewanie i formowanie w jednym takcie – proces przeznaczony do formowania wytłoczek płaskich i o średniej głębokości o nieskomplikowanych kształtach z cienkiej folii do 300 µm.
- Z podgrzewaniem wstępnym – proces podzielony jest na dwa takty, gdzie w pierwszym z nich następuje podgrzanie folii, a dopiero w następnym formowanie. Ten rodzaj formowania przeznaczony jest do wytłoczek opakowań płaskich i średniej głębokości z folii o grubości do 1200 µm.

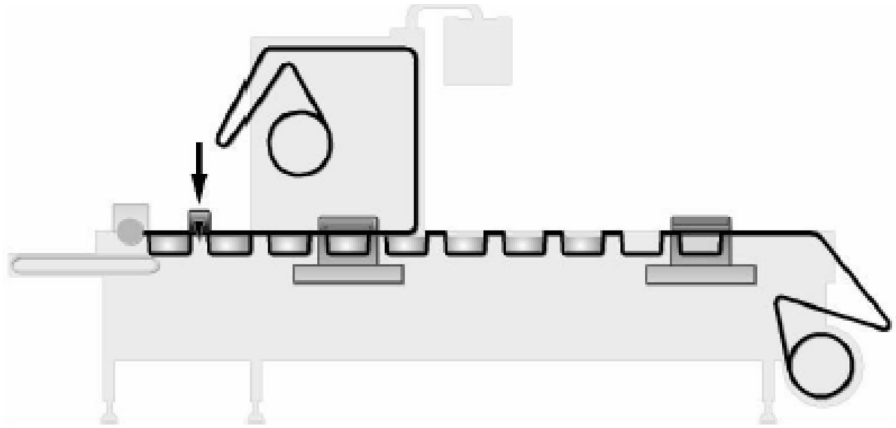
Po wyformowaniu dolnej części opakowania rozpoczyna się kolejny etap transportu folii, gdzie **wytłoczka trafia do strefy załadunku** (rysunek 4.4). W tym miejscu produkt przeznaczony do zapakowania wprowadzany jest do wytłoczek w sposób ręczny lub automatyczny.



Rys. 4.4. Załadunek produktu [75].

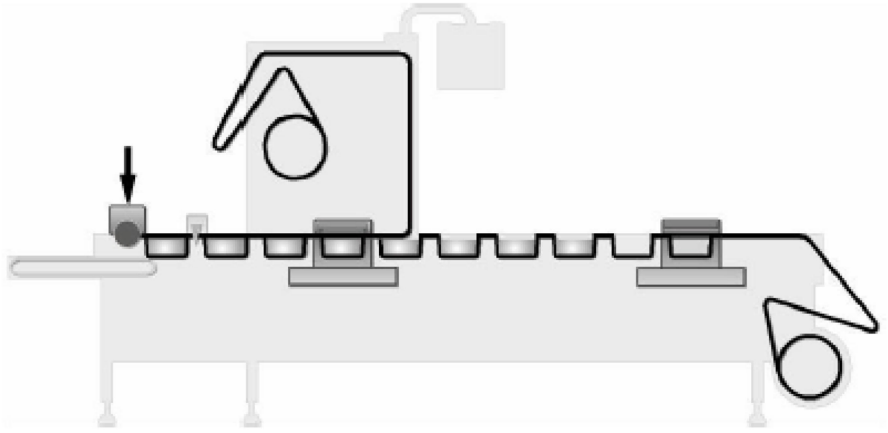
Po kilku taktach pracy maszyny, napełniona wytłoczka trafia do układu odwijania folii górnej. Folia górna wprowadzana jest przez układ oraz rolkę zwrotną nad wytłoczkę opakowania i nakrywa produkt. Po kolejnym posuwie wytłoczka opakowania wraz z produktem i folią górną znajduje się w **narzędziu zgrzewającym**, gdzie po jego zamknięciu i odizolowaniu produktu foliami od atmosfery zewnętrznej, za pośrednictwem pompy próżniowej następuje odessanie powietrza z przestrzeni wokół produktu i z narzędzia.

Do końcowego zamknięcia brakuje tylko **zgrzania opakowania**, co następuje po dociśnięciu górnej płyty zgrzewającej. Pod wpływem działania wysokiej temperatury warstwy powlekające na wewnętrznych stronach folii zaczynają płynąć. Folia dolna i górna tworzą jednolitą i szczelną otulinę – właściwe opakowanie produktu. Po otworzeniu narzędziu podczas kolejnego posuwu zamknięte opakowania są wyprowadzane ze stacji zgrzewania i przechodzą w strefę rozcinania (rysunek 4.5). Aby uzyskać pojedyncze opakowanie w większości przypadków należy zastosować cięcie poprzeczne oraz wzdłużne.



Rys. 4.5. Cięcie poprzeczne [75].

Rozcinanie poprzeczne rozdziela rzędy opakowań w kierunku prostopadłym do kierunku przesuwu folii. Po rozcinaniu poprzecznym rozdzielone rzędy opakowań są w dalszym ciągu utrzymywane przez łańcuchy transportowe.



Rys. 4.6. Cięcie wzdłużne [75].

Rozcinanie wzdłużne powoduje odcięcie pasków brzegowych, które są trzymane przez łańcuchy transportowe (rysunek 4.6). W przypadku dwupasmowych i wielopasmowych wstęg opakowań

rozdzielane są też opakowania wzajemnie od siebie w kierunku wzdłużnym. Rozcinanie wzdłużne następuje w trakcie posuwu.

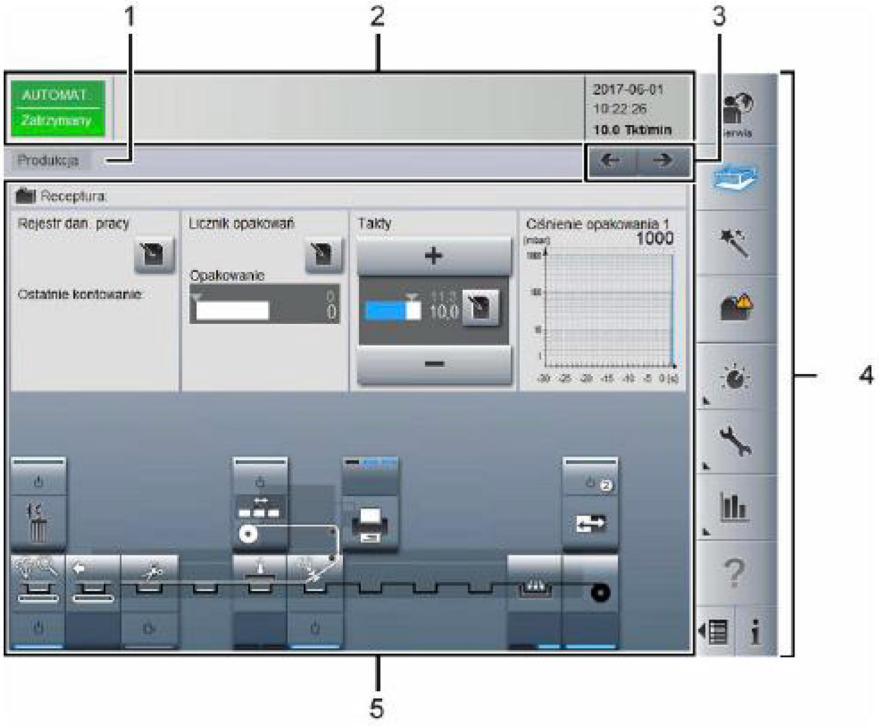
Maszyna jest w stanie wyprodukować różne typy opakowań:

- opakowanie niezgrzane – układ podnoszenia pozostaje otwarty, wszystkie procesy narzędzia zgrzewającego są wyłączone,
- opakowanie zgrzane – opakowania bez atmosfery specjalnej, np. produkty medyczne,
- opakowanie próżniowe – przeprowadzona zostaje ewakuacja komory, a dopiero później następuje zgrzanie opakowania,
- opakowanie MAP (ang. *Modified Atmosphere Package*) – w tym przypadku powietrze znajdujące się w opakowaniu jest zastępowane przez gazy ochronne o odpowiednim składzie i proporcjach w celu zapewnienia dłuższej trwałości artykułów spożywczych – i to bez zastosowania środków konserwujących.

Terminal obsługowy (przedstawiony na rysunku 4.7) jako centralny punkt sterowania maszyną wyposażony jest w ekran dotykowy z obsługą funkcji standardowych takich, jak: pola przełączające (przycisk „edycja”, przycisk „serwis”, wiersz nagłówkowy, pasek przewijania, chwytak, zmiana w procentach). **Sterowanie posiada kilka poziomów dostępu**, począwszy od użytkownika o najniższym stopniu uprawnień do wprowadzania zmian, przez ustawiacza, administratora, serwis, aż do programisty, gdzie dostęp posiadają tylko wybrani pracownicy producenta. **Na ekranie „produkcja” wyświetlane są główne dane dla bieżącej pracy maszyny**. Istnieje możliwość modyfikacji wyświetlanych informacji w zakresie ich ilości i rodzaju. Ekrany wyposażone są w moduł rejestracji danych pracy, gdzie znajdziemy między innymi czasy i powody przestojów maszyny: przezbrajanie, konserwacja/przegląd, brak folii, brak produktu do załadunku, przerwa (śniadaniowa), inne powody (z możliwością edycji pola w zależności od indywidualnych potrzeb zakładu produkcyjnego). Dostępny jest także licznik opakowań, gdzie znajdują się informacje takie, jak: wytworzone dobre opakowania od czasu zerowania wskazań, wytworzone złe opakowania od czasu zerowania wskazań oraz wykres wydajności maszyny w zadanym czasie.

Wyświetlacz w maszynie rolowej można podzielić na kilka obszarów, które zostały oznaczone na rysunku 4.7. 1 to ścieżka ekranowa, zaś 2 oznaczono wiersz informacyjny, 3 oznaczono przyciski

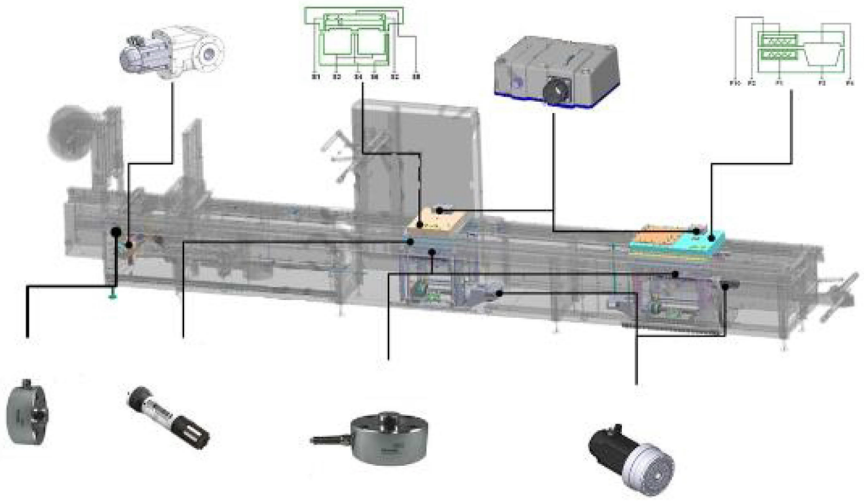
tył/przód, 4 oznaczono za pomocą infografiki poszczególne składowe listwy nawigacyjnej, 5 stanowi treść ekranu.



Rys. 4.7. Wyświetlacz w maszynie rolowej [75].

Maszyny wyposażone są w Stand-by-Modus, który może być konfigurowany i aktywowany online. Zadaniem tej funkcji jest oszczędność energii poprzez obniżenie temperatury układów grzania do 50° C, wyłączenie pompy lub zestawu pomp próżniowych, oraz po osiągnięciu temperatury poniżej 60°C przerwanie dopływu wody chłodzącej.

Wielosensoryczny układ monitorujący za pomocą czujników pozwala w pełni **kontrolować stan pracy** maszyny począwszy od ciśnienia w opakowaniu oraz stanu przewodów próżniowych, przez kontrolę obwodów nagrzewania, ruchu serwonapędów, a dzięki dodatkowym sensorom moniturującym także na wykrywanie pustych opakowań, zużycia folii czy przepełnienia nawijarki pasków brzegowych. Miejsca umieszczenia poszczególnych czujników w przykładowej maszynie do pakowania próżniowego przedstawiono na rysunku 4.8.



Rys. 4.8. Przykład rozmieszczenia czujników w maszynie rolowej [75].

Ze względu na długotrwałą **współpracę Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji z firmą Multivac**, istnieje możliwość przeprowadzenia zajęć laboratoryjnych podczas wizyty studyjnej bezpośrednio u producenta zaawansowanych mechatronicznie maszyn. Firma posiada w swojej podlubelskiej siedzibie salę konferencyjną wraz ze stałą ekspozycją zazwyczaj najnowszej maszyny rolowej. Pracownicy działu technicznego firmy mogą zrobić prezentację działania maszyny wraz z symulacją uszkodzenia oraz następującego po tym procesu diagnostyki.

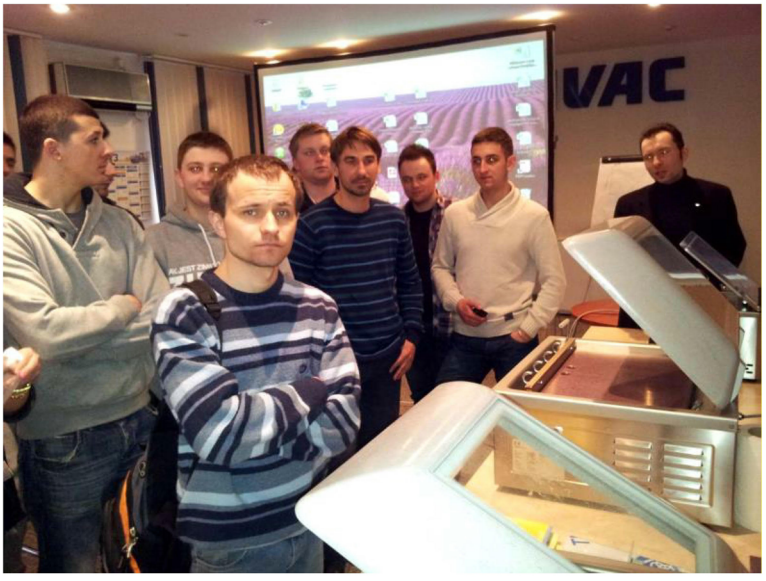
Taka wizyta studyjna jest w stanie przybliżyć w znacznym stopniu pracę inżyniera mechatronika, zajmującego się serwisowaniem maszyn do pakowania próżniowego. Autor skryptu organizował już wcześniej takie wizyty studyjne.

Na rysunku 4.9 została przedstawiona sala konferencyjna firmy Multivac wraz z ekspozycją produkowanych maszyn. Znalazły się tam zarówno pojedyncze maszyny do pakowania próżniowego, a także zaawansowana maszyna rolowa służąca do automatycznego pakowania próżniowego żywności. Podczas takiej wizyty studyjnej studenci mogą wprost zapytać o szczegóły działania samej linii technologicznej oraz zasady jej profesjonalnej obsługi oraz serwisowania. Mogą również paść pytania o możliwość podjęcia pracy w przedmiotowej firmie. Zdaniem autora skryptu, takie wizyty studyjne cieszą

się wśród studentów dużym zainteresowaniem co widać na zdjęciu na rysunku 4.10.



Rys. 4.9. Sala konferencyjna firmy Multivac wraz z ekspozycją produkowanych maszyn.



Rys. 4.10. Studenci podczas wizyty studyjnej w firmie Multivac.



4.2. Ćwiczenia

4.2.1. Ćwiczenie 1

Dokonaj analizy i charakterystyki elementów elektromechanicznych w dowolnej maszynie do krojenia firmy Multivac. Analizy dokonaj na podstawie specyfikacji przedstawionych przez producenta na stronach internetowych oraz instrukcji obsługi urządzenia. Analiza powinna zawierać opis i budowę przynajmniej jednego napędu liniowego, jednego napędu obrotowego, czujników oraz sterowania. Każdy z elementów powinien zostać scharakteryzowany jako element elektromechaniczny, mający warstwę mechaniczną (hardware) oraz elektroniczną (firmware i software).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.2.2. Ćwiczenie 2

Dokonaj analizy i charakterystyki elementów elektromechanicznych w dowolnej maszynie rolowej firmy Multivac. Analizy dokonaj na podstawie specyfikacji przedstawionych przez producenta na stronach internetowych oraz instrukcji obsługi urządzenia. Analiza powinna zawierać opis i budowę przynajmniej jednego napędu liniowego, jednego napędu obrotowego, czujników oraz sterowania. Każdy z elementów powinien zostać scharakteryzowany jako element elektromechaniczny, mający warstwę mechaniczną (hardware) oraz elektroniczną (firmware i software).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.2.3. Ćwiczenie 3



Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu liniowego, mogącego mieć zastosowanie w dowolnej maszynie rolowej firmy Multivac. Należy zgromadzić kompletną dokumentację i specyfikację techniczną napędu w celu jego integracji z systemem sterowania maszyny. Należy wskazać potencjalne zastosowania takiego napędu liniowego.

.....
.....
.....
.....
.....

4.2.4. Ćwiczenie 4

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu obrotowego, mogącego mieć zastosowanie w dowolnej maszynie rolowej firmy Multivac. Należy zgromadzić kompletną dokumentację i specyfikację techniczną napędu w celu jego integracji z systemem sterowania maszyny. Należy wskazać potencjalne zastosowania takiego napędu obrotowego.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.2.5. Ćwiczenie 5

Należy odnaleźć komercyjny przykład napędu liniowego, mogącego mieć zastosowanie w dowolnej maszynie rolowej firmy Multivac. Należy pozyskać modele 3D wszystkich komponentów i dokonać ich złożenia w programie Solid Edge.

.....
.....
.....
.....
.....



4.3. Pytania testowe

1. Proces formowania próżniowego rozpoczyna się:

a. Otworzeniem narzędzia formującego.
b. Zamknięciem narzędzia formującego.
c. Podgrzewaniem folii.

2. Proces formowania próżniowego kończy się:

a. Otworzeniem narzędzia formującego.
b. Zamknięciem narzędzia formującego.
c. Podgrzewaniem folii.

3. Interfejs Człowiek Maszyna nosi nazwę:

a. HDMI.
b. IHM.
c. HMI.

4. Oszczędność energii poprzez obniżenie temperatury układów grzania do 50°C, wyłączenie pompy lub zestawu pomp próżniowych, oraz po osiągnięciu temperatury poniżej 60°C przerwanie dopływu wody chłodzącej jest zadaniem funkcji:

a. Stand-by-Modus.
b. Stand-in-Modus.
c. Stand-at-Modus.

5. Najniższy stopień uprawnień do wprowadzania zmian ma:

a. Ustawiacz.
b. Programista.
c. Użytkownik.

6. Wtyczki na kabel Ethernet mają oznaczenie:

a. RS-232.
b. RJ45.
c. ELM 327.



7. Maksymalna liczba użytkowników magistrali Ethernet wynosi:

a. 40.
b. 55643.
c. 65535.

8. Wskaźnik określający stopień wykorzystania parku maszynowego to:

a. OEE.
b. AOE.
c. EOE.

9. Podrzędną składową stopnia wykorzystania parku maszynowego jest dostępność i określa ona:

a. Stosunek czasu zaplanowanego na realizację zadania do czasu, który w rzeczywistości można na to zadanie poświęcić.
b. Stosunek czasu dostępnego do rzeczywistej pracy.
c. Stosunek liczby dobrych do wszystkich produktów.

10. Podrzędną składową stopnia wykorzystania parku maszynowego jest wydajność i określa ona:

a. Stosunek czasu zaplanowanego na realizację zadania do czasu, który w rzeczywistości można na to zadanie poświęcić.
b. Stosunek czasu dostępnego do rzeczywistej pracy.
c. Stosunek liczby dobrych do wszystkich produktów.

11. Podrzędną składową stopnia wykorzystania parku maszynowego jest jakość i określa ona:

a. Stosunek czasu zaplanowanego na realizację zadania do czasu, który w rzeczywistości można na to zadanie poświęcić.
b. Stosunek czasu dostępnego do rzeczywistej pracy.
c. Stosunek liczby dobrych do wszystkich produktów.

12. Jedną z tzw. 6 wielkich strat jest:

a. Zbyt długi czas przezbrojeń.
b. Zbyt krótki czas przezbrojeń.
c. Nominalna prędkość pracy maszyny.



13. System TPM (*Total Productive Maintenance*) powstał, by osiągnąć trzy główne cele, jednym z nich jest:

a. Jak najmniej awarii.
b. Jak najmniej błędów.
c. Zero błędów.

14. Specjalizowana aplikacja pozwalająca obserwować jednocześnie wiele kanałów cyfrowych i analogowych nosi nazwę:

a. ScopeView.
b. SystemView.
c. ChannelView.

15. Zarejestrowane przebiegi sygnałów cyfrowych i analogowych można wyeksportować do formatu:

a. .exe
b. .xlsx
c. .csv

16. Poprzednikiem magistrali EtherCAT była magistrala:

a. E-Bus.
b. K-Bus.
c. J-Bus.

17. Kable światłowodowe umożliwiają budowę systemów rozproszonych na przestrzeni:

a. Kilkuset kilometrów.
b. Kilkudziesięciu kilometrów.
c. Kilkuset metrów.

18. Każde obecne w systemie urządzenie zostaje odpytane przez sterownik:

a. EtherCAT Master.
b. EtherCAT Slave.
c. EtherCAT Main.



19. Maksymalna długość segmentu sieci dla kabla miedzianego wynosi:

a. 10 m.
b. 100 m.
c. 500 m.

20. Składnikiem TwinCAT System Manager-a pozwalającym wyświetlić zeskanowaną topologię sieci jest:

a. Net View.
b. System Scan.
c. Emergency Scan.

21. Sieć łącząca komputer przemysłowy z komputerem technika nosi nazwę:

a. LAN.
b. Wi-Fi.
c. Peer-to-Peer.

22. Sieć o zasięgu lokalnym to:

a. LAN.
b. WAN.
c. Internet.

23. Bezpieczny i szyfrowany tunel sieci to:

a. IPN.
b. VPN.
c. WAN.

24. Obwody bezpieczeństwa maszyny z założenia:

a. Pozwalają się przesterować.
b. Nie pozwalają się przesterować.

25. Sieć EtherCAT:

a. Dysponuje mechanizmami adresacji takimi, jak IP.
b. Nie dysponuje mechanizmami adresacji takimi, jak IP.



26. Jeśli elementy obwodu bezpieczeństwa maszyny zadziałają, odcinając zasilanie wybranych stacji, ich wymuszenie:

a. Będzie możliwe.
b. Będzie niemożliwe.

27. Przy sterowaniu wyjściami:

a. Stacje i podzespoły maszyny nie są z sobą synchronizowane.
b. Stacje i podzespoły maszyny są z sobą synchronizowane.

28. Przy pracy w trybie automatycznym:

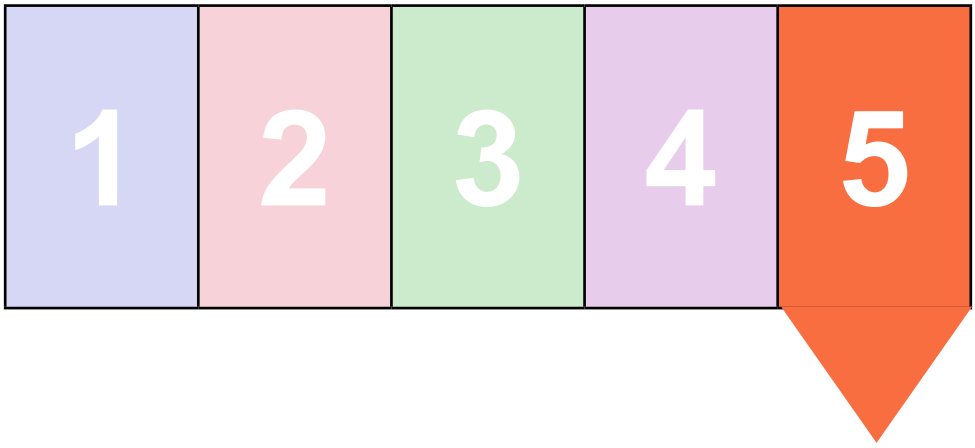
a. Stacje i podzespoły maszyny nie są z sobą synchronizowane.
b. Stacje i podzespoły maszyny są z sobą synchronizowane.

29. Ręczne wysterowanie wyjść:

a. Pozwala na wywołanie reakcji pożądanego obwodu.
b. Nie pozwala na wywołanie reakcji pożądanego obwodu.

30. Komponenty sieci EtherCAT adresowane są:

a. Po ich adresie IP.
b. Zgodnie z kolejnością występowania w strukturze.



5. Elementy elektromechaniczne w zasilaniu gazem LPG pojazdów

5.1. Wstęp

Systemy zasilania LPG pojazdów są obecne na rynku polskim od ponad 20 lat. We wczesnych latach ekspansji dominowały prawie wyłącznie systemy produkcji włoskiej i holenderskiej. Jednakże po roku 2000 kilka polskich firm, zazwyczaj we współpracy z jednostkami badawczymi, rozwinęło własne technologie zasilania gazem pojazdów wszystkich generacji. Ze względu na możliwość zaoszczędzenia znacznych kosztów związanych z zasilaniem paliwem pojazdów, jak i bardzo dobre własności jezdne oraz kulturę pracy, zasilanie LPG pojazdów osobowych, jak i użytkowych jest bardzo popularne zarówno w Polsce, Europie, jak i wybranych krajach na całym świecie [20].

Aby spełniać wysokie wymagania właścicieli pojazdów, związane z kulturą pracy silnika i osiągami podczas jazdy na paliwie alternatywnym, **najnowsze systemy sekwencyjnego wtrysku gazu LPG do silników benzynowych muszą być zaawansowanymi systemami mechatronicznymi**. Poszczególne komponenty mechaniczne oraz elektryczne muszą charakteryzować się bardzo dużą precyzją wykonania oraz działania. Ponadto elektroniczne sterowanie tymi komponentami musi być niezawodne oraz efektywne, aby spełnić rygorystyczne normy emisji spalin. Są one takie same na paliwie alternatywnym, jak na oryginalnym [25].

Istnienie dużego rynku LPG wymaga szkolenia kadry pracowniczej warsztatów montażu systemów gazowych. Kształcenie studentów na I stopniu kierunku mechatronika wymaga zdecydowanie formy praktycznej (laboratorium) w celu prezentacji zasady działania poszczególnych komponentów, techniki ich montażu oraz przedstawienia pracy. Doskonale służy do tego celu zaprojektowane i wykonane stanowisko demonstracyjno-badawcze. Może służyć także jako stanowisko badawcze, wykorzystywane do rozwoju algorytmów sterowania wtryskiem gazu, badania stabilności firmware i software sterującego oraz sporządzania charakterystyk pracy systemu w warunkach laboratoryjnych.

W celu efektywnego kształcenia inżynierów w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie postanowiono zrealizować praktyczne stanowisko edukacyjno-badawcze [21].

5.2. Komponenty składowe systemu IV generacji

Jak wspomniano wcześniej, **cały system sekwencyjnego wtrysku gazu LPG jest zaawansowanym systemem mechatronicznym**. W tym rozdziale skryptu studenci zapoznają się z budową, działaniem oraz sterowaniem wszystkimi najważniejszymi komponentami takiego systemu. Już na początku warto wspomnieć, że nie można jednoznacznie podzielić komponentów systemu gazowego na mechaniczne i elektryczne. Wiele z nich ma naturą elektromechaniczną.

Na rysunki 5.1 przedstawiono komponenty sekwencyjnego systemu wtrysku gazu LPG do silnika benzynowego, produkowanego przez firmę Eko-gaz.



Rys. 5.1. Komponenty systemu sekwencyjnego wtrysku LPG [72].

5.2.1. Elektroniczna jednostka sterująca

Jednym z najważniejszych komponentów w samochodowych systemach elektromechanicznych są elektroniczne jednostki sterujące. Ich głównym zadaniem jest nadzór nad prawidłową pracą silnika spalinowego w pojeździe oraz innych jego elektronicznych systemów. Zaliczamy do nich takie systemy jak: **ABS, ESP, TCS, czy też inne elementy wyposażenia, takie jak klimatyzacja samochodowa**. Elektroniczna jednostka sterująca (zwana potocznie sterownikiem) zwykle ma postać płytki drukowanej wielowarstwowej z mikroprocesorem, do którego napływają dane pochodzące z różnych czujników pokładowych. Na podstawie pozyskanych z czujników informacji, oraz wykorzystując zapisane w pamięci mikroprocesora charakterystyki pracy silnika oraz algorytmy sterujące, **jednostka sterująca generuje sygnały wyjściowe** w celu sterowania urządzeniami wykonawczymi. Dobierane są takie parametry pracy silnika, by pracował on w optymalny sposób w obszarze ekonomii, ekologii, dynamiki i trwałości.

W Polsce swoje siedziby ma kilka firm produkujących elektroniczne jednostki sterujące do sekwencyjnego wtrysku gazu LPG i NG. Przykładem takiej dobrze znanej i szanowanej firmy jest **LPG Tech** [73]. Produkty firmy są cenione ze względu na niezawodną pracę i osiągi w postaci dużej kultury pracy i małego zużycia paliwa gazowego. LPG Tech produkuje własne systemy wtrysku gazu o nazwie **TECH**. Warto podkreślić ten fakt ze względu na to, że wiele firm jedynie dystrybuuje produkty włoskie lub holenderskie ze swoim logotypem.

Najbardziej zaawansowanym systemem sekwencyjnego wtrysku gazu firmy LPG Tech jest **system o nazwie handlowej TECH-320 OBD**. Jest to seria mikroprocesorowych jednostek sterujących w aluminiowej obudowie wykorzystująca tradycyjne 56-pinowe złącze elektryczne. Elektroniczne jednostki sterujące wtryskiem gazu są dedykowane do silników posiadających odpowiednio 4/6/8 cylindrów (w zależności od wersji). Producent twierdzi, że możliwe jest również równoległe zastosowanie dwóch jednostek sterujących dla silników o większej liczbie cylindrów (silników 10/12/14/16-cylindrowych). W takim przypadku jedna jednostka sterująca pełni rolę jednostki nadrzędnej (master), a druga podrzędnej (slave). Kompaktowa obudowa charakteryzuje się małymi wymiarami wynoszącymi

190x125x30 mm, co pozwala na montaż elektronicznej jednostki sterującej w niewielkich przestrzeniach, znajdujących się w komorze silnika pojazdu. Widok elektronicznej jednostki sterującej sekwencyjnym wtryskiem gazu TECH-320 OBD przedstawiono na rysunku 5.2.



Rys. 5.2. Sterownik TECH-320 OBD [73].

Do połączenia z instalacją elektryczną pojazdu elektroniczna jednostka sterująca wtryskiem gazu **wykorzystuje te same przewody elektryczne**, niezależnie od wykorzystanego protokołu diagnostycznej transmisji danych. Kolejną zaletą systemu TECH-320 OBD jest możliwość **wykorzystania jednostki sterującej gazem jako urządzenia diagnostycznego do komunikacji z systemem OBD pojazdu**. Dzięki temu możliwy jest odczyt korekt wtrysku paliwa oraz błędów zapisanych w pamięci systemu OBD. Możliwe jest również sprawdzenie aktualnych parametrów pracy silnika benzynowego, udostępnianych przez system diagnostyki pokładowej. Jest to ewidentna zaleta, gdyż parametry pracy systemu benzynowego i gazowego można obserwować a nawet wyświetlać w funkcji oscyloskopu w jednym oknie oprogramowania. Konfiguracja i kalibracja systemu gazowego o takich zaawansowanych funkcjach jest wówczas dużo prostsza.

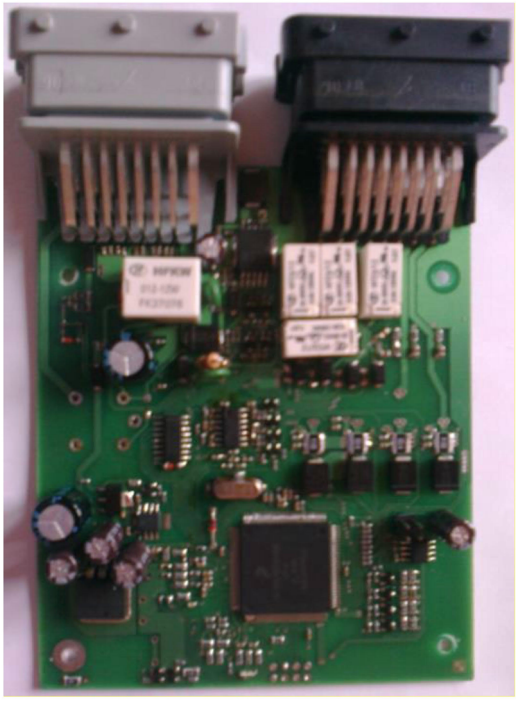
TECH-320 OBD ma zatem stałe połączenie z systemem diagnostyki pokładowej pojazdu OBD II. W ten sposób może gromadzić i przetwarzać dane, które następnie wyświetla w postaci charakterystyk (trójwymiarowych map) czasu wtrysku, odbywającego się na benzynie i gazie. Kiedy funkcja automatycznej adaptacji OBD jest

włączona, **system gazowy jest w stanie samoczynnie modyfikować skład mieszanki powietrzno-gazowej**. Celem sterowania jest minimalizowanie odchyleń w składzie mieszanki do zera, czyli do idealnego ustawienia parametrów pracy silnika na benzynie. Ta zaawansowana funkcja jest powszechnie nazywana autoadaptacją i zapewnia bezproblemową współpracę instalacji gazowej z systemem wtrysku benzyny. W sposób całkowicie automatyczny monitoruje bieżącą pracę systemu benzynowego oraz gazowego i dokonuje korekcji czasów wtrysku gazu.

Specyfikacja techniczna elektronicznej jednostki sterującej TECH-320 OBD jest następująca:

- Obsługa wtrysku gazu maksymalnie do 8 cylindrów, w zależności od wersji sterownika.
- Inteligentne automatyczne kasowanie błędów w systemie OBD pojazdu.
- Automatyczne korekcje czasów wtrysku gazu LPG/CNG w czasie rzeczywistym na podstawie parametrów odczytywanych z magistrali OBD jednostki sterującej wtryskiem benzyny.
- Możliwość zbierania i przetwarzania danych w czasie jazdy, bez konieczności podłączania komputera diagnostycznego.
- Funkcja skanera OBD zapewniająca możliwość odczytywania podstawowych danych diagnostycznych, ustawień oraz wczytywania i kasowania błędów systemu OBD.
- Obsługa protokołów CAN (11/500; 29/500; 11/250; 29/500), ISO 14230 slow, ISO 14230 fast, ISO 9141 za pomocą tych samych przewodów diagnostycznych.
- Korekty dawki wtrysku gazu pochodzące od temperatury gazu, reduktora, ciśnienia gazu i obrotów silnika.
- Kalibrację systemu gazowego w trybie STANDARD oraz TECH (innowacyjny algorytm sterujący z systemem autokalibracji i systemem autoadaptacji).
- Autodiagnoza polegająca na wykrywaniu błędów i usterek powstałych podczas montażu.
- Pełne zabezpieczenie przeciwzwarciowe i przeciążeniowe systemu.
- Wsparcie obsługi silników z systemem Valvetronic i silników Wankla.
- Złącze elektryczne posiadające 56 pinów.
- Obudowa aluminiowa.

Niewielu ze studentów do tej pory miało sposobność obejrzenia płytki drukowanej elektronicznej jednostki sterującej wtryskiem LPG. Studenci kierunku mechatronika powinni zapoznać się ze szczegółami jej budowy. Ze strony technologicznej jest to jednostka sterująca zbudowana na dwustronnej płytce drukowanej, z elementami elektronicznymi wykonanymi w technologii SMD, wykorzystująca dwa (24-pinowe) złącza. Wśród komponentów bazowych należy wymienić mikrokontroler MC9S12DG128MQK firmy Freescale, wykorzystujący pamięć wewnętrzną typ EEPROM oraz tranzystorowe klucze MOSFET VND14NV04 sterujące otwarciem wtryskiwaczy gazowych. Zastosowane komponenty elektroniczne odpowiadają najnowszym trendom obserwowanym w obszarze projektowania komponentów tego typu. Wygląd przykładowej płytki ECU przedstawiono na rysunkach 5.3 i 5.4.



Rys. 5.3. Płytka drukowana elektronicznej jednostki sterującej wtryskiem LPG – góra.



Rys. 5.4. Płytka drukowana elektronicznej jednostki sterującej wtryskiem LPG – dół.

Bardzo dużo o mechatronice jednostek sterujących wtryskiem LPG można dowiedzieć się podczas weryfikacji poprawności działania takiej jednostki sterującej. Nie sposób wtedy pominąć sprawdzenia poprawności pomiaru wszystkich parametrów pracy. Badania zostały wykonane na stanowisku kontroli jakości produkcyjnych jednostek sterujących wtryskiem gazu. Testy poszczególnych parametrów pracy zostały przedstawione w oddzielnych oknach programowych (patrz rysunki 5.5–5.10). **Testowanie polega na wygenerowaniu przez tester sygnału o odpowiedniej wartości** (minimalnej, maksymalnej lub pośredniej z zakresu pomiarowego) i sprawdzeniu poprawności jego odczytu przez testowaną jednostkę sterującą.

Pozytywnemu przejściu testu towarzyszy pojawienie się ZIELONEGO kwadracika, zaś błędnemu odczytowi pojawienie się CZERWONEGO kwadracika widocznego na rysunku 5.6. Sytuacja błędnego odczytu została zasymulowana do celów poglądowych raportu i nie dotyczy rzeczywistego działania prototypowej jednostki sterującej.



Rys. 5.5. Okno testu obwodu prędkości obrotowej.



Rys. 5.6. Okno testu obwodu czujnika ciśnienia.

Niektóre okna testera umożliwiają bezpośrednią konfrontację wartości wymaganych i zmierzonych poszczególnych parametrów (patrz rysunki 5.7 i 5.8). Na rysunku 5.8 przedstawiono test napięć zasilania jednostki sterującej. Widoczne są dwa zakresy napięć występujące w obwodach jednostki sterującej. **Napięcie akumulatora** (12±1 V) jest wykorzystywane do zasilania m.in. obwodów wtryskiwaczy gazowych oraz elektrozaworów odcinających. **Napięcie**

pokładowe (5±0,5 V) jest wykorzystywane do zasilania mikroprocesora, czujników temperatury i centralki przełączającej gaz/benzyna. Obydwa obwody pozytywnie przeszły badania.



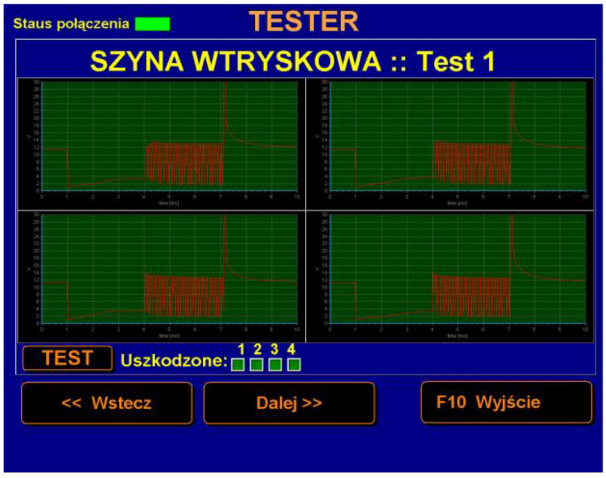
Rys. 5.7. Okno testu czujnika temperatury ECU.



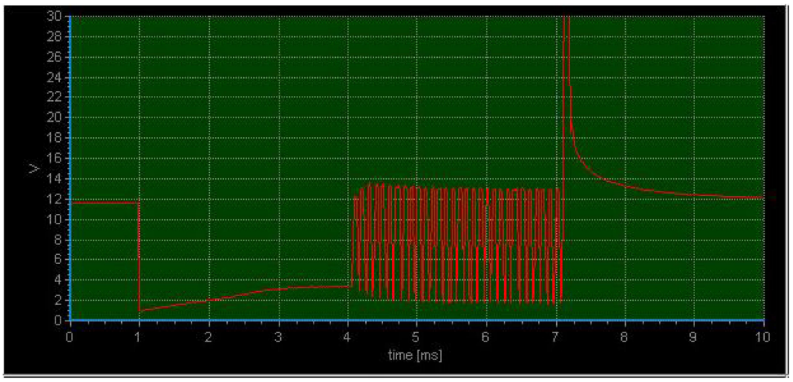
Rys. 5.8. Okno testu napięć zasilania.

Jeden z testów umożliwia także **podgląd przebiegu sygnałów na wyjściach z kluczy tranzystorowych, sterujących otwarciem**

wtryskiwaczy gazowych. Okno testera szyn wtryskowych zostało przedstawione na rysunku 5.9, zaś przykładowy prawidłowy przebieg sygnału na jednym z kanałów na rysunku 5.10.



Rys. 5.9. Okno testu sygnałów otwierających wszystkie wtryskiwacze.



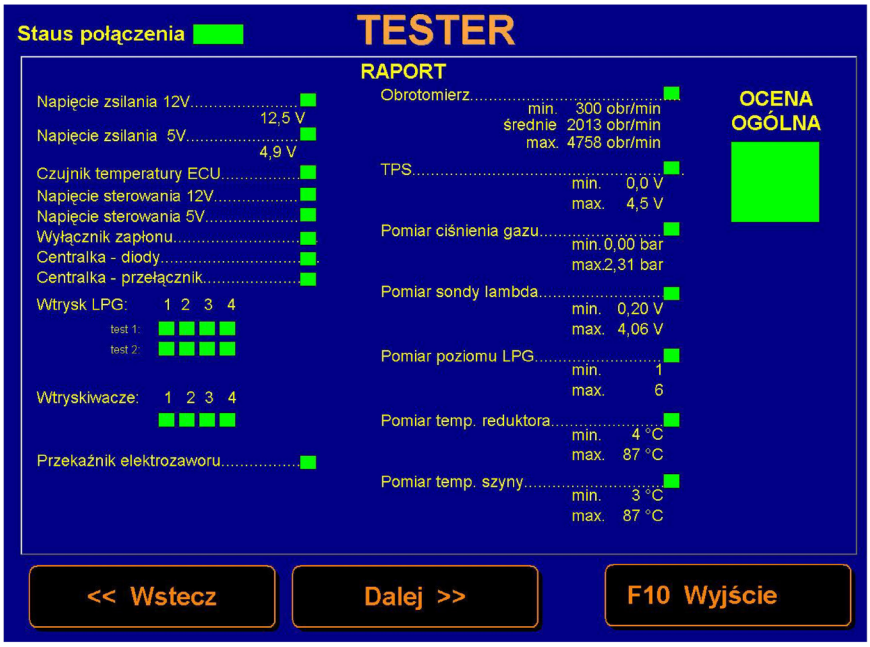
Rys. 5.10. Przykładowy poprawny przebieg napięcia otwarcia wtryskiwacza gazowego.

Badania poprawności pomiaru wszystkich parametrów pracy obejmowały następujące testy:

- sprawdzenie pomiaru napięcia zasilania 12 V,
- sprawdzenie pomiaru napięcia zasilania 5 V,
- sprawdzenie czujnika temperatury ECU,
- sprawdzenie napięcia sterowania 12 V,

- sprawdzenie napięcia sterowania 5 V,
- sprawdzenie wyłącznika zapłonu,
- sprawdzenie diod centralki,
- sprawdzenie przełącznika centralki,
- sprawdzenie obwodów zasilania wtryskiwaczy LPG (2 testy),
- sprawdzenie obwodów emulacji wtryskiwaczy benzynowych,
- sprawdzenie przekaźnika elektrozaworów,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału prędkości obrotowej,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału TPS,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału ciśnienia,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału sondy lambda,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału poziomu gazu,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału temperatury reduktora,
- sprawdzenie poprawności odczytu sygnału temperatury gazu.

Badane elektroniczne jednostki sterujące wtryskiem gazu do silników z bezpośrednim wtryskiem benzyny pozytywnie przeszły badania poprawności odczytu wszystkich parametrów, co potwierdza raport końcowy przedstawiony na rysunku 5.11.



Rys. 5.11. Raport końcowy z pozytywnych badań ECU.

5.2.2. Zbiornik gazu

Instalacja sekwencyjnego wtrysku gazu LPG do silnika benzynowego wymaga zgromadzenia dużej ilości gazu na pokładzie pojazdu. Wymaga to zamontowania dodatkowego specjalnego zbiornika paliwa, do którego będzie można zatankować paliwo gazowe. Niektórzy twierdzą, że powoduje to obniżenie walorów użytkowych i estetycznych pojazdu. Jednak autor nie do końca się z tym stwierdzeniem zgadza. W Polsce znajduje się kilku poważnych i dużych producentów zbiorników przeznaczonych do bezpiecznego gromadzenia i przewożenia gazu LPG. Zaliczyć do nich możemy Grodkowskie Zakłady Wyrobów Metalowych oraz firmę Stako ze Słupska. **Producenci zbiorników LPG** oferują kilka rodzajów butli gazowych, aby każdy klient był w stanie dobrać model idealnie dopasowany do typu pojazdu i własnych preferencji.

Generalnie zbiorniki LPG dzielimy na dwie grupy ze względu na ich kształt zewnętrzny:

- Zbiorniki cylindryczne (mające kształt cylindra lub walca).
- Zbiorniki toroidalne (mające kształt torusa).

Zbiorniki cylindryczne charakteryzują się bardzo prostą konstrukcją i budową. Były bardzo często wykorzystywane w latach 90. XX wieku. Wówczas instalacje zasilania pojazdów gazem LPG dopiero wchodziły na rynek polski i niespecjalnie klienci przywiązywali wagę do względów estetycznych. Najważniejsza była oszczędność, wynikająca z konwersji drogiego pojazdu benzynowego na tani system gazowy. Taka instalacja gazowa miała po prostu poprawnie działać i zapewniać duży zasięg na jednym tankowaniu zbiornika. To zadanie zbiorniki cylindryczne spełniały w 100%. Ich cylindryczna budowa gwarantowała optymalną pojemność, więc wizyty na stacji tankowania gazu LPG były znacznie rzadsze niż w przypadku nowocześniejszych zbiorników toroidalnych. Cylindryczny zbiornik gazu zazwyczaj montowano poprzecznie do kierunku jazdy, tuż za oparciem tylnej kanapy. Takie rozwiązanie niestety ograniczało praktyczną pojemność bagażnika i możliwość przewożenia w nim długich przedmiotów w wyniku złożenia oparcia tylnej kanapy.

Obecnie zbiorniki cylindryczne montowane są bardzo rzadko. Znajdują najczęściej zastosowanie w pojazdach z nadwoziem pickup oraz samochodach terenowych, które ze względu na duże zużycie paliwa gazowego potrzebują butli o dużej pojemności.

Zbiorniki cylindryczne o mniejszej pojemności można spotkać w pojazdach posiadających niewielkie bagażniki. Pojemność takich zbiorników zazwyczaj nie przekracza 30 litrów, a montowane są wzdłużnie po lewej lub prawej stronie bagażnika. Przedmiotowe rozwiązanie pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie pozostałej przestrzeni bagażnika i po złożeniu oparć tylnej kanapy można w dalszym ciągu przewozić długie przedmioty.

Butle tego typu są alternatywą dla posiadaczy pojazdów, w których nie da się zamontować wewnętrznego zbiornika toroidalnego. Tak jest w przypadku np. niektórych samochodów francuskich, gdzie koło zapasowe umieszczono w koszu pod podłogą bagażnika. Najmniejsze zbiorniki cylindryczne na ogół posiadają zintegrowane mocowania, natomiast do większych modeli będziemy musieli dokupić stelaż.

Zbiorniki toroidalne to zdecydowanie najpopularniejsze rozwiązanie stosowane w samochodowych instalacjach LPG w XXI wieku. Zazwyczaj ulokowane są we wnęce na koło zapasowe, dzięki czemu nie ograniczają przestrzeni użytkowej bagażnika. W takim przypadku „zapas" umieszczony zostaje w specjalnym pokrowcu ochronnym i wożony jest w bagażniku. Dla większości kierowców nie stanowi to jednak większego problemu. Tak zapakowane koło zapasowe w każdej chwili można przełożyć w inne miejsce pojazdu albo wyjąć całkowicie i przechowywać w garażu. Wyjściami alternatywnymi mogą być zakup koła zapasowego dojazdowego (charakteryzującego się mniejszymi wymiarami) lub zestawu naprawczego do ogumienia.

Pojemność zbiornika toroidalnego wynika z wymiarów wnęki przygotowanej przez producenta pojazdu na umieszczenie koła zapasowego.

Zbiorniki toroidalne posiadają różne pojemności gazu LPG wynikające z dostępności zbiorników o różnej średnicy zewnętrznej i wysokości. Ze względu na sposób mocowania zbiorników toroidalnych dzielimy je na zbiorniki wewnętrzne (montowane w miejscu koła zapasowego) oraz zbiorniki zewnętrzne. Zazwyczaj wykorzystuje się je w samochodach, których koło zapasowe podwieszone jest pod podło-

gą bagażnika. Po zdemontowaniu kosza na koło zapasowe powstaje miejsce możliwe do montażu zewnętrznego zbiornika na LPG. Takie rozwiązanie sprawdza się także w pojazdach typu SUV i pojazdach terenowych. W tego rodzaju pojazdach bardzo często koło zapasowe znajduje się na drzwiach bagażnika. Zewnętrzne zbiorniki toroidalne posiadają zazwyczaj zintegrowane łapy mocujące lub dedykowane obejmy w zależności od wariantu i producenta.

Zbiorniki LPG występują w wielu wariantach, dzięki czemu bez trudu można zakupić typ dostosowany do danego pojazdu i oczekiwań właściciela pojazdu. Jest to niezwykle ważne dla późniejszej eksploatacji, ponieważ wpływa na zasięg pojazdu i funkcjonalność bagażnika. Dla wielu osób istotne są również względy estetyczne. Transparentny montaż butli LPG potrafi skutecznie zniechęcić do założenia instalacji gazowej. Dlatego zanim oddamy samochód do warsztatu, powinniśmy rozważyć wszystkie opcje, mając na uwadze wady i zalety każdej z nich.

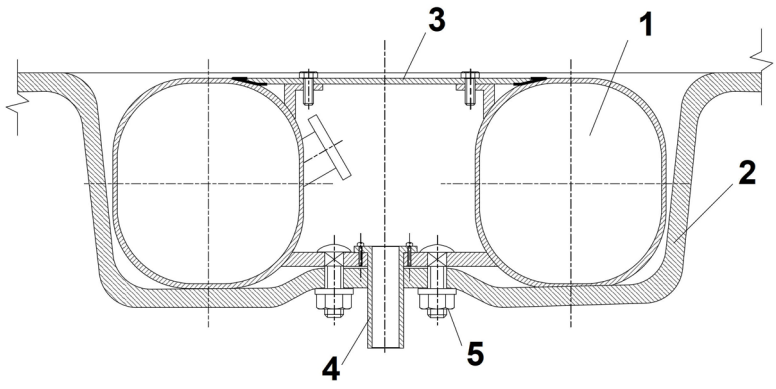
Zbiornik LPG jest ewidentnie komponentem mechanicznym. Wygląd toroidalnego zbiornika gazu, montowanego w miejsce koła zapasowego pojazdu, przedstawiono na rysunku 5.12.



Rys. 5.12. Zbiornik toroidalny wewnętrzny [79].

Zbiornik taki powinien być zamontowany we wnęce na koło zapasowe zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 5.13. **Montaż mechaniczny zbiornika** jest bardzo ważny ze względu na

zachowanie zbiornika podczas wypadku. Śruby mocujące z nakrętką powinny mieć odpowiednią wytrzymałość. Ponadto bardzo ważne jest zachowanie szczelności obudowy gazoszczelnej i zdolność odprowadzania do otoczenia gazu z wewnętrznej części zbiornika w której znajduje się wielozawór. Służy do tego tuleja wentylacyjna.



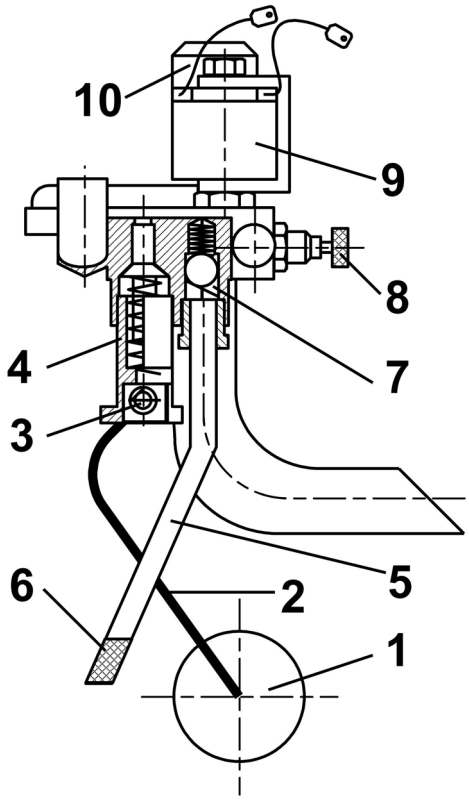
Rys. 5.13. Mocowanie zbiornika toroidalnego wewnętrznego:
1 – zbiornik toroidalny wewnętrzny, 2 – wnęka koła zapasowego, 3 – obudowa gazoszczelna, 4 – tuleja wentylacyjna, 5 – śruba mocująca z nakrętką.

Gdy zbiornik gazu jest odpowiednio zamontowany w pojeździe może zostać on uzupełniony o inne komponenty z nim współpracujące. Montaż w pojeździe zbiornika toroidalnego wraz z osprzętem przedstawiono na rysunku 5.14. Pomimo tego że sam zbiornik jest komponentem mechanicznym, pozostałe komponenty są już urządzeniami elektromechanicznymi lub elektronicznymi.



Rys. 5.14. Zbiornik gazu LPG.

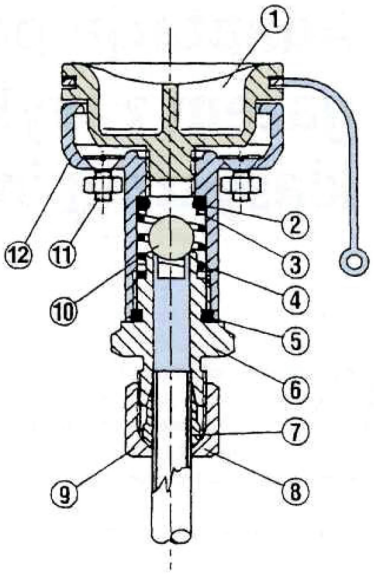
Urządzeniem elektromechanicznym jest ewidentnie wielozawór. Jest to zespół zaworów połączonych w jedno urządzenie, montowane na przystosowanym do tego kołnierzu w zbiorniku, stanowiący wraz z zaworem tankowania oprzyrządowanie zbiornika (typu włoskiego). Został on przedstawiony na rysunku 5.15. Zapewnia bezpieczne i prawidłowe funkcjonowanie zbiornika oraz instalacji, m. in.: zatankowanie odpowiedniej ilości gazu, otwieranie i zamykanie wypływu gazu ze zbiornika, kiedy jest to wymagane, jego ochronę w sytuacjach awaryjnych (nadmierny wzrost ciśnienia, rozszczelnienie), możliwość serwisowania instalacji. Spotyka się również inny rodzaj osprzętu zbiornika (typ holenderski). Spełnia on te same funkcje, co wielozawór, każdy zawór jest jednak osobnym elementem montowanym na płycie armaturowej, stanowiącej część zbiornika.



Rys. 5.15. Wielozawór [20]:
1 – pływak, 2 – ramię pływaka, 3 – oś ramienia pływaka, 4 – zawór ograniczający napełnienie, 5 – rurka poboru paliwa, 6 – filtr siatkowy, 7 – zawór ograniczający wypływ, 8 – ręczny zawór odcinający, 9 – elektromagnetyczny zawór odcinający, 10 – zawór bezpieczeństwa.

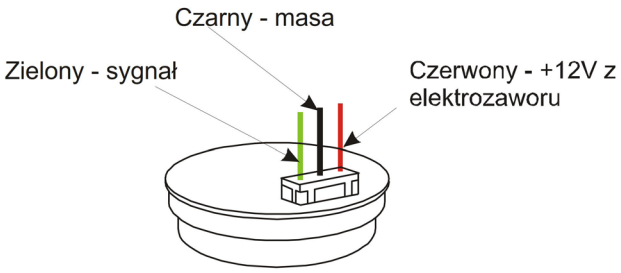
Zależnie od konstrukcji pojazdu oraz kraju, w którym auto będzie eksploatowane, **końcówka tankowania występuje w różnych odmianach i rozmiarach**. Miejsce montażu wlewu gazu w większości przypadków znajduje się w tylnej części samochodu z dala od elementów, które mogłyby osiągać wysokie temperatury podczas jazdy np. układ wydechowy, tarcze hamulcowe. **Najczęściej wybieranymi miejscami montażu wlewu gazu są okolice wlewu benzyny, zderzaki, listwy zderzaka lub tylne błotniki**. Dobór końcówki powinien w miarę możliwości umożliwiać jak najprostsze tankowanie bez użycia dodatkowych przejściówek czy redukcji lecz nie zawsze pozwala

na to konstrukcja pojazdu. Końcówki powinny być zabezpieczane za pomocą wkręcanego korka lub klapki, aby czynniki zewnętrzne nie dostawały się do przewodu prowadzącego do zbiornika. Rysunek techniczny końcówki tankowania w przekroju został przedstawiony na rysunku 5.16. Wyraźnie widać, że jest to komponent mechaniczny.



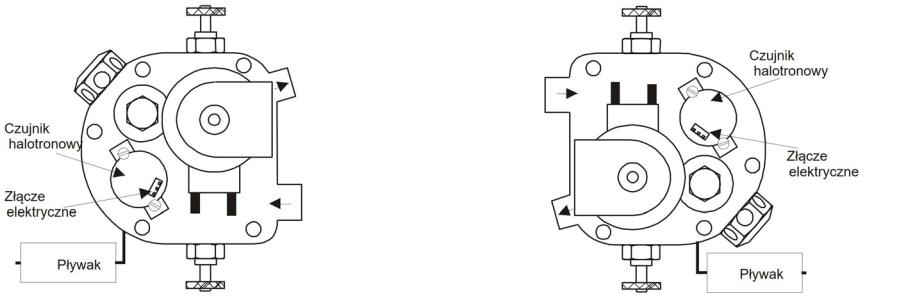
Rys. 5.16. Przekrój przez wlew paliwa [20]:
1– korek zabezpiecz., 2 – uszczelka, 3 – podkładka, 4 – sprężyna, 5 – uszczelka, 6 – tuleja, 7 – pierścień uszczelniający, 8 – nakrętka, 9 – przewód ciśnieniowy, 10 – kulka zaworu zwrotnego, 11 – śruba mocująca, 12 – korpus.

Komponentem elektromechanicznym a zarazem elektronicznym jest czujnik poziomu gazu w zbiorniku. Składa się on z mechanicznego układu pływakowego znajdującego się w wielozaworze oraz z elektronicznego czujnika poziomu gazu przedstawionego na rysunku 5.17. Zazwyczaj są to czujniki typu rezystancyjnego lub hallotronowego.



Rys. 5.17. Widok czujnika SPW01.

Sposób montażu czujnika poziomu LPG na wielozaworze przedstawiono na rysunku 5.18.



Rys. a) Zawór Lovato prawy
Przekręcanie czujnika zgodnie ze wskazówkami zegara powoduje zmniejszanie liczby wyświetlanych diod na przełączniku, podczas gdy przekręcanie czujnika przeciwnie do wskazówek zegara powoduje zwiększanie ilości wyświetlanych diod.

Rys. b) Zawór Lovato lewy
Przekręcanie czujnika zgodnie ze wskazówkami zegara powoduje zwiększanie liczby wyświetlanych diod na przełączniku, podczas gdy przekręcanie czujnika przeciwnie do wskazówek zegara powoduje zmniejszanie ilości wyświetlanych diod.

Rys. 5.18. Montaż czujnika SPW01.

Opis działania i montażu czujnika poziomu gazu SPW01:

1. Zamontować czujnik zgodnie z rysunkiem 5.10 a) lub b) zwracając uwagę na położenie złącza elektrycznego.
2. Przykręcić wstępnie czujnik przy pomocy dwóch śrub pozostawiając możliwość jego regulacji.
3. Podłączyć przewody zgodnie ze schematem i podpiąć wtyk do czujnika.

4. Uruchomić silnik i przełączyć zasilanie na gazowe.
5. Połączyć się programem diagnostycznym do sterownika. Wybrać czujnik hallotronowy jako czujnik poziomu LPG i wyłączyć opcję filtru wyświetlania. Opcja ta znajduje się obok pola wyboru czujnika. Filtr wyświetlania powoduje powolne zmiany w wyświetlaniu poziomu LPG pomimo szybkich zmian wskazań czujnika. Eliminuje to miganie diodami poziomu LPG na centralce podczas jazdy na nierównej powierzchni, ale utrudnia kalibrację czujnika. Dlatego na czas kalibracji filtr ten należy wyłączyć.
6. Przekręcając czujnikiem zgodnie lub przeciwnie do wskazówek zegara ustawić wymaganą ilość wyświetlanych diod na wyświetlaczu centralki (na ekranie komputera w oknie wizualizacja).
7. Przykręcić ostatecznie czujnik.
8. Jeżeli czujnik hallotronowy nie był domyślnym czujnikiem należy zachować ustawienia w ECU.
9. Odłączyć złącze diagnostyczne od komputera. Filtr wyświetlania zostanie automatycznie włączony po wyłączeniu zapłonu.

Tak zmierzony poziom gazu w zbiorniku jest wyświetlany za pomocą diod na centralce, służącej do zmiany paliwa benzyna/LPG.

5.2.3. Reduktor/parownik

Chyba najważniejszym ze względu na pełnioną funkcję urządzeniem w każdym systemie zasilania gazem jest reduktor/parownik. Jego zadaniem jest zmiana skupienia LPG z fazy ciekłej w gazową. Następnie odpowiada za utrzymanie jego ciśnienia na odpowiednim poziomie w stosunku do ciśnienia panującego w kolektorze dolotowym silnika. Reduktor/parownik powinien być dobrany do konkretnego pojazdu i silnika spalinowego. **Montażysta powinien uwzględnić moc silnika oraz sposób wtrysku paliwa do silnika, co ma wpływ na dobór generacji systemu zasilania gazem**. Bardzo rygorystyczne wymogi dotyczące emisji spalin z silników spalinowych w drugiej dekadzie XXI wieku spowodowały, że na rynku występują jedynie systemy sekwencyjnego wtrysku benzyny a co za tym idzie odpowiadające im systemy sekwencyjnego wtrysku gazu.

Na rynku występuje kilka typów reduktorów/parowników. Zazwyczaj dzielimy je na:

1. Elektroniczne:
   - dwustopniowe – mają zastosowanie w systemach I i II generacji,
   - jednostopniowe – stosowane w instalacjach IV generacji,
   - tłokowe – stosowane w instalacjach IV generacji.
2. Pneumatyczne (podciśnieniowe):
   - dwustopniowe – stosowane w instalacjach I generacji (silniki gaźnikowe).

Reduktor/parownik ma do spełnienia kilka istotnych funkcji w całym systemie gazowym. Należą do nich:

- zamiana stanu skupienia LPG z fazy ciekłej w gazową,
- redukcja ciśnienia gazu i utrzymanie jego stałego nadciśnienia w stosunku do ciśnienia w kolektorze dolotowym silnika,
- dostarczenie paliwa gazowego w odpowiedniej ilości do aktualnego zapotrzebowania przez silnik,
- odcięcie wypływu gazu z reduktora w momencie, kiedy silnik nie pracuje na gazie.

Zasada działania każdego, występującego na rynku reduktora/parownika LPG jest podobna. Jednak w celu efektywnego i niezawodnego spełniania każdej z wymienionych powyżej funkcji reduktory/parowniki charakteryzują się swoimi cechami konstrukcyjnymi. Wiele z nich zostało nawet opatentowanych. W celu przemiany stanu skupienia LPG z fazy ciekłej na gazową konieczne jest dostarczenie do reduktora/parownika ciepła. **Źródłem ciepła w pojeździe, które może zostać wykorzystane do podgrzewania reduktora/parownika, jest układ chłodzenia silnika**. Zazwyczaj reduktor/parownik jest podłączany szeregowo lub równolegle do przewodów układu nagrzewnicy powietrza w kabinie pojazdu. Reduktor/parownik jest ogrzewany przez płyn układu chłodzącego przepływający przez umieszczone w nim kanały grzewcze. LPG po odparowaniu jest podawany do miksera lub wtryskiwaczy gazu.

Najważniejszym elementem reduktora są membrany, które odpowiadają za regulację ciśnienia oraz wydatku odparowywanego gazu, dostarczanego do kolektora dolotowego silnika. Membrany pełnią też rolę przegrody pomiędzy cieczą układu chłodniczego

a paliwem gazowym. Z uwagi na to, że membrany pracują w bardzo trudnych warunkach (są poddawane dużej różnicy temperatury), ulegają one zużyciu w miarę upływu czasu. Membrany są wykonane z materiałów gumowych ulegających starzeniu. W miarę upływu czasu i w wyniku intensywnej pracy parcieją i tracą swoje właściwości. W ekstremalnych przypadkach, kiedy użytkownik uruchamia silnik bezpośrednio z gazu, zamiast rozgrzać go na benzynie, dochodzi do nadmiernego zmrożenia membran i trwałego ich uszkodzenia. Pęknięcia i nieszczelności uniemożliwiają dalszą eksploatację reduktora. W większości przypadków producenci oferują tzw. zestawy naprawcze, dzięki którym można dokonać regeneracji reduktora LPG. Trzeba jednak mieć świadomość, że na zestawy naprawcze producenci nie udzielają gwarancji. Inaczej sytuacja wygląda przy reduktorach, które są objęte gwarancją producenta.

Oczywiście **ilość doprowadzanego przez reduktor gazu zależy od jego zapotrzebowania przez silnik**. Jest to możliwe w wyniku mechanicznego podłączenia przestrzeni po jednej stronie membrany reduktora z kolektorem dolotowym. Za pomocą śruby regulacyjnej użytkownik ma możliwość ustalenia stałej wartości ciśnienia gazu na wyjściu z reduktora w stosunku do ciśnienia referencyjnego, panującego w kolektorze dolotowym silnika.

Mechatroniczne systemy sekwencyjnego wtrysku gazu zazwyczaj dokonują pomiaru dwóch ciśnień w układzie. Po pierwsze, mierzone jest ciśnienie bezwzględne w kolektorze dolotowym silnika, które jest wyznacznikiem jego obciążenia. Po drugie, mierzone jest ciśnienie bezwzględne gazu na wyjściu z reduktora. Po trzecie, na podstawie tych dwóch pomiarów obliczana jest różnica ciśnień pomiędzy ciśnieniem bezwzględnym gazu i w kolektorze dolotowym. Wartość ta powinna być stała i powinna wynosić od 1,0 do 1,3 bara. Utrzymanie stałej wartości różnicy ciśnień w różnych warunkach obciążenia silnika świadczy o prawidłowo dobranej wielkości reduktora i jego poprawnej pracy.

Z przedstawionego do tej pory opisu wynika, że reduktor/parownik jest urządzeniem mechanicznym o sterowaniu pneumatycznym. Jednak bardzo często z reduktorem/parownikiem zintegrowany jest **konstrukcyjnie elektrozawór odcinający dopływ ciekłego LPG do reduktora**. Na rysunku 5.19 można zobaczyć,

że ciekły LPG wprowadzany jest najpierw do filtra fazy ciekłej a następnie przez sterowany elektromagnetycznie zawór odcinający dopiero do reduktora/parownika. Zawór jest zasilany napięciem 12 V z sieci elektrycznej pojazdu. Tak jak zawór odcinający, znajdujący się w wielozaworze w zbiorniku elektrozawór odcinający reduktora otwiera i zamyka przepływ LPG w określonych w homologacji R67.01 warunkach [40]. Obydwa zawory otwierają się na krótko przed przejściem zasilania z benzyny na LPG podczas rozgrzewania silnika po zimnym rozruchu. W chwili wyłączenia silnika obydwa elektrozawory powinny się zamknąć i utrzymywać szczelność w układzie zasilania LPG. Zatem reduktor/parownik ze zintegrowanym elektrozaworem odcinającym dołączył do grona elektromechanicznych komponentów, występujących w systemach sekwencyjnego wtrysku gazu LPG do silników benzynowych.



Rys. 5.19. Reduktor/parownik LPG z elektrozaworem odcinającym [72].

5.2.4. Wtryskiwacze gazu

Zbliżamy się coraz bardziej od zbiornika LPG do silnika. Oprócz parownika/reduktora kolejnym ważnym elementem elektromechanicznym systemu sekwencyjnego wtrysku gazu LPG do silników benzynowych są **wtryskiwacze**, które są najbardziej precyzyjnymi elementami współcześnie stosowanych systemów zasilania gazowego. Produkowane są przez wiele polskich i światowym firm. Odpowiedni

dobór wtryskiwaczy zapewnia prawidłową pracę jednostki napędowej w wyniku dużej dokładności i powtarzalności dawkowania wtryskiwanego gazu.

Wtryskiwacze dobierane są przez warsztat dokonujący konwersji pojazdu w zależności od mocy silnika i jego specyficznych wymagań, które są określane na podstawie specyficznej budowy silnika i systemu jego zasilania benzyną i powietrzem. Ogromne znaczenie ma sposób wtrysku benzyny do kolektora dolotowego silnika (sekwencyjny, półsekwencyjny czy symultaniczny) lub bezpośrednio do komory silnika. Montażyści dobierają wtryskiwacze gazu w zależności od zastosowanego doładowania silnika w postaci turbosprężarki lub kompresora. Wtryskiwacze do tak zaawansowanych silników powinny charakteryzować się możliwością pracy z krótkimi czasami wtrysku, występującymi na biegu jałowym, jak i dużym wydatkiem podczas maksymalnego obciążenia silnika.

Zasadniczy wpływ na prawidłową eksploatację wtryskiwaczy LPG w trakcie użytkowania instalacji gazowej ma sam użytkownik. Powinien regularnie wykonywać obsługę systemu zasilania gazem. W zakres tej czynności wchodzi wymiana filtra fazy ciekłej i gazowej LPG, co bezpośrednio wpływa na trwałość wtryskiwaczy gazowych. **Ważne jest również odpowiednie przełączanie z zasilania benzynowego na gazowe**. Jeżeli w wyniku nadmiernej oszczędności klient zażąda bardzo szybkiego przejścia z benzyny na gaz po zimnym rozruchu silnika, może to doprowadzić do uszkodzenia silnika. Wtryskiwacze, podobnie jak reduktor/parownik, posiadają elementy gumowe, które mogą zostać nadmiernie zmrożone przez odparowujący ze stanu ciekłego LPG. Powstałe mikro- i makro- pęknięcia negatywnie wpływają na szczelność i powtarzalność dawkowania takich wtryskiwaczy.

Wtryskiwacz gazowy, do silnika 4-cylindrowego, został przedstawiony na rysunku 5.20. Liczba sekcji wtryskowych w szynie wtryskowej lub pojedynczych wtryskiwaczy LPG odpowiada liczbie cylindrów w silniku benzynowym.



Rys. 5.20. Wtryskiwacze gazowe [58].

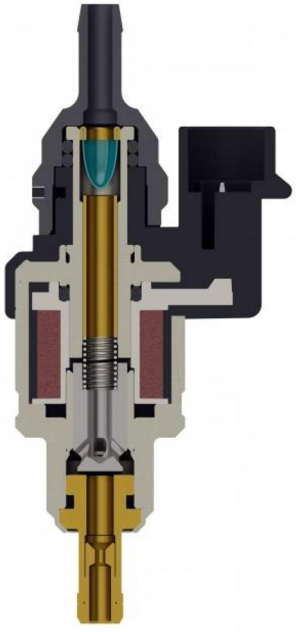
Specyfikacja techniczna wtryskiwacza przedstawionego na rysunku 5.20 jest następująca:

- Wersja wykonania: 1, 2, 3, 4 cylindry.
- Powłoka fluoropolimerowa.
- Rezystancja cewek: 1,9 Ω.
- Czas otwarcia: 2,0 ms.
- Czas zamknięcia: 1,0 ms.
- Maksymalne ciśnienie gazu: 4,5 bara.
- Maksymalny wydatek gazu: 115 l/min.
- Zakres temperatur pracy: od -40°C do 120°C.

Pomimo różnic konstrukcyjnych, zasada działania wtryskiwaczy benzynowych i gazowych jest podobna. Elektromagnes jest czynnikiem, który przyczynia się do przemieszczania elementu, który otwiera przepływ gazu do kanałów dolotowych. Rozbieżność wynika z tego, że paliwo gazowe ma dużo większą objętość w stosunku do określonej dawki benzyny. Dlatego cechą charakterystyczną wtryskiwaczy LPG jest obecność większych przekrojów kanałów, którymi przepływa paliwo. Ma to przełożenie na duże masy struktur, przede wszystkim w przypadku wtryskiwaczy tłoczkowych. W związku z tym wtryskiwacze gazowe mają większe wymiary zewnętrzne w stosunku do benzynowych. Wtryskiwacze gazowe to najdokładniejsze komponenty obecnie wykorzystywanych systemów zasilania gazowego. Są one zdecydowanie komponentami mechatronicznymi z tego względu, że ich podstawowy układ mechaniczny w postaci

zaworu jest otwierany za pomocą uzwojenia elektromagnesu. Przepływem prądu przez uzwojenie elektromagnesu w precyzyjny sposób steruje elektroniczna jednostka sterująca opisana wcześniej.

Bardzo dobrym **przykładem wtryskiwacza gazowego jest model Barracuda firmy Alex** [58]. Wtryskiwacz Barracuda jest konstrukcją tłoczkową, nierozbieralną, z doprowadzeniem gazu od góry. Z wykorzystaniem dedykowanych magistrali paliwowych można te wtryskiwacze łączyć w listwy zawierające 2, 3 lub 4 wtryskiwacze. Przy pomocy magistrali rozdzielających i adapterów można łączyć także pojedyncze wtryskiwacze. Wszystkie elementy, na które oddziałuje pole elektromagnetyczne, są wykonane z materiałów nierdzewnych o wysokiej przenikalności magnetycznej, pozwalającej uzyskać duże wartości indukcji magnetycznej przy użyciu małego prądu magnesowania oraz wysokiej indukcji nasycenia, odpowiadającej za uzyskanie większej siły otwierającej wtryskiwacz. Wygląd tłoczkowego wtryskiwacza LPG w przekroju przedstawiono na rysunku 5.21.



Rys. 5.21. Widok w przekroju wtryskiwacza gazowego Barracuda firmy Alex [58].

Te skomplikowane terminy określające właściwości magnetyczne materiałów informują, że wtryskiwacz jest bardzo sprawny (szybki),

a konieczne do wygenerowania pola elektromagnetycznego wartości prądów stosunkowo niewielkie (maksymalny prąd otwarcia 4 A, prąd przytrzymania 2 A). Producent podaje, że wtryskiwacz otwiera się w 1,9 ms, a czas zamknięcia wynosi 1,2 ms (przy zasilaniu 12 V i ciśnieniu 1,2 bara).

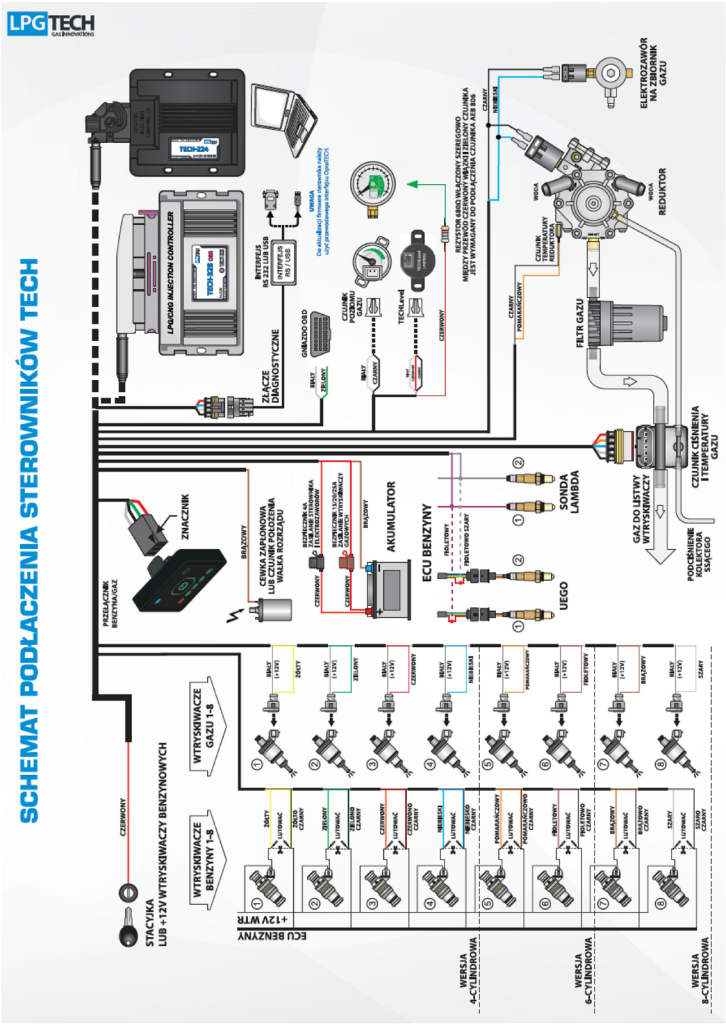
Na obudowie wtryskiwacza są trwale (laserem) naniesione jego podstawowe dane. Świadomie zrezygnowano z naklejek, aby wtryskiwacz był jednoznacznie identyfikowalny.

Patrząc na wtryskiwacz Barracuda nietrudno domyślić się, na jakiej konstrukcji był on wzorowany. Podobieństwo zewnętrzne wynika jednak przede wszystkim z tego, że wtryskiwacze tego rodzaju są bardzo dobrze kojarzone przez użytkowników. Wedle opinii przedstawicieli firmy Alex, nowy wtryskiwacz pod wieloma względami przewyższa pierwowzór, choćby z uwagi na zastosowanie innych materiałów. Dzięki temu żywotność wtryskiwacza Barracuda jest określana na ponad 500 mln cykli, a gwarancja producenta obejmuje okres do 100 tys. km przebiegu.

Przekrój wtryskiwacza Barracuda (rysunek 5.21) ukazuje jego konstrukcję, która nie wydaje się bardzo skomplikowana, a jednak dojście do etapu, w którym wtryskiwacz ten można oferować w sieci handlowej i gwarantować jego trwałość, wymagało wielu miesięcy prac rozwojowych, eksperymentowania z różnymi rodzajami materiałów, dopracowania kształtu poszczególnych elementów oraz rodzaju pokrywających ich powłok. Bardzo ciekawe technologie zastosowano w celu zmniejszenia tarcia pomiędzy tłoczkiem a tuleją, w której się on porusza. Oba elementy pokryto powłokami fluoropolimerowymi, które oprócz znacznego zmniejszenia współczynnika tarcia zapewniają także doskonałe właściwości antyadhezyjne (zmniejszenie zdolności przywierania zanieczyszczeń – non-stick), smarne, odporność na różnego rodzaju czynniki chemiczne oraz możliwość stosowania w szerokim zakresie temperatur (-20–120°C, a opcjonalnie -40–120°C). Powłokę fluoropolimerową tulejki prowadzącej (w której porusza się tłoczek) wzbogacono o dodatek dwusiarczku molibdenu (MoS2), który jest znakomitym środkiem smarnym, obniżającym tarcie i przyczyniającym się do zwiększenia trwałości. Element gumowy stopki również pokryto specjalną powłoką przedłużającą jej żywotność i minimalizującą przywieranie zanieczyszczeń.

5.2.5. Wiązka elektryczna przewodów

Wiązka przewodów elektrycznych łączy wszystkie czujniki oraz urządzenia wykonawcze z elektroniczną jednostką sterującą. Warto wspomnieć, że system sekwencyjnego wtrysku gazu korzysta również z sygnałów sterujących, pochodzących z systemu sterowania wtryskiem benzyny. Schemat połączeń systemu wtrysku gazu LPGTECH Tech 224 przedstawiono na rysunku 5.22.

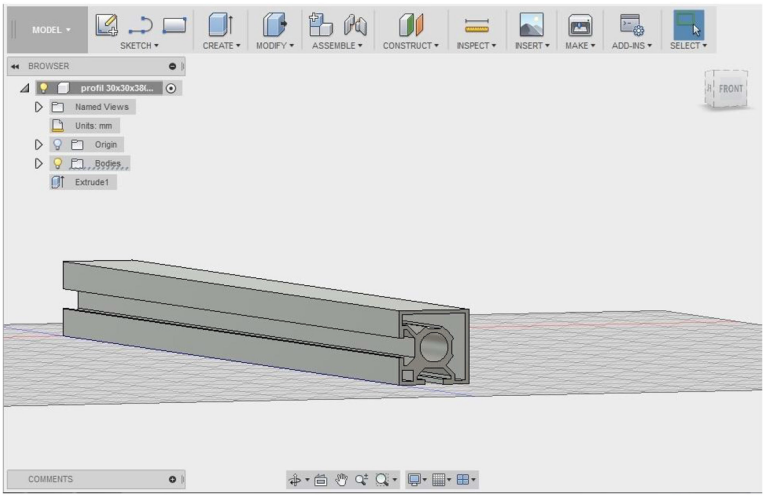


Rys. 5.22. Schemat połączeń systemu wtrysku gazu LPGTECH Tech 224 [73].

5.3. Projekt i wykonanie mechatronicznego stanowiska systemu zasilania pojazdu gazem LPG

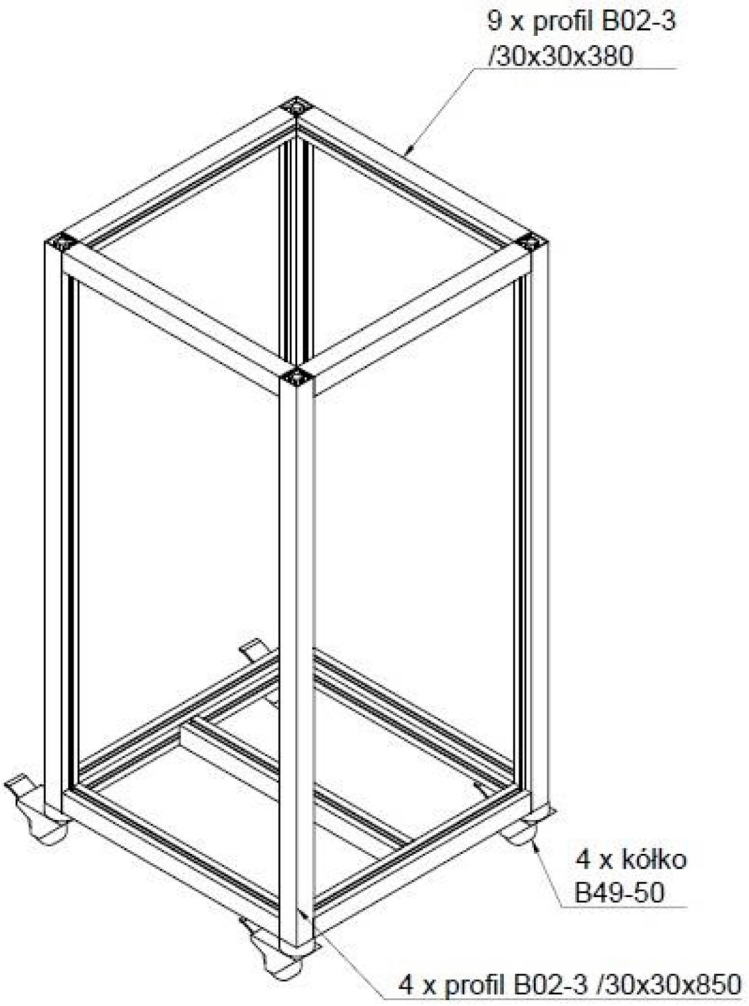
5.3.1. Projekt wózka jezdnego

System zaprojektowano w wersji mobilnej zamocowanej na wózku jezdnym. **Wózek jezdny** został zaprojektowany z profili aluminiowych Kanya [80]. Rama wózka została osadzona na 4 obrotowych kółkach z hamulcem. Projekt koncepcyjny wózka jezdnego przedstawiony został na rysunku 5.23. Zakładał odnalezienie w sieci gotowych modeli profili aluminiowych Kanya, wydłużenie ich na odpowiednią długość oraz złożenie w programie do modelowania 3D. W ten sposób powstała dokumentacja techniczna wózka jezdnego.



Rys. 5.23. Profil Kanya 30x30 wózka jezdnego.

Na podstawie rysunku wykonawczego (przedstawionego na rysunku 5.24) dokonano zakupów profili oraz kółek jezdnych. Ta sama dokumentacja posłużyła do złożenia wszystkich części.



Rys. 5.24. Rysunek złożeniowy wykonawczy wózka jezdnego.

Do montażu wózka i kół wykorzystano standardowe zamki łączące, oferowane przez producenta profili aluminiowych. Trzeba było tylko dobrać wielkość zamków łączących do wymiarów profili wózka. Montaż z ich wykorzystaniem jest łatwy i przyjemny. Umożliwiają one również bezproblemowy demontaż i ponowny montaż konstrukcji. Zamki skręca się za pomocą kluczy imbusowych. Następnie do gotowego wózka jezdnego zamocowano zbiornik oraz kolektor dolotowy silnika, co przedstawiono na rysunku 5.25.



Rys. 5.25. Montaż zbiornika i kolektora dolotowego na wózku jezdnym.

5.3.2. Rozmieszczenie komponentów

Projekt 3D stanowiska posłużył do wykonania rzeczywistego obiektu mającego zastosowanie edukacyjne oraz ekspozycyjne na różnego rodzaju targach branżowych i wystawach.

Aby pojazd zaprojektowany i wyprodukowany do zasilania paliwem oryginalnym mógł jeździć na paliwie alternatywnym, na jego

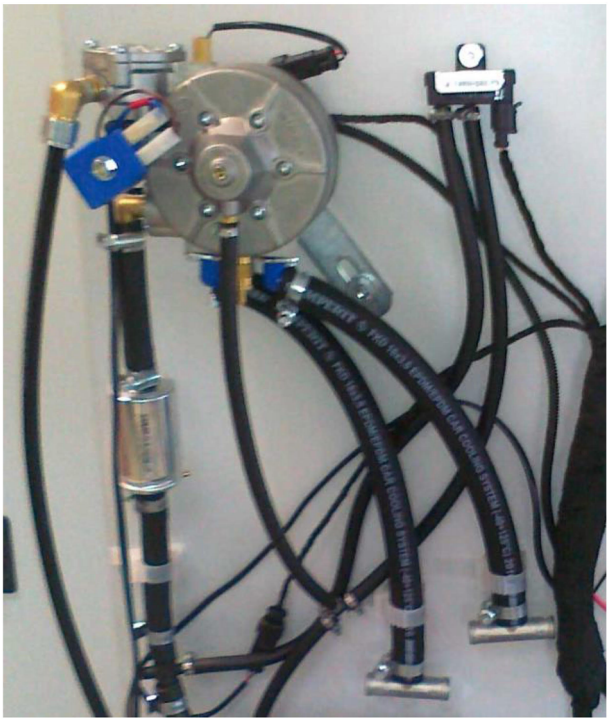
pokładzie musi zostać zamontowanych wiele zespołów. Wśród nich należy wymienić dodatkowy zbiornik paliwa, wtryskiwacze, czujniki oraz jednostkę sterującą wszystkimi dodatkowymi komponentami. Wszystkie komponenty muszą być homologowane, a sam proces podlega regulacjom prawnym [40].

Prawidłowe rozmieszczenie komponentów systemu gazowego w pojeździe jest bardzo ważne. Wpływa na prawidłową i długotrwałą pracę systemu. Przykładem może być umieszczenie i prawidłowe ułożenie elektronicznej jednostki sterującej – ECU. Powinna być zamontowana złączem elektrycznym do dołu. Niejednokrotnie dochodzi do zalania wodą i zalegania wody w nieprawidłowo zamontowanej ECU. Dochodzi wtedy do zwarć na płytce elektronicznej i do jej zniszczenia. Dlatego również na stanowisku edukacyjnym w prawidłowy sposób zaprojektowano ułożenie ECU oraz innych komponentów (patrz rysunek 5.26). Prawidłowy sposób montażu wszystkich komponentów systemu zasilania gazem pojazdów wynika z Regulaminu 67.01 EKG ONZ [40]. Zgodny z wytycznymi regulaminu montaż jest podstawą do uzyskania bezpiecznej pracy i niskiej emisji spalin do atmosfery [25].



Rys. 5.26. Rozmieszczenie ECU.

W samochodowej instalacji gazowej reduktor/parownik gazu podłączony jest do układu nagrzewnicy kabinowej w celu podgrzewania parującego gazu. W naszym przypadku jest to podłączenie równoległe, w którym niecały płyn krążący od silnika do nagrzewnicy kabinowej przepływa przez reduktor/parownik. Połączenie równoległe uzyskujemy poprzez montaż trójników (rysunek 5.27). Czujnik ciśnienia gazu montuje się za reduktorem/parownikiem, ale przed wtryskiwaczami gazu. Mierzy on ciśnienie gazu po odparowaniu i podgrzaniu w reduktorze.



Rys. 5.27. Rozmieszczenie reduktora i czujnika ciśnienia.

Jak już wspomniano wcześniej **ważnym elementem systemu wtrysku gazu są wtryskiwacze.** Od ich precyzji i prawidłowego działania zależą nie tylko osiągi silnika, ale także jego ekologia. **Dlatego wtryskiwacze są chronione przed zabrudzeniem przez filtr gazu fazy lotnej**. Jest on umieszczony pomiędzy reduktorem a wtryskiwaczami (rysunek 5.28). Filtr powinien być zamontowany w pojeździe w ten sposób, aby można było go łatwo wymienić. Wymiana filtra

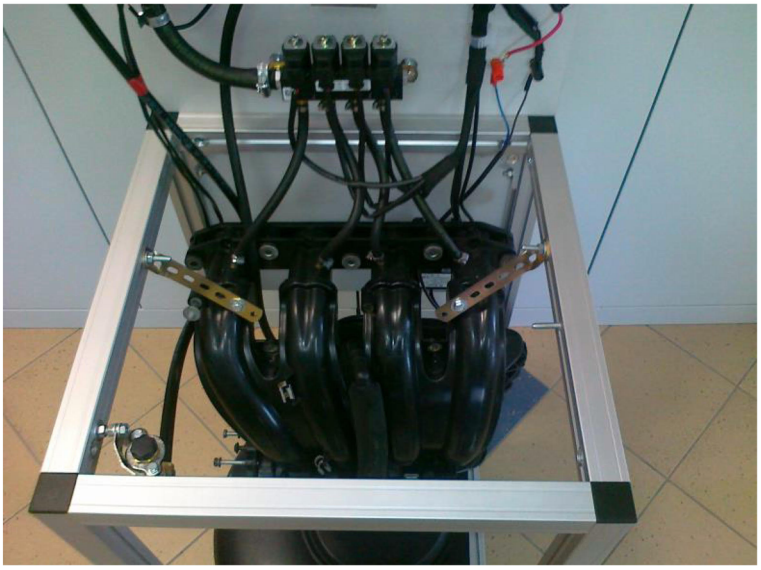
powinna się odbywać po przejechaniu na gazie ok. 10 000 km. Filtr należy zamontować zgodnie ze strzałką wskazującą kierunek przepływu gazu.



Rys. 5.28. Rozmieszczenie filtra LPG i wtryskiwaczy.

Wtryskiwacze gazu powinny być zamontowane jak najbliżej kolektora dolotowego silnika (patrz rysunek 5.29). Wtedy przewo-

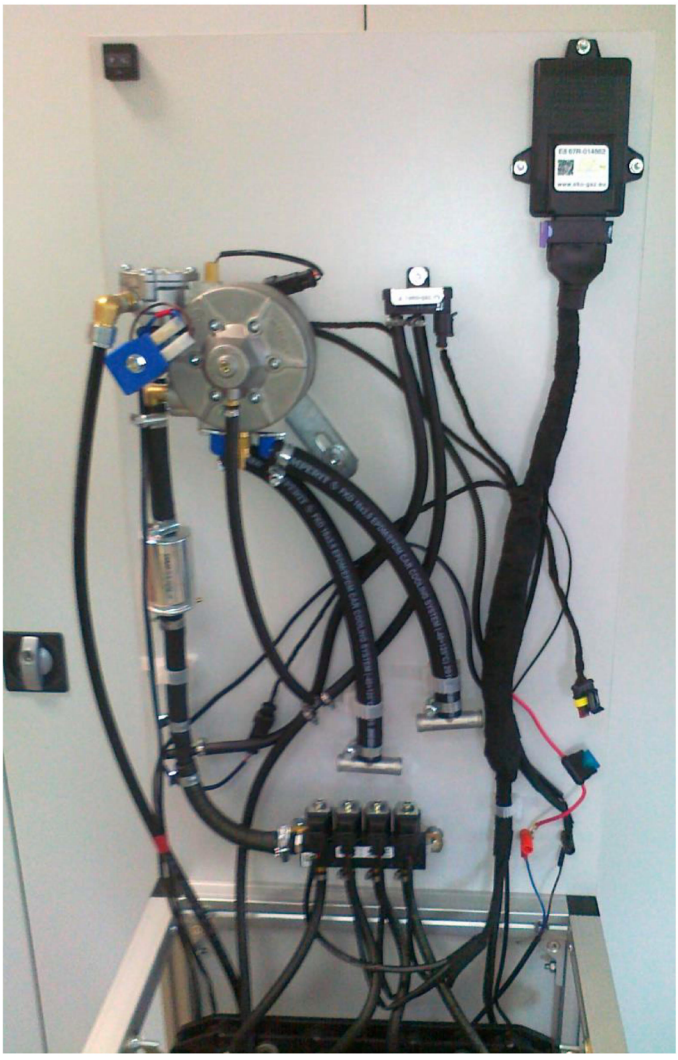
dy gazowe łączące poszczególne sekcje wtryskowe wtryskiwacza będą jak najkrótsze. Wszystkie przewody gazowe powinny być także jednakowej długości. Od długości przewodów, jak i od ich jednakowej długości zależy dynamika silnika. Na dłuższych przewodach dynamika jest gorsza. Silnik wolniej wkręca się na obroty.



Rys. 5.29. Rozmieszczenie kolektora dolotowego i wtryskiwaczy.

Rysunek 5.29 przedstawia również **sposób zamontowania kolektora dolotowego silnika na wózku jezdnym**. Na stanowisku możemy dokładnie zobaczyć, w jaki sposób zamontowano dysze zasilające gaz w kolektorze dolotowym. Studenci osobiście wiercili otwory o średnicy 5 mm a następnie gwintowali gwintownikiem M6. Wszystkie dysze powinny być od tego samego producenta i mieć koniecznie jednakową średnicę wewnętrznego otworu. Powinny być także wkręcone do kolektora pod jednakowym kątem. Wówczas dostarczanie gazu do wszystkich cylindrów jest jednakowe i silnik rozwija jednakową moc na wszystkich cylindrach. To zapewnia równomierną pracę silnika na biegu jałowym a także jego długotrwałe i bezawaryjne działanie.

Na rysunku 5.30 przedstawiono **płytę z zamontowanymi wszystkimi komponentami instalacji gazowej, które znajdują się pod maską samochodu (tzw. front-kit)**.



Rys. 5.30. Rozmieszczenie wszystkich komponentów front-kitu.

5.3.3. Widok finalny stanowiska

Na rysunku 5.31 przedstawiony jest widok **finalny kompletnego stanowiska interaktywnego sekwencyjnego wtrysku gazu LPG**.

Stanowisko jest mobilne i może bez problemu być przemieszczane po uczelni, która jest przystosowana do obsługi osób niepeł-

nosprawnych. Gdy nastąpi taka konieczność, płyta z elementami front-kitu może zostać odkręcona od wózka jezdnego. Wówczas stanowisko bez problemu mieści się w bagażniku kompaktowego samochodu.



Rys. 5.31. Widok finalnego stanowiska badawczego systemów gazowych.

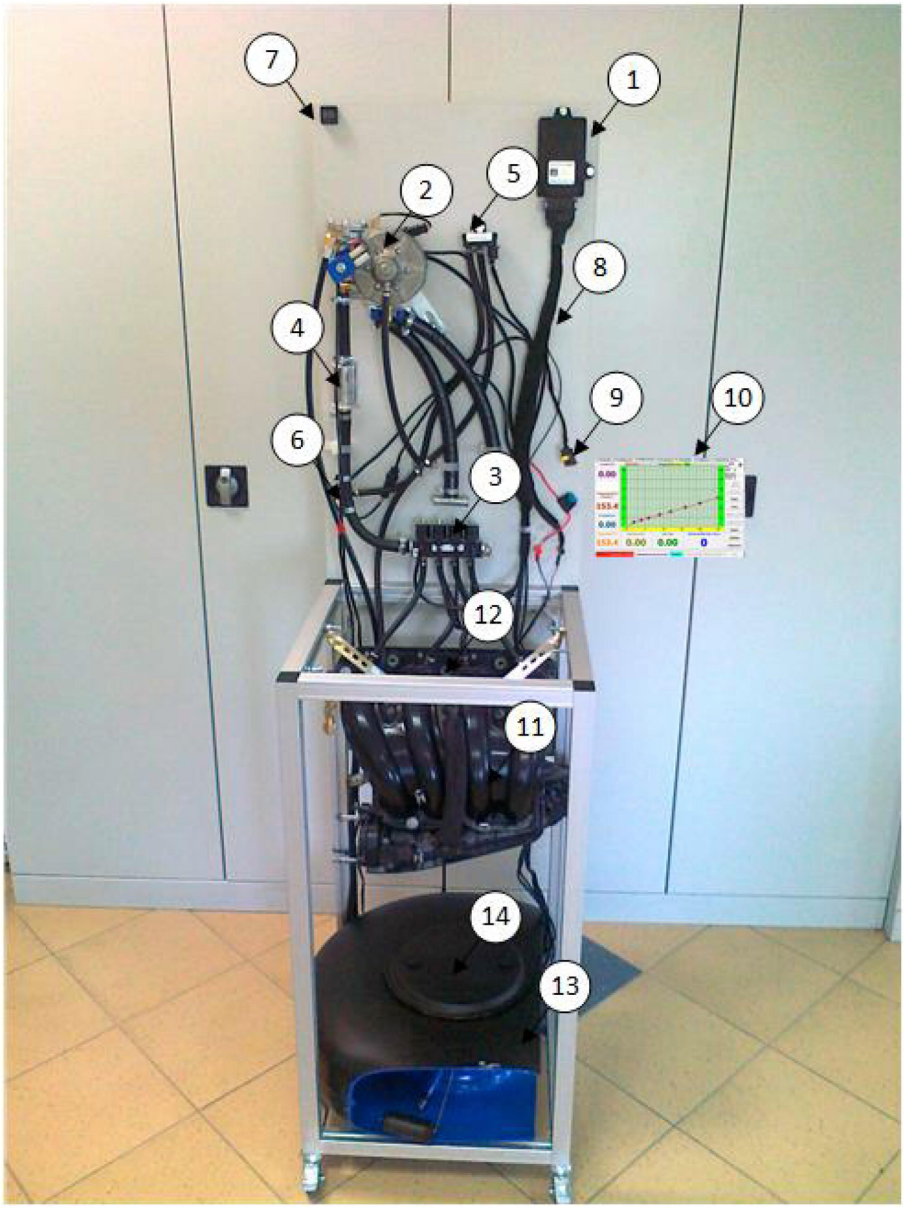
Na rysunku 5.32 przedstawiono i wyspecyfikowano wszystkie najważniejsze komponenty sekwencyjnego wtrysku gazu LPG.

Kompletne stanowisko obejmuje następujące komponenty:

1. Jednostka sterująca wtryskiem gazu ECU.
2. Parownik/reduktor zintegrowany z zaworem odcinającym i filtrem fazy ciekłej.
3. Wtryskiwacze gazu.
4. Filtr gazu fazy lotnej.
5. Czujnik ciśnienia gazu.
6. Czujnik temperatury gazu.
7. Przełącznik gaz-benzyna.
8. Okablowanie.
9. Interfejs diagnostyczny.
10. Software sterujący.
11. Kolektor dolotowy silnika z wielopunktowym wtryskiem paliwa.
12. Symulator silnika spalinowego.
13. Toroidalny zbiornik gazu.
14. Wielozawór + obudowa gazoszczelna.

Stanowisko badawczo-edukacyjne jest wykorzystywane przez dra inż. Arkadiusza Małka w realizacji wykładów i zajęć laboratoryjnych w ramach takich przedmiotów jak: fizyka, termodynamika, innowacyjne technologie, elektromechaniczne elementy w mechatronice i innych.

Został także napisany i opublikowany recenzowany artykuł na XXI Międzynarodowej Konferencji Naukowej TRANSCOMP Komputerowe systemy wspomagania nauki, przemysłu i transportu, która odbyła się w Zakopanem w dniach 4–7.12.2017 roku: *Małek A., Ogrodnik M.: Interaktywne stanowisko edukacyjne i badawcze systemów sekwencyjnego wtrysku gazu LPG* [21]. Artykuł opublikowano w czasopiśmie „Technika Tansportu Szynowego”, które miało wówczas 5 punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



Rys. 5.32. Specyfikacja elementów interaktywnego stanowiska systemu sekwencyjnego wtrysku gazu LPG.

5.4. Ćwiczenia

5.4.1. Ćwiczenie 1

Zapoznanie się z budową i działaniem wybranego elementu elektromechanicznego w samochodowej instalacji sekwencyjnego wtrysku LPG. Elementami takimi mogą być wtryskiwacze gazu przedstawione na rysunku 5.33. Mogą mieć one formę wtryskiwaczy indywidualnych lub zintegrowanych w szynę wtryskową.



Rys. 5.33. Różne rodzaje wtryskiwaczy gazu LPG.

Instrukcja

Ćwiczenie powinno obejmować demontaż oraz opis budowy i działania mechanicznego wtryskiwacza gazu LPG, stosowanego w systemach sekwencyjnego wtrysku. Przykładowy wtryskiwacz w postaci zdemontowanej, z przedstawionymi komponentami w widoku rozstrzelonym, przedstawiono na rysunku 5.34.



Rys. 5.34. Budowa wewnętrzna tłoczkowego wtryskiwacza LPG.

Następnie studenci powinni dokonać pomiarów elektrycznych uzwojeń w takim wtryskiwaczu. Pomiary należy wykonać za pomocą multimetru laboratoryjnego, jak to przedstawiono na rysunku 5.35. Wśród komponentów poprawnie działających znajdują się także uszkodzone, posiadające przerwane uzwojenie lub zwarcia międzyzwojowe. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów należy przeprowadzić dyskusję na temat wartości rezystancji uzwojeń wtryskiwaczy LPG w stosunku do wtryskiwaczy benzynowych.



Rys. 5.35. Pomiar rezystancji uzwojeń wtryskiwaczy LPG.

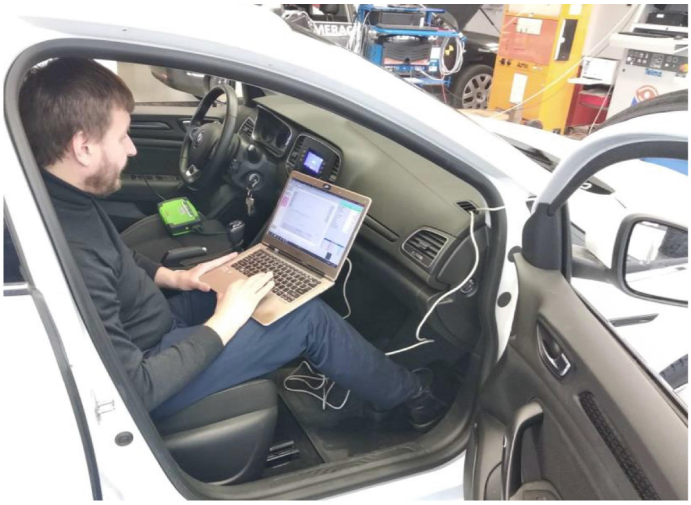
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5.4.2. Ćwiczenie 2

Praca z rzeczywistym pojazdem poddanym konwersji na zasilanie LPG. Dokonaj połączenia z pojazdem wyposażonym w instalację sekwencyjnego wtrysku gazu LPG. Dokonaj sprawdzenia poprawności konfiguracji i kalibracji systemu.

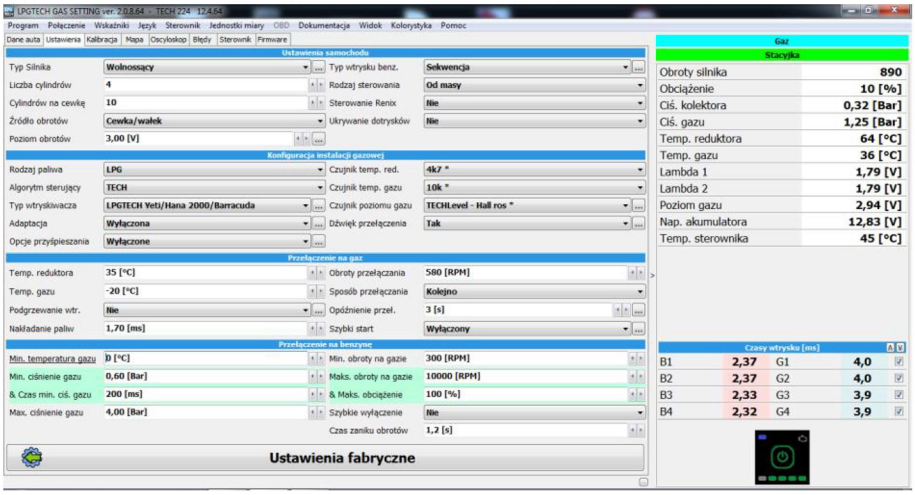
Instrukcja

Wejdź na stronę jednego z producentów samochodowych instalacji gazowych i ściągnij najnowszy software komunikacyjny. Dobierz i zakup potrzebny przewód transmisyjny. Zainstaluj software na komputerze przenośnym. Dokonaj podłączenia i komunikacji pomiędzy komputerem i ECU pojazdu. Przykład podłączenia komputera przenośnego z systemem sekwencyjnego wtrysku gazu przedstawiono na rysunku 5.36.

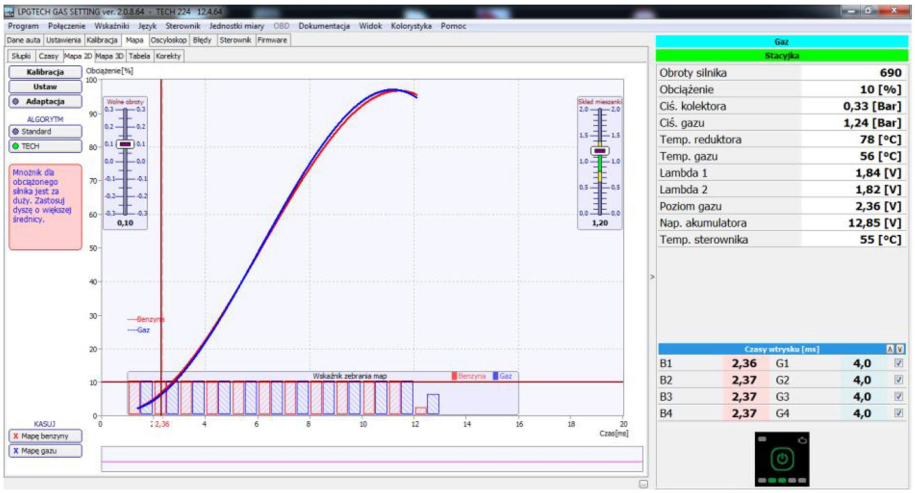


Rys. 5.36. Podłączenie komputera przenośnego z systemem sekwencyjnego wtrysku gazu.

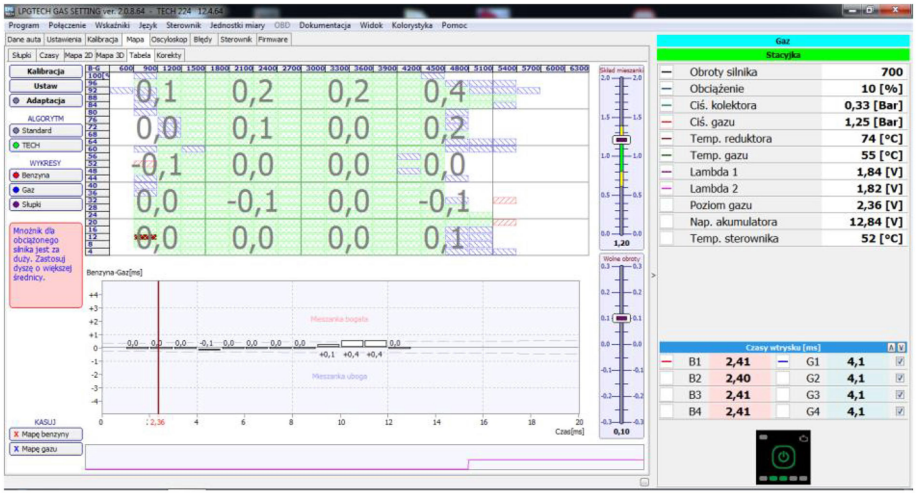
Sprawdź poprawność konfiguracji (rysunek 5.34) i kalibracji (rysunek 5.35 i 5.36) systemu sekwencyjnego wtrysku gazu.



Rys. 5.37. Okno konfiguracji systemu wtrysku LPG.



Rys. 5.38. Okno kalibracji systemu wtrysku LPG.



Rys. 5.39. Okno kalibracji systemu wtrysku LPG.

.....
.....
.....
.....
.....

5.4.3. Ćwiczenie 3

Dokonaj aktualizacji firmware w sterowniku gazowym (ECU).

Instrukcja

Wejdź na stronę jednego z producentów samochodowych instalacji gazowych i ściągnij najnowszy software komunikacyjny. Sprawdź aktualność zainstalowanego firmware. Dokonaj zapisu ustawień ECU. Jeśli posiadany firmware jest starszy od najnowszego dokonaj aktualizacji. Po aktualizacji należy wgrać zapisane ustawienia konfiguracyjne i kalibracyjne lub ponownie skonfiguruj i skalibruj pojazd.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5.4.4. Ćwiczenie 4

Dokonaj kalibracji systemu gazowego LPG podczas jazdy.

Instrukcja

Po uzyskaniu komunikacji z systemem zasilania gazem LPG w pojeździe skorzystaj z funkcji „przywróć ustawienia fabryczne ECU". Rozgrzej silnik do nominalnej temperatury pracy. Dokonaj automatycznej kalibracji systemu na biegu jałowym. Następnie dokonaj jazdy kalibracyjnej. Do tej czynności potrzebne są przynajmniej 2 osoby: kierowca i osoba dokonująca kalibracji za pomocą software. Zbierz jak najwięcej punktów kalibracyjnych w celu skompletowania mapy kalibracji w 3D, jak to przedstawiono na rysunku 5.37.



Rys. 5.40. Okno kalibracji 3D podczas jazdy.

.....
.....
.....
.....
.....

5.4.5. Ćwiczenie 5



Dokonaj doboru optymalnej instalacji gazowej dla pojazdu z bezpośrednim wtryskiem benzyny w pojeździe VW golf 7 1,4TSI o mocy 150 KM.

Instrukcja

Znajdź w Internecie, który z polskich producentów oferuje instalacje gazowe do silników z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Dobierz odpowiednią instalację wraz z reduktorem i wtryskiwaczami. Uzasadnij swoje decyzje.

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

5.5. Pytania testowe

1. Systemy zasilania LPG pojazdów są obecne na rynku polskim od ponad:

a. 20 lat.
b. 40 lat.
c. 50 lat.

2. Elektroniczna płytka sterująca ECU systemu LPG jest:

a. Software'm.
b. Hardware'm.

3. Normy emisji spalin na paliwie alternatywnym:

a. Są bardziej restrykcyjne niż na paliwie oryginalnym.
b. Są takie same, jak na paliwie oryginalnym.
c. Są mniej restrykcyjne niż na paliwie oryginalnym.

4. Oprogramowanie diagnostyczne systemu LPG jest:

a. Software'm.
b. Hardware'm.

5. Reduktor gazu LPG zmienia stan skupienia gazu z fazy:

a. Gazowej na ciekłą.
b. Ciekłej na gazową.

6. Pamięć wewnętrzna jednostki sterującej ECU to:

a. VIN.
b. IPROM.
c. EEPROM.

7. Napięcie pokładowe wynosi:

a. 12±1 V.
b. 5±0,5 V.
c. 24±2 V.



8. Zbiornik z wielozaworem stanowi urządzenie:

a. Mechaniczne.
b. Elektryczne.
c. Elektromechaniczne.

9. Reduktor gazu jest urządzeniem:

a. Mechanicznym.
b. Elektrycznym.
c. Elektromechanicznym.

10. Jednostka sterująca ECU jest urządzeniem:

a. Elektronicznym.
b. Mechanicznym.
c. Elektromechanicznym.

11. Przycisk przełącznika gaz/benzyna jest urządzeniem:

a. Elektronicznym.
b. Mechanicznym.
c. Elektromechanicznym.

12. Czujnik ciśnienia absolutnego w kolektorze dolotowym to:

a. Pressure Sensor.
b. MAP Sensor.
c. Mean Preassure Sensor.

13. Ciśnienie w zbiorniku LPG wynosi ok.:

a. 10 barów.
b. 20 barów.
c. 30 barów.

14. Klucz mocy sterujący pracą wtryskiwaczy gazowych to:

a. Injection Key.
b. EEPROM.
c. MOSFET.

15. Wtryskiwacze gazu są urządzeniami:

a. Mechanicznymi.
b. Elektrycznymi.
c. Elektromechanicznymi.



16. Czynnikiem, który przyczynia się do przemieszczania elementu, który otwiera przepływ gazu do kanałów dolotowych jest:

a. Elektromagnes.
b. Magnes.
c. Dźwignia.

17. Skroplony gaz węglowodorowy, którego podstawowymi składnikami są propan i butan, to gaz:

a. LNG.
b. LPG.
c. CNG.

18. Sprężony gaz ziemny, którego podstawowym składnikiem jest metan to gaz:

a. LNG.
b. LPG.
c. CNG.

19. Skroplony, schłodzony do temperatury co najmniej -162°C gaz ziemny, którego podstawowym składnikiem jest metan to gaz:

a. LNG.
b. LPG.
c. CNG.

20. Zbiornik i wielozawór połączone są z pozostałymi elementami instalacji gazowej:

a. 1 przewodem gazowym.
b. 2 przewodami gazowymi.
c. 3 przewodami gazowymi.

21. Układ elektryczny instalacji gazowej:

a. Nie musi być zabezpieczony przed przeciążeniem.
b. Powinien być zabezpieczony przed przeciążeniem.



22. Odległość zbiorników od układu wydechowego nie może być mniejsza niż:

a. 0,1 m.
b. 0,2 m.
c. 0,5 m.

23. Instalacja zasilania gazem LPG powinna być projektowana na ciśnienie wynoszące:

a. 2,7 MPa.
b. 3 MPa.
c. 26 MPa.

24. Instalacja zasilania gazem LNG powinna być projektowana na ciśnienie wynoszące:

a. 2,7 MPa.
b. 3 MPa.
c. 26 MPa.

25. Instalacja zasilania gazem LNG powinna być projektowana na ciśnienie wynoszące:

a. 2,7 MPa.
b. 3 MPa.
c. 26 MPa.

26. Czujnik poziomu gazu SPW01 posiada:

a. 1 przewód.
b. 2 przewody.
c. 3 przewody.

27. Zielony przewód czujnika poziomu gazu SPW01 to:

a. Masa.
b. Sygnał.
c. Napięcie 12V.

28. Czerwony przewód czujnika poziomu gazu SPW01 to:

a. Masa.
b. Sygnał.
c. Napięcie 12V.

29. Czarny przewód czujnika poziomu gazu SPW01 to:

a. Masa.
b. Sygnał.
c. Napięcie 12V.

30. W samochodowych systemach LPG nie występują zbiorniki:

a. Cylindryczne.
b. Toroidalne.
c. Prostopadłościenne.

6. Podsumowanie i wnioski

Mechatronika jest współcześnie jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin wiedzy technicznej. To dzięki elektronice sterującej, układom automatyki, rezultatom licznych prac z obszaru szeroko rozumianej elektrotechniki w urządzeniach mechanicznych, takich jak opisywane w niniejszym skrypcie maszyny i urządzenia, możliwe jest osiągnięcie zupełnie nowej jakości i funkcjonalności i tak już bardzo skomplikowanego urządzenia. Dzięki temu w mechatroniczny sposób urządzenie konwencjonalne zyskuje nowe oblicze i nowe funkcjonalności, które są zgodne z Przemysłem 4.0 i Internetem Rzeczy.

Maszyny przemysłowe XXI wieku są skomplikowanymi urządzeniami mechatronicznymi, stanowiącymi elementy Internetu Rzeczy (IoT). Dzięki cechom identyfikowalności i komunikacyjności możliwy jest ciągły monitoring wybranych lub wszystkich parametrów ich pracy. **Obustronna komunikacja systemu zarządczego (automatycznego lub opartego na ludziach)** pozwala sterować maszynami z wykorzystaniem sygnałów sprzężenia zwrotnego i w ten sposób istotnie wpływać na ich pracę w celu korekcji wybranych parametrów. Ich sterowanie pozwala zaś na dowolne kształtowanie wyglądu i wskaźników jakościowych wytwarzanego produktu. Istnieje wiele obszarów wpływania na jakość produktu i niezawodność maszyn produkcyjnych. Precyzyjne zdefiniowanie wskaźnika jakości oraz ustalenie i wdrożenie procedur w celu jego maksymalizacji (lub minimalizacji) pozwoli osiągnąć przewagę nad konkurencją w postaci lepszych cech jakościowych lub niższych kosztów produkcji. Zwłaszcza w przemyśle spożywczym ważna jest eliminacja przestojów maszyn produkcyjnych. Efektywne sterowanie procesami przetwórczymi w produkcji spożywczej może przyczynić się do zwiększenia produkcji.

Bibliografia

[1] Asato, O.L., Kato, E.R.R., Inamasu, R.Y., Porto, A.J.V. (2002). Analysis of open CNC architecture for machine tools, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 13, 261–281.

[2] Asato, O.L., Kato, E.R.R., Inamasu, R.Y., Porto, A.J.V. (2002). Analysis of open CNC architecture for machine tools, Proc. Of COBEM'99, 13, 208–212.

[3] Broel-Plater, B., Domek, S., Parus, A. (2009). Permanent Magnet Chatter Absorber with Fuzzy Logic Control, Solid State Phenomena, 147–149, 179–184.

[4] Cegielska, A., Olszewski, M. (2015). Nieinwazyjny interfejs mózg-komputer do zastosowań technicznych. *Pomiary Automatyka Robotyka,* 3(19), 5–14, DOI: 10.14313/, AR_217/5.

[5] Domek, S., Pietrusewicz, K. (2009). Mechatronika w doskonaleniu konwencjonalnych urządzeń technicznych na przykładzie obrabiarki wielofunkcyjnej. *Przegląd Elektrotechniczny* (*Electrical Review*), ISSN 0033-2097, r. 85 nr 9.

[6] Dworak, P., Pietrusewicz, K. (2009). A Fuzzy-Logic Based Tuning for a Velocity Controller of the DC Servo Drive, Solid State Phenomena, 147–149, 290–295.

[7] Flekiewicz, M. (2004). Instalacje zasilania gazem. *Poradnik Serwisowy,* 1.

[8] Fortin, E., Chatelain, J.-F., Rivest, L. (2004). An innovative software architecture to improve information flow from CAM to CNC, Computers and Industrial Engineering, 46, 655–667.

[9] Gracel, J. (2016). Industry 4.0 – kluczowe pytania i odpowiedzi. *Automatyka, Podzespoły, Aplikacje*, 6, 2016, 36–39.

[10] Helduser, S., Mednis, W., Olszewski M. (2009). *Elementy i układy hydrauliczne.* Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

[11] Hoske, M.T. (2015). Internet Rzeczy w fabryce 4.0. *Control Engineering Polska,* 6(116), 22–30.

[12] Ibaraki, Soichi & Sawada, Masahiro & Matsubara, Atsushi & Matsushita, Tetsuya. (2010). Machining tests to identify kinematic errors on five-axis machine tools. Precision Engineering. 34. 10.1016/j.precisioneng.2009.09.007.

[13] Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, Deloitte 2016.

[14] Jaworowska, M., Piątek, Z. (2016). Przemysł 4.0 – czwarta rewolucja przemysłowa na świecie. *Automatyka, Podzespoły, Aplikacje*, 6(10), 24–27.

[15] Józwik, J., Kuric, I., Král, J., Král, J. jr., Spišák, E. (2012). Wybrane rozwiązania konstrukcyjne frezarek i centrów obróbczych sterowanych numerycznie. *Postępy Nauki i Techniki*, nr 13.

[16] Kaliczyńska, M., Dąbek, P. (2015). Value of the Internet of Things for the Industry – An Overview, W: Mechatronics: Ideas for Industrial Applications, 51–63, DOI: 10.1007/978-3-319-10990-9_6.

[17] Kuo, C.-F.J., Hsu, C.-H, Tsai, C.-C. (2007). Control of a permanent magnet synchronous motor with a fuzzy sliding-mode controller, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32, 757–763.

[18] Kuo, C.-F.J., Hsu, C.-H. (2006). Precise speed control of a permanent magnet synchronous motor, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28, 942–949.

[19] Lin-Shi, X., Morel, F., Llor, A.M., Allard, B., Retif, J.-M. (2007). Implementation of hybrid control for motor drives, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 54, n. 4, 1946–1952.

[20] Majerczyk, A., Taubert, S. (2006). *Układy zasilania gazem propan-butan.* Warszawa: WKiŁ.

[21] Małek, A., Ogrodnik, M. *Interaktywne stanowisko edukacyjne i badawcze systemów sekwencyjnego wtrysku gazu LPG*. XXI Międzynarodowa Konferencja Naukowa TRANSCOMP Komputerowe systemy wspomagania nauki, przemysłu i transportu, Zakopane 4–7.12.2017. Technika transportu szynowego 12/2017.

[22] Martinov, G. & Lyubimov, A. & Bondarenko, A. & Sorokoumov, A. & Kovalev, Ilya. (2015). An Approach to Building a Multiprotocol CNC System. Automation and Remote Control. 76. 172–178. 10.1134/S0005117915010178.

[23] Mehrabi, M.G., Ulsoy, A.G., Koren, Y., Heytler, P. (2002). Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems, Journal of Intelligent Manufacturing, 13, 135 – 146.

[24] Merkisz, J., Pielecha, I. (2004). *Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów.* Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

[25] Merkisz, J., Pielecha, J., Radzymirski, S. (2012). *Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej.* Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.

[26] Neugebauer, R., Denkena, B., Wegener, K. (2007). Mechatronic systems for machine tools, Annals of the CIRP, 56, n. 2, 657–686.

[27] Oczoś, K.E. (2007). Kierunki zwiększania produktywności procesów skrawania, *Mechanik*, 5–6, 325–348.

[28] Oczoś, K.E. Obrabiarki skrawające – stan obecny na tle prognozy rozwoju. Część 1, 2. *Mechanik*, 12 (2005), 973–983; *Mechanik,* 1 (2006), 28–35.

[29] Oczoś, K.E., Porzycki, J., Habrat, W., Zahuta P. (2006). Zastosowanie układów CNC o strukturze otwartej do sterowania szlifierek, *Mechanik*, 5–6, 367–376.

[30] Olszewski M. (2016). Mechatronizacja produktu i produkcji – przemysł 4.0, Pomiary Automatyka Robotyka, ISSN 1427-9126, r. 20, nr 3, 13–28.

[31] Park, S., Kim, S.-H., Cho, H. (2006). Kernel software for efficiently building, re-configuring, and distributing an open CNC controller, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27, 788–796.

[32] Pritschow, G., Altintas, Y., Jovane, F., Koren, Y., Mitsuishi, M., Takata, S., van Brussel, H., Weck, M., Yamazaki, K. (2001). Open Controller Architecture – Past, Present and Future, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 50, n. 2, 463–470.

[33] Ramesh, R., Mannan, M.A., Poo, A.N. (2005). Tracking and contour error control in CNC servo systems, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45, 301–326.

[34] Ramirrez-Serrano, A., Zhu, S.C., Chan, S.K.H., Chan, S.S.W., Ficocelli, M., Benhabib, B. (2002). A hybrid PC/PLC architecture for manufacturing-system control – theory and implementation, Journal of Intelligent Manufacturing, 13, 261–281.

[35] RAPORT: Czwarta rewolucja przemysłowa: Elementarz dla producentów The 4th Industrial Revolution: A Primer for Manufacturers EEF The Manufacturers' Organization Oracle 2016.

[36] RAPORT: Inteligentna Fabryka Industry 4.0: The Industrial Internet of Things, Deloitte 2017.

[37] RAPORT: Przemysł 4.0 czyli wyzwania współczesnej produkcji, PwC Kwiecień 2017.

[38] RAPORT: Przemysł 4.0, Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz? ASTOR Październik 2016.

[39] RAPORT: Przemysł 4.0. Wyzwania i rozwiązania dla transformacji cyfrowej oraz rozwijających się wykładniczo technologii.

[40] *Regulamin nr 67.01* Europejskiej Komisji Gospodarczej przy ONZ.

[41] Rozporządzenie ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (tekst jednolity Dz. U. z 2015 r., poz. 305).

[42] Rozporządzenie ministra transportu, budownictwa i gospodarki morskiej w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz dokumentów stosowanych przy tych badaniach (Dz. U. z 2012 r., poz. 996 z późn. zm.).

[43] Sitek K. Badanie techniczne pojazdów wyposażonych w instalację gazową (1). *Nowoczesny Warsztat* nr 6 (192).

[44] Tseng, P.C., Chou, A. (2002). The intelligent on-line monitoring of end milling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* 42, 89–97.

[45] Xu, X.W., Newman, S.T. (2006). Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent – a review of the technologies, *Computers in Industry*, 57, 141–152.

[46] Yonglin, C. (2005). An evaluation space for open architecture controllers, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26, 351–358.

Czasopisma, strony internetowe:

[47] http://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/ [dostęp: 2021-04-29].

[48] https://lean.org.pl/przemysl-4-0-industry-4-0-dziala-a/ [dostęp: 2021-04-29].

[49] http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artykul/article/przemysl-40-z-perspektywy-polskiego-rynku/ [dostęp: 2021-04-29].

[50] https://www.pwc.pl/pl/publikacje/2017/przemysl-4-0.html [dostęp: 2021-04-29].

[51] http://www.controlengineering.pl/menu-gorne/kanaly-tematyczne/fabryka-40/ [dostęp: 2021-04-29].

[52] http://www.iofthings.pl/ [dostęp: 2021-04-29].

[53] https://leantrix.com/pl/ [dostęp: 2021-04-29].

[54] http://www.luqam.com/raport-a3-sekretna-bron-zarzadcza-w-przedsiebiorstwach [dostęp: 2021-04-29].

[55] http://leanactionplan.pl/slownik-pojec-lean-manufacturing/ [dostęp: 2021-04-29].

[56] http://www.leancenter.pl/bazawiedzy/wdrozenie-tpm-jak-oszczedzac [dostęp: 2021-04-29].

[57] https://strefainzyniera.pl/artykul/1098/budowa-obrabiarki-cnc [dostęp: 2021-05-04].

[58] https://gazeo.pl/informacje/instalacje/produkty/Wtryski-wacz-LPG-Barracuda-szybki-drapieznik,artykul,6205.html [dostęp: 2021-05-09].

[59] https://www.fanum.pl/akcesoria-cnc/glowica-p4man,produkt69/ [dostęp: 2021-05-09].

[60] https://www.fanum.pl/akcesoria-cnc/elektrowrzeciono-hsd-es779,produkt81/ [dostęp: 2021-05-09].

[61] https://www.fanum.pl/akcesoria-cnc/magazynek-narzedzi-rewolwerowy-na-kolumnie-portalu,produkt54/ [dostęp: 2021-05-09].

[62] https://www.fanum.pl/akcesoria-cnc/4-os-c-agregatu,produkt99/ [dostęp: 2021-05-09].

[63] https://www.ctbservo.com/product/permanent-magnet-synchronous-servo-motor-1-1-2-8-kw-8-9-10-5n-m-2000-6000rpm-a1175x175x325mm/ [dostęp: 2021-05-09].

[64] https://elmea.pl/fileadmin/_processed_/f/3/csm_rozmontowany-serwomotor-pmsm_a58c3bf4da.jpg [dostęp: 2021-05-09].

[65] https://bernardandcompany.wordpress.com/2014/01/23/aerodef-2013-booth-239-siemens-sinumerik-840d-sl/ [dostęp: 2021-05-09].

[66] http://siemens71.ru/2017/?fn=0010030361 [dostęp: 2021-05-09].

[67] https://www.cs-lab.eu/sklep-kat/serwonapedy-serwosilniki/#-bottom-text [dostęp: 2021-05-06].

[68] https://lehua.com.pl/27-elementy-elektromechaniczne [dostęp: 2021-05-07].

[69] http://ct.elhurt.com.pl/elementy-elektromechaniczne/ [dostęp: 2021-05-07].

[70] http://www.www.smd24.com.pl/?a=sklep&k=372 [dostęp: 2021-05-07].

[71] https://www.conrad.pl/t/elektromechanika-t14 [dostęp: 2021-05-07].

[72] https://www.eko-gaz.eu/p/34-HOME.html [dostęp: 2021-06-07].

[73] http://lpgtech.pl/ [dostęp: 2021-06-07].

[74] https://www.lectura-specs.pl/pl/model/recykling-usuwanie-odpadow/urzadzenia-do-recyklingu-gruzu-budowlanego-sandvik/qj-341-1144989 [dostęp: 2021-06-07].

[75] https://pl.multivac.com/pl/ [dostęp: 2021-06-09].

[76] https://www.crushingtigers.com/pdf/QJ341_Manual_ENG.pdf [dostęp: 2021-06-20].

[77] http://www.amarspares.pl/odlewy.html [dostęp: 2021-06-20].

[78] https://matykiewicz.com/ [dostęp: 2021-06-20].

[79] https://gzwm.com.pl/ [dostęp: 2021-06-20].

[80] http://www.kanya.pl/system-kanya,93.html?sLang=pl [dostęp: 2021-06-20].

Spis rysunków

Rys. 0.1. Koncepcja mechatroniki – interdyscyplinarny charakter prowadzonych projektów badawczych sprawia, że konieczna jest współpraca inżynierów z różnych dziedzin nauki [5]. 11

Rys. 1.1. Rewolucje przemysłowe [47]. 17

Rys. 1.2. Internet Reczy oraz jego składowe [47]. 19

Rys. 1.3. Cele Przemysłu 4.0 [48]. 21

Rys. 1.4. Połączenia w Przemyśle 4.0 [47]. 22

Rys. 1.5. Linia produkcyjna zgodna z Przemysłem 4.0 [47]. 24

Rys. 1.6. Potencjał rozwoju IoT [52]. 26

Rys. 2.1. Schemat budowy obrabiarki sterowanej numerycznie CNC o pięciu osiach [12]. 38

Rys. 2.2. Podstawowe zespoły funkcjonalne obrabiarek CNC [15]. 41

Rys. 2.3 Rewolwerowa głowica CNC P4MAN [59]. 43

Rys. 2.4 Magazyn narzędzi rewolwerowy [61]. 44

Rys. 2.5. Elektrowrzeciono do maszyny CNC [60]. 47

Rys. 2.6. Elektrowrzeciono do maszyny CNC zamocowane na obrabiarce [60]. 47

Rys. 2.7. Serwosilnik PMSM do maszyny CNC [63]. 49

Rys. 2.8. Rozmontowany serwosilnik PMSM do maszyny CNC [64]. 49

Rys. 2.9. 4 oś C – adapter do agregatu na wrzeciono HSD ze stożkiem ISO 30 [62]. 50

Rys. 2.10. Sterowanie odcinkowe stołem frezerskim [22]. 53

Rys. 2.11. Serwonapędy simDrive 750W na 3 osie: serwonapęd + serwosilnik [67]. 55

Rys. 2.12. Wygląd zewnętrzny i wybrane wymiary serwosilnika [67]. 55

Rys. 2.13. Główne wymiary serwosilnika [67]. 56

Rys. 2.14. Model 3D serwosilnika w programie Solid Edge. 56

Rys. 2.15. System sterowania SINUMERIK Solution Line firmy Siemens [65]. 57

Rys. 2.16. Komponenty i sposób sterowania nimi w SINUMERIK [65]. 58

Rys. 3.1. Mobilna kruszarka szczękowa [74]..... 69

Rys. 3.2. Otwór zasypowy w kruszarce Sandvik [76]. 70

Rys. 3.3. Kosz zasypowy kruszarki [76]. 71

Rys. 3.4. Podawacz wibracyjny kruszarki [76]..... 71

Rys. 3.5. Odsiewacz wstępny dwupokładowy [76]. 72

Rys. 3.6. Regulowany by-pass kruszarki [76]..... 73

Rys. 3.7. Podawacz wibracyjny pod kruszarką [76]. 73

Rys. 3.8. Silnik spalinowy kruszarki [76]..... 74

Rys. 3.9. Panel sterowania [76]. 75

Rys. 3.10. Gąsienicowy układ jezdny kruszarki [76]..... 75

Rys. 3.11. Podpory stabilizujące kruszarki [76]. 76

Rys. 3.12. Przenośnik boczny drobnego ziarna w kruszarce [76]. 77

Rys. 3.13. Pilot zdalnego sterowania [76]. 77

Rys. 3.14. Separator magnetyczny w kruszarce [76]. 78

Rys. 3.15. Szczęki kruszące kruszarki [77]. 81

Rys. 3.16. Zasada działania bębnowego separatora magnetycznego. 83
Rys. 3.17. Bęben magnetyczny stalowy gładki. 84
Rys. 3.18. Bęben magnetyczny gumowany..... 84
Rys. 3.19. Bęben magnetyczny w zastosowaniu stacjonarnym. ... 84
Rys. 3.20. Opcjonalne systemy automatyki [78]..... 87
Rys. 3.21. Wyłącznik linkowy typu Lifeline 4 [78]. 88
Rys. 3.22. Wyłącznik linkowy – opis przycisków [78]. 89
Rys. 3.23. Wyłącznik krańcowy [78]. 90
Rys. 3.24. Termopary [78]. 93
Rys. 3.25. Charakterystyki termopar [78]. 94

Rys. 4.1. Budowa maszyny rolowej [75]. 104
Rys. 4.2. Układ podawania folii dolnej w maszynie rolowej do pakowania próżniowego [75]..... 106
Rys. 4.3. Proces formowania folii [75]. 107
Rys. 4.4. Załadunek produktu [75]..... 108
Rys. 4.5. Cięcie poprzeczne [75]. 109
Rys. 4.6. Cięcie wzdłużne [75]. 109
Rys. 4.7. Wyświetlacz w maszynie rolowej [75]. 111
Rys. 4.8. Przykład rozmieszczenia czujników w maszynie rolowej [75]. 112
Rys. 4.9. Sala konferencyjna firmy Multivac wraz z ekspozycją produkowanych maszyn. 113
Rys. 4.10. Studenci podczas wizyty studyjnej w firmie Multivac. 113

Rys. 5.1. Komponenty systemu sekwencyjnego wtrysku LPG [72]. 123
Rys. 5.2. Sterownik TECH-320 OBD [73]. 125

Rys. 5.3. Płytka drukowana elektronicznej jednostki sterującej wtryskiem LPG – góra. 127

Rys. 5.4. Płytka drukowana elektronicznej jednostki sterującej wtryskiem LPG – dół. 128

Rys. 5.5. Okno testu obwodu prędkości obrotowej. 129

Rys. 5.6. Okno testu obwodu czujnika ciśnienia. 129

Rys. 5.7. Okno testu czujnika temperatury ECU. 130

Rys. 5.8. Okno testu napięć zasilania. 130

Rys. 5.9. Okno testu sygnałów otwierających wszystkie wtryskiwacze. 131

Rys. 5.10. Przykładowy poprawny przebieg napięcia otwarcia wtryskiwacza gazowego..... 131

Rys. 5.11. Raport końcowy z pozytywnych badań ECU. 132

Rys. 5.12. Zbiornik toroidalny wewnętrzny [79]. 135

Rys. 5.13. Mocowanie zbiornika toroidalnego wewnętrznego: ... 136

Rys. 5.14. Zbiornik gazu LPG. 137

Rys. 5.15. Wielozawór [20]:..... 138

Rys. 5.16. Przekrój przez wlew paliwa [20]: 139

Rys. 5.17. Widok czujnika SPW01. 140

Rys. 5.18. Montaż czujnika SPW01. 140

Rys. 5.19. Reduktor/parownik LPG z elektrozaworem odcinającym [72]..... 144

Rys. 5.20. Wtryskiwacze gazowe [58]. 146

Rys. 5.21. Widok w przekroju wtryskiwacza gazowego Barracuda firmy Alex [58]. 147

Rys. 5.22. Schemat połączeń systemu wtrysku gazu LPGTECH Tech 224 [73]. 149

Rys. 5.23. Profil Kanya 30x30 wózka jezdnego. 150

Rys. 5.24. Rysunek złożeniowy wykonawczy wózka jezdnego. 151

Rys. 5.25. Montaż zbiornika i kolektora dolotowego na wózku jezdnym. 152

Rys. 5.26. Rozmieszczenie ECU..... 153

Rys. 5.27. Rozmieszczenie reduktora i czujnika ciśnienia. 154

Rys. 5.28. Rozmieszczenie filtra LPG i wtryskiwaczy..... 155

Rys. 5.29. Rozmieszczenie kolektora dolotowego i wtryskiwaczy. 156

Rys. 5.30. Rozmieszczenie wszystkich komponentów front-kitu..... 157

Rys. 5.31. Widok finalnego stanowiska badawczego systemów gazowych..... 158

Rys. 5.32. Specyfikacja elementów interaktywnego stanowiska systemu sekwencyjnego wtrysku gazu LPG..... 160

Rys. 5.33. Różne rodzaje wtryskiwaczy gazu LPG. 161

Rys. 5.34. Budowa wewnętrzna tłoczkowego wtryskiwacza LPG. 161

Rys. 5.35. Pomiar rezystancji uzwojeń wtryskiwaczy LPG..... 162

Rys. 5.36. Podłączenie komputera przenośnego z systemem sekwencyjnego wtrysku gazu. 163

Rys. 5.37. Okno konfiguracji systemu wtrysku LPG..... 164

Rys. 5.38. Okno kalibracji systemu wtrysku LPG. 164

Rys. 5.39. Okno kalibracji systemu wtrysku LPG. 165

Rys. 5.40. Okno kalibracji 3D podczas jazdy..... 166

Odpowiedzi do pytań testowych

Pytanie testowe 1.5		Pytanie testowe 2.4		Pytanie testowe 3.5		Pytanie testowe 4.3		Pytanie testowe 5.5	
1	B	**1**	C	**1**	C	**1**	B	**1**	A
2	A	**2**	B	**2**	B	**2**	A	**2**	B
3	C	**3**	A	**3**	B	**3**	C	**3**	B
4	C	**4**	B	**4**	B	**4**	A	**4**	A
5	B	**5**	A	**5**	A	**5**	C	**5**	B
6	C	**6**	C	**6**	B	**6**	B	**6**	C
7	A	**7**	A	**7**	A	**7**	C	**7**	B
8	A	**8**	B	**8**	C	**8**	A	**8**	C
9	B	**9**	C	**9**	A	**9**	A	**9**	C
10	C	**10**	A	**10**	A	**10**	B	**10**	A
11	B	**11**	B	**11**	C	**11**	C	**11**	C
12	A	**12**	C	**12**	B	**12**	A	**12**	B
13	C	**13**	B	**13**	C	**13**	C	**13**	B
14	B	**14**	B	**14**	B	**14**	A	**14**	C
15	A	**15**	A	**15**	A	**15**	C	**15**	C
16	B	**16**	B	**16**	B	**16**	B	**16**	A
17	C	**17**	C	**17**	A	**17**	B	**17**	B
18	B	**18**	C	**18**	C	**18**	A	**18**	C
19	B	**19**	A	**19**	A	**19**	B	**19**	A
20	A	**20**	B	**20**	C	**20**	C	**20**	A
21	B	**21**	C	**21**	B	**21**	C	**21**	B
22	C	**22**	C	**22**	B	**22**	A	**22**	A
23	B	**23**	A	**23**	C	**23**	B	**23**	B
24	C	**24**	A	**24**	B	**24**	B	**24**	A
25	A	**25**	B	**25**	A	**25**	B	**25**	C
26	B	**26**	C	**26**	B	**26**	B	**26**	C
27	A	**27**	B	**27**	B	**27**	A	**27**	B
28	B	**28**	C	**28**	B	**28**	B	**28**	C
29	C	**29**	B	**29**	B	**29**	A	**29**	A
30	C	**30**	C	**30**	C	**30**	B	**30**	C

ELEKTROMECHANICZNE ELEMENTY MECHATRONIKI

Część druga
Studia przypadków

Arkadiusz Małek

Lublin 2021

Spis treści

Wprowadzenie 191

1. Urządzenia i elementy mechatroniczne w obszarze szybkiego prototypowania 197
    1.1. Klient 197
    1.2. Potrzeba 199
    1.3. Rozwiązanie 201
    1.4. Rezultaty 207

2. Mechatroniczne maszyny do pakowania próżniowego żywności 209
    2.1. Klient 209
    2.2. Potrzeba 210
    2.3. Rozwiązanie 211
    2.4. Rezultaty 214
        2.4.1. Metoda zwiększenia efektywności pracy maszyny rolowej 214
        2.4.2. Analiza uzyskanych wyników 217

3. Mechatroniczna maszyna krusząca 220
    3.1. Klient 220
    3.2. Potrzeba 221
    3.3. Rozwiązanie 223
        3.3.1. Funkcje Przemysłu 4.0 w procesie przetwarzania odpadów budowlanych 223
    3.4. Kompletny system zarządczy mobilnej linii przetwarzania odpadów budowlanych 224
    3.5. Rezultaty 226

4. Linia do laminowania szkła jako urządzenie mechatroniczne 229
4.1. Klient 229
4.2. Potrzeba 230
4.3. Rozwiązanie 236
4.3.1. Obiekt badań – linia technologiczna do laminowania szkła 236
4.3.2. Optymalizowane obszary i parametry 239
4.3.3. Optymalizacja procesu laminowania niskotemperaturowego 241
4.3.4. System kontroli wypływki 241
4.3.5. Nowe zastosowania dzięki innowacyjnym cechom folii do laminacji 243
4.4. Rezultaty 243
4.5. Badania w warunkach rzeczywistych 246

5. Mechatroniczne systemy zasilania pojazdów paliwami alternatywnymi 249
5.1. Klient 249
5.2. Potrzeba 250
5.3. Rozwiązanie 251
5.3.1. System zasilania pojazdu niskoemisyjnego Euro 6 paliwem LPG 251
5.3.2. Hardware i software systemu zasilania gazem 253
5.4. Rezultaty 256

6. Podsumowanie i wnioski 261

Bibliografia 263
Spis rysunków 265
Spis tabel 268

Wprowadzenie

Elementy elektromechaniczne są podstawą budowy wielu maszyn i urządzeń. Wykorzystywane są zarówno w pojazdach, jak i maszynach produkcyjnych i przetwórczych. Te dwie ostatnie mogą tworzyć długie i bardzo skomplikowane linie produkcyjne i przetwórcze. Połączenie mechaniki i elektryki jest koniecznością. Elementy mechaniczne wymagają napędu.

Napęd elektryczny jest jednym z najbardziej efektywnych sposobów napędu urządzeń mechanicznych stacjonarnych, jak i mobilnych. Elementy zasilane prądem elektrycznym działają w sposób bardzo cichy, a ich praca charakteryzuje się bardzo dużą sprawnością. **Silniki elektryczne** prawie całą energię przekształcają na pracę mechaniczną w związku z czym zazwyczaj nie potrzebują chłodzenia. Silniki elektryczne występują w wielu odmianach i w bardzo szerokim zakresie generowanych mocy. Należy stwierdzić, że w chwili obecnej można dobrać istniejący silnik elektryczny do każdego zastosowania. Gdyby jednak zaszła taka potrzeba, firmy zajmujące się projektowaniem i produkcją silników elektrycznych są w stanie bardzo szybko przygotować prototyp silnika elektrycznego szytego na miarę naszych potrzeb. Silnikami elektrycznymi można również w chwili obecnej bardzo łatwo i efektywnie sterować. W zależności od konkretnego zastosowania mogą realizować różne funkcje. Są w stanie napędzać osie i wrzeciona z różnymi prędkościami obrotowymi, przekazując do nich żądany moment napędowy. Jeśli zaistnieje taka potrzeba, wybrane rodzaje silników elektrycznych są w stanie dokładnie pozycjonować zbudowane na ich podstawie napędy. Ponadto silniki elektryczne są tanie w produkcji i nie wymagają wielu zabiegów w celu utrzymania ich poprawnej pracy.

Wszystkie przedstawione powyżej zalety spowodowały, że napęd elektryczny jest stosowany w bardzo wielu maszynach i urządzeniach aż na sportowych pojazdach skończywszy.

Celem przedmiotowego case study jest zapoznanie studentów z budową systemów elektromechanicznych w mechatronice. Jak wynika z syllabusa, po ukończonym kursie student będzie potrafił identyfikować elementy systemów mechatronicznych, pozna zasadę działania typowych elementów wchodzących w skład tych systemów, oraz poszerzy wiedzę związaną z mechatroniką.

W celu osiągnięcia założonych w syllabusie efektów, studenci powinni dokładnie przestudiować przedstawione w opracowaniu przykłady. Są to z życia wzięte opisy wdrożenia zaawansowanych systemów bądź linii technologicznych. Wyraźnie wykazano, że istniała rynkowa potrzeba do ich wdrożenia, a uzyskane rezultaty mogą być podstawą bardzo dochodowych biznesów. Są to przykłady autorskie, z którymi autor spotkał się w ciągu kilku ostatnich lat pracując jako pracownik naukowy w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie i jako prezes Zarządu Instytutu Badawczo-Rozwojowego Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego. Obydwa te podmioty stanowią instytucje otoczenia biznesu, których misją jest wspieranie lokalnych przedsiębiorców we wdrażaniu innowacyjnych procesów i produktów.

W perspektywie finansowania z funduszy europejskich w latach 2014–2020 zostało sfinansowanych w Polsce i na Lubelszczyźnie wiele innowacyjnych projektów. W ich wyniku powstały bardzo zaawansowane linie produkcyjne i przetwórcze. Aby mogły one doczekać się dofinansowania, konieczne było wykazanie, na podstawie tzw. opinii o innowacyjności, że faktycznie proponowane rozwiązania nie są starsze niż 3 lata. Ten wymóg spowodował, że przedsiębiorcy mogli zakupić lub rozwinąć w ramach dofinansowania tylko najnowsze rozwiązania obecne na rynku. Firmy oferujące najnowsze produkty rynkowe w obszarze wysokich technologii prześcigały się w oferowaniu klientom najnowszych rozwiązań. A wszystko po to, by mogli zwiększyć konkurencyjność własnej firmy w stosunku do podmiotów, działających z wykorzystaniem bardziej tradycyjnych maszyn i rozwiązań. Przedsiębiorcy byli również zobligowani do zakupu wyników prac badawczo-rozwojowych od indywidualnych naukowców lub od jednostek i instytutów badawczo-rozwojowych. Wymóg ten niejako potwierdził konieczność współpracy przedsiębiorców z naukowcami. Przedmiotowe case study zostało oparte tylko na rzeczywiście zrealizowanych projektach. Wszystkie przedsta-

wione przykłady maszyn i urządzeń stanowią urządzenia Internetu Rzeczy i posiadają funkcje Przemysłu 4.0.

Przemysł 4.0 jest odpowiedzią na oczekiwania klientów XXI wieku. Mają oni bardzo duże wymagania w stosunku do produktów mechatronicznych obecnych na rynku, jakimi są pojazdy, sprzęt elektroniczny, sprzęt AGD i RTV, a także bardzo często zabawki dziecięce. Oczekiwanie w stosunku **do ich zindywidualizowanego wyglądu (różne kolory, materiały), różnych funkcji**, które można wybierać z długiej listy opcjonalnego wyposażenia, sprawiają, że proces produkcyjny bardzo się komplikuje. Ponadto wszystkie **produkty w XXI wieku muszą być ekologiczne**, co wynika z konkretnych regulacji prawnych na poziomie poszczególnych krajów, a nawet całego globu. To również bardzo często **komplikuje budowę danego produktu**. Przykładem może być w tym miejscu silnik spalinowy, napędzający nowoczesne pojazdy. Ze względu na wyśrubowane normy emisji spalin sam silnik jest bardzo skomplikowanym urządzeniem mechatronicznym, uzupełnionym przez zaawansowany system oczyszczania spalin. Klienci mają również swoje preferencje w zakresie oczekiwań mocy generowanej przez silnik pojazdu. Jedni preferują oszczędne silniki małej mocy. Dla innych liczą się sportowe osiągi oraz komfort podróżowania pojazdem z mocnym silnikiem. Jeszcze inni chcieliby mieć wszystko w jednym.

Jednak bardzo szybko rozwijające się technologie informatyczne przychodzą tutaj z pomocą. Ścisły monitoring linii produkcyjnych oraz przetwarzanie uzyskiwanych danych pomiarowych pozwalają firmom sprostać stawianym przez ich klientów oczekiwaniom. Można zatem podsumować, że bez Przemysłu 4.0 niemożliwe byłoby podejście do oferowania zaawansowanych i zindywidualizowanych produktów w XXI w. Z drugiej jednak strony, gdyby nie te wymagania (ssanie ze strony rynku) producenci maszyn i urządzeń produkcyjnych nie rozwijaliby i nie uzupełnialiby swoich linii produkcyjnych o coraz to nowe funkcje i możliwości.

Przemysł 4.0 nie jest oparty tylko na zaawansowanych maszynach i nie wyklucza ludzi jako siły roboczej. Proponuje jednak całkiem nowe sposoby pracy i nową rolę, jaką mogą odgrywać ludzie w przemyśle. Przemysł 4.0 jest bardzo często określany mianem rewolucji cyfrowej z tego względu, że jego funkcje potrzebują bardzo

często dużej mocy obliczeniowej, oferowanej przez nowoczesne maszyny cyfrowe. Innowacyjna firma, która wdrożyła założenia

Przemysłu 4.0, powinna posiadać i cały czas rozwijać następujące obszary [4]:

1. **Platformy internetowe.** Są one wykorzystywane do wyświetlania, archiwizowania i przetwarzania danych pomiarowych, pochodzących z linii produkcyjnych. Mogą to być dane pomiarowe wyświetlane w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem Internetu Rzeczy. Bardzo często jednak duża ich ilość wymaga archiwizacji w systemach chmurowych. Wówczas w bezpieczny sposób zgromadzone i przechowywane dane mogą być także dowolnie przetwarzane off-line.
   Zaawansowane platformy internetowe dedykowane są dla całych zakładów, jak i samych linii produkcyjnych. Oczywiście punktem wyjścia dla ich rozwoju jest automatyzacja i monitoring pracy pojedynczych maszyn, z których następnie budowane są coraz bardziej zaawansowane linie technologiczne. Platformy internetowe zapewniają wgląd we wszystkie wskaźniki wydajności poszczególnych maszyn i procesów. Pozwalają na analizę i optymalizację produkcji. Kilka lat wcześniej miały postać dużych programów komputerowych, wymagających posiadania komputera PC o dużej mocy obliczeniowej i wydajnej grafice. W chwili obecnej są to aplikacje na urządzenia mobilne w postaci tabletów i smartfonów.

2. **Logistykę zakładową.** Jej celem jest osiągnięcie wysokiej wydajności produkcji oraz dystrybucji zindywidualizowanych wyrobów do klienta. Logistyka XXI wieku wykorzystuje w tym celu zaawansowane technologie. Zaliczamy do nich bramki RFID, automatycznie zapisujące transportowane elementy i pośredniczące w wymianie informacji pomiędzy produkcją a magazynem. Wymiana informacji dotyczy także tych produktów, które już opuściły fabrykę. Klienci oczekują okresowej możliwości aktualizacji oprogramowania danej maszyny, aby mogła być ona jeszcze bardziej wydajna i niezawodna.

3. **Posiadany potencjał ludzki.** Największe firmy doradcze zgodnie twierdzą, że po strukturze pracowniczej można rozpoznać, z jaką firmą mamy do czynienia. Oczywiście firmy zgodne z Prze-

mysłem 4.0 potrzebują bardzo wykwalifikowanej i doświadczonej kadry pracowniczej. Za to liczba pracowników wykonujących proste prace fizyczne będzie odpowiednio mniejsza ze względu na zastąpienie ich wysokowydajnymi i nigdy niemęczącymi się maszynami. Firmy Przemysłu 4.0 charakteryzuje ponad 20% zatrudnionych osób w charakterze planistów, konstruktorów i managerów, którzy posiadają wykształcenie wyższe. Ponad 40% osób w takiej firmie będą to wysoko wykwalifikowani pracownicy, managerowie techniczni i technicy.

4. **Strategia Przemysłu 4.0.** Powinna być ona starannie opracowana dla konkretnej firmy i wdrożona w życie. Jest to proces ciągły i nigdy niekończący się. Polega na standaryzacji procesów wytwórczych, tworzeniu infrastruktury sieciowej łączącej systemy sterowania maszyn oraz pozyskiwaniu danych z maszyn i procesów produkcyjnych. Celem takiej standaryzacji jest objęcie nią wszystkich maszyn składających się na linię produkcyjną. Wykorzystanie jednolitych standardów, na przykład transmisji danych, przyczynia się do uproszczenia ich budowy i zwiększenia ich niezawodności.

5. **Zaawansowany sprzęt do wizualizacji, pomiarów i monitoringu.** Jest to sprzęt w postaci tradycyjnych interfejsów HMI, laptopów i ekranów dotykowych, tabletów i coraz częściej smartfonów. W kontroli jakości można wykorzystać zaawansowane systemy wizyjne opierające się na przemysłowych kamerach lub bardzo dobrze znane wszystkim sportowe kamery GoPro.

6. **Inne rozwiązania Przemysłu 4.0.** Obejmują one wszystkie aspekty zarówno samej produkcji, jak i służących jej narzędzi. Dotyczą wszystkich zamawianych materiałów, produkcji, produktów, fabryki, a także zarządzania energią elektryczną, flotą pojazdów, technologiami bezpieczeństwa czynnego i biernego, a także cyberbezpieczeństwa.

7. **Predykcyjne utrzymanie ruchu.** Najlepiej, gdy ma to miejsce w całej sieci produkcyjnej. Sztuczna inteligencja oraz wirtualna rzeczywistość wykorzystywane powinny być przy wspomaganiu planowania produkcji. Zaawansowane algorytmy predykcyjne po-

zwalają na odpowiednio szybkie wykrywanie potencjalnych awarii i uszkodzeń, dzięki czemu czas przestojów całych linii produkcyjnych, wynikający z naprawy, jest minimalizowany.

Podczas analizy studium przedstawionych przypadków studenci powinni skoncentrować się na identyfikacji i opisie elementów elektromechanicznych, które zostały wykorzystane do budowy urządzeń i całych linii technologicznych. Identyfikacja takich elementów wraz z umiejętnością sterowania nimi lub obsługi może być podstawą do ubiegania się o bardzo odpowiedzialną i dobrze płatną pracę z najbardziej innowacyjnymi urządzeniami. Ich monitoring, obsługa, serwis i diagnostyka zazwyczaj odbywają się za pomocą transmisji bezprzewodowych z wykorzystaniem bardzo zaawansowanych i ciekawych aplikacji na urządzenia stacjonarne i mobilne. Takie podejście sprawia, że **zaawansowane maszyny są tuż obok nas i występuje pewien poziom integracji inteligencji ludzkiej ze sztuczną inteligencją charakteryzującą najnowsze maszyny**.

1. Urządzenia i elementy mechatroniczne w obszarze szybkiego prototypowania i produkcji

1.1. Klient

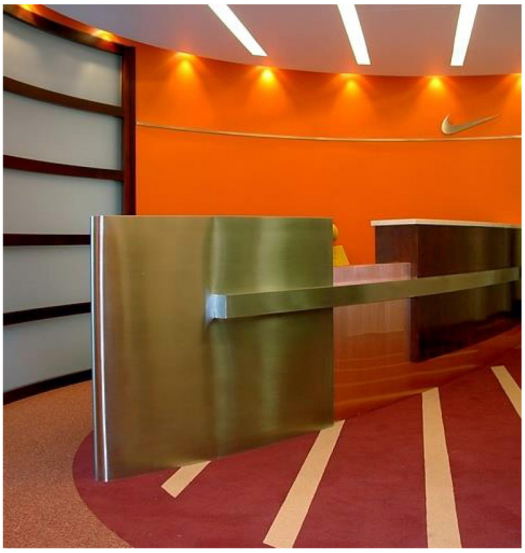
Jedna z lubelskich firm zajmuje się produkcją systemów meblowych oraz profesjonalną aranżacją wnętrz obiektów handlowych. Oferuje kompleksowe rozwiązania – od projektu po montaż, gwarantujące funkcjonalność oraz ekonomiczną efektywność powierzchni sklepów, salonów firmowych i recepcji. Troska o każdy detal i indywidualne traktowanie zleceń sprawia, że tworzone przez firmę ekspozycje wyróżnia unikatowy design i przyjazna atmosfera.

Firma dysponuje własnym zakładem z wyspecjalizowanymi działami produkcyjnymi (m.in. obróbka metali, stolarnia, lakiernia). Nowoczesny park maszynowy i wykwalifikowana kadra zapewniają produkcję wysokiej jakości wyrobów oraz projektowanie wyposażenia obiektów na miarę konkretnych potrzeb i oczekiwań klientów.

Przykłady wykonanych realizacji przedstawiono na rysunkach 1.1 i 1.2.



Rys. 1.1. Przykład wykończenia wnętrza sklepu.



Rys. 1.2. Przykład realizacji recepcji.

Zaplecze technologiczne, potencjał ludzki i sprawna logistyka umożliwiają firmie realizację najbardziej wymagających zamówień. Dzięki profesjonalizmowi i doświadczeniu firma zdobyła zaufanie wielu firm z rynku krajowego i zagranicznego.

Rosnące koszty związane z awariami i szkodami wizerunkowymi w przypadku niepowodzeń produktów wszelkiego rodzaju przypominają producentom, jak ważne jest, by uzyskać właściwy produkt i to już za pierwszym razem. Aby było to możliwe tam, gdzie ekosystem produktu staje się coraz bardziej złożony – choćby wskutek szybkiego przejścia od technologii mechanicznej do oprogramowania i technologii elektronicznych – potrzebny jest nowy paradygmat myślenia w kategoriach projektu. Z kolei wykwalifikowani pracownicy, obiegi danych i narzędzia pozwalają wprowadzić tego rodzaju zmiany w życie.

Stosowanie narzędzi projektowych w celu zwiększenia i zautomatyzowania wielodomenowych obiegów danych ma sens zarówno z biznesowego, jak i technologicznego punktu widzenia w czasach, gdy na rynku brakuje wykwalifikowanych pracowników, czas realizacji produktów skraca się, a rośnie presja kosztowa. Na szczęście nowe funkcje, bardziej otwarta i bezproblemowa integracja technologiczna między łańcuchami narzędzi (mechanicznymi i elektrycznymi) sprawiają, że takie postępowanie jest o wiele bardziej praktyczne. Jeśli firmy nie zaczęły jeszcze tego robić, mogą zechcieć na nowo przyjrzeć się dostępnym produktom, aby wykorzystać ten postęp.

Zdając sobie sprawę z takich wyzwań, które stoją przed firmą, jej właściciele zwrócili się do naukowca mającego doświadczenie w rozwoju i komercjalizacji nowych produktów rynkowych z prośbą o współpracę. Podczas wspólnej burzy mózgów zaplanowano najważniejsze kierunki rozwoju firmy. Następnie ustalono zakres prac B+R do wykonania przez naukowca.

1.2. Potrzeba

Oferowane obecnie na rynku produkty bez wątpienia zmieniają się szybciej niż kiedykolwiek dotychczas. Jest to wynikiem chęci zaspokojenia rosnących oczekiwań klientów w stosunku do produktów i usług. Zmiany te wyraźnie są widoczne w motoryzacji, ale nie ograniczają się tylko do przemysłu motoryzacyjnego. Taka sama sytuacja ma miejsce również w większości głównych segmentów produktowych.

Klienci oczekują dziś produktów inteligentnych, z zaawansowanymi funkcjami wspieranymi przez oprogramowanie. Niezmiennie chcą większego wyboru, nowych materiałów i rodzajów wykończe-

nia. Produkty mają być bezpieczniejsze i bardziej zgodne z przepisami, a procesy ich produkcji bardziej przyjazne dla środowiska. Często zdarza się, że klienci oczekują niższych cen, a jednocześnie lepszej wydajności i krótszego niż dotychczas czasu opracowania produktu.

To właśnie te wymagania, a także szereg innych stoją za złożonością produktów i za złożonością procesu ich projektowania, produkcji i utrzymania. Jest to zarazem szansa i zagrożenie. Szansa wynika z możliwości wykorzystania zaistniałej sytuacji w celu dostarczenia zróżnicowanych produktów oraz osiągnięcia związanych z nimi wzrostu i zysku. Brak zarządzania niesie jednak za sobą ryzyko negatywnego wpływu na klientów i prowadzoną działalność, chociażby poprzez niezamierzone, ale kosztowne i zagrażające reputacji firmy wycofania produktów z rynku.

Środowisko rozwojowe tych produktów wymaga połączenia wielu technologii, licznych systemów złożonych w większe systemy, a także pracujących w silosach zespołów inżynierów mechaników i elektryków/elektroników oraz inżynierów oprogramowania. Konieczna może okazać się integracja między wieloma lokalizacjami i firmami. W tak powstałym ekosystemie mają miejsce niezwykle złożone procesy obiegu danych związane z projektowaniem, a wszelkie braki w komunikacji oznaczają stratę czasu, utratę potencjalnych szans oraz zwiększenie kosztów.

Takie sytuacje ogromnie zwiększają ryzyko pojawiania się niejednoznaczności w procesie rozwoju produktu. Równocześnie coraz bardziej wymagający klienci oczekują stale większego wyboru i różnorodności, co stanowi gotowy przepis na projektową zawieruchę i jeszcze bardziej zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia braków w komunikacji i wynikających z tego problemów.

Tak złożonych projektów po prostu nie da się łatwo okiełznać, opierając się tylko na zwiększonym zaangażowaniu człowieka. Przypisanie większej liczby osób do rozwiązania danego problemu może nie sprawdzić się w większej skali. Może okazać się to po prostu nieopłacalne. Ponadto firmy po prostu nie są w stanie pozyskać wystarczająco wykwalifikowanego personelu, który dysponuje nowymi umiejętnościami, których wymagają współczesne złożone produkty i systemy. Problem luki w kwalifikacjach dodatkowo pogłębia się w gospodarkach zachodnich ze względu na starzejącą się i przechodzącą na emeryturę kadrę pracowniczą. Problem ten zaczyna być zauważalny również w Polsce. Krótko mówiąc, firmy muszą znaleźć

nowe sposoby na zarządzanie złożonością projektu, aby zapewnić odpowiednią skalę, wydajność, jakość i w rezultacie rentowność swoich przedsięwzięć.

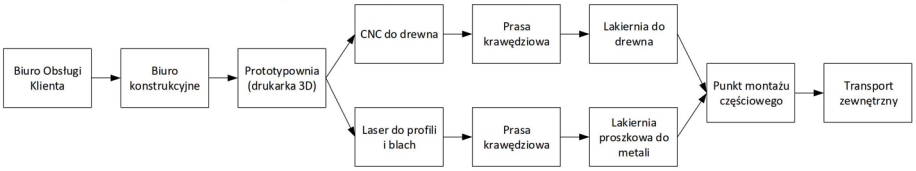
1.3. Rozwiązanie

Po wstępnych rozmowach w obszarze współpracy firmy JBM z naukowcem podjęto decyzję o rozpoczęciu współpracy. Kolejnym krokiem była wizyta studyjna w firmie, mająca na celu dokładniejsze zapoznanie się z działalnością firmy i posiadanym parkiem maszynowym. Następnym krokiem był audyt technologiczny możliwości wytwórczych innowacyjnych systemów ekspozycyjnych za pomocą posiadanych maszyn i ludzi. Okazało się, że niemożliwa jest produkcja odpowiadająca najnowszym trendom rynkowym. Zgodnie z zaleceniami naukowca, park maszynowym musi zostać koniecznie rozbudowany oraz muszą zostać wdrożone nowoczesne procedury zarządzania rozwojem produktu, obejmujące metodologię Szybkiego Prototypowania (*Papid prototyping*) i Szczupłego Zarządzania (*Lean Management*).

Firma, w celu zwiększenia konkurencyjności, zdecydowała się na rozwój posiadanego parku maszynowego o następujące innowacyjne maszyny:

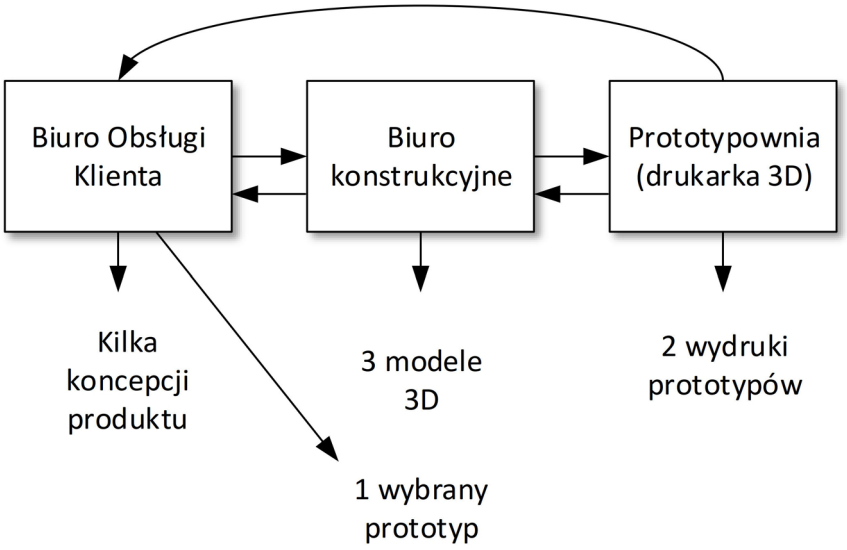
1. Laser do profili i blach, producent np.: KIMLA – 2 490 000 zł.
2. Prasa krawędziowa, np.: SAFAN – 518 000 zł.
3. Lakiernia proszkowa – 974 000 zł.
4. CNC do drewna 5-osiowy, np.: TEKNIKA – 450 000 zł.
5. Linia lakiernicza do drewna, np.: UNISON w technologii wodnej – 439 176 zł.
6. Prasa krawędziowa, np.: DENER – 141 525 zł.
7. Drukarka 3D w technologii FDM z innowacyjnym systemem pozycjonowania stołu firmy Infinum 3D – 20 000 zł.

Schemat blokowy Linii Szybkiego Prototypowania Systemów Ekspozycyjnych (LSPSE) przedstawiono na rysunku 1.3. Linia rozpoczyna się w biurze obsługi klienta (BOK), gdzie przyjmowane są potencjalne zamówienia od klientów a kończy się na dziale transportu zewnętrznego gotowych produktów do klienta. Linia jest bardzo rozbudowana i jej poprawne działanie musi zostać sformalizowane w postaci procedur zarządczo-wykonawczych.



Rys. 1.3. Linia Szybkiego Prototypowania Systemów Ekspozycyjnych JBM.

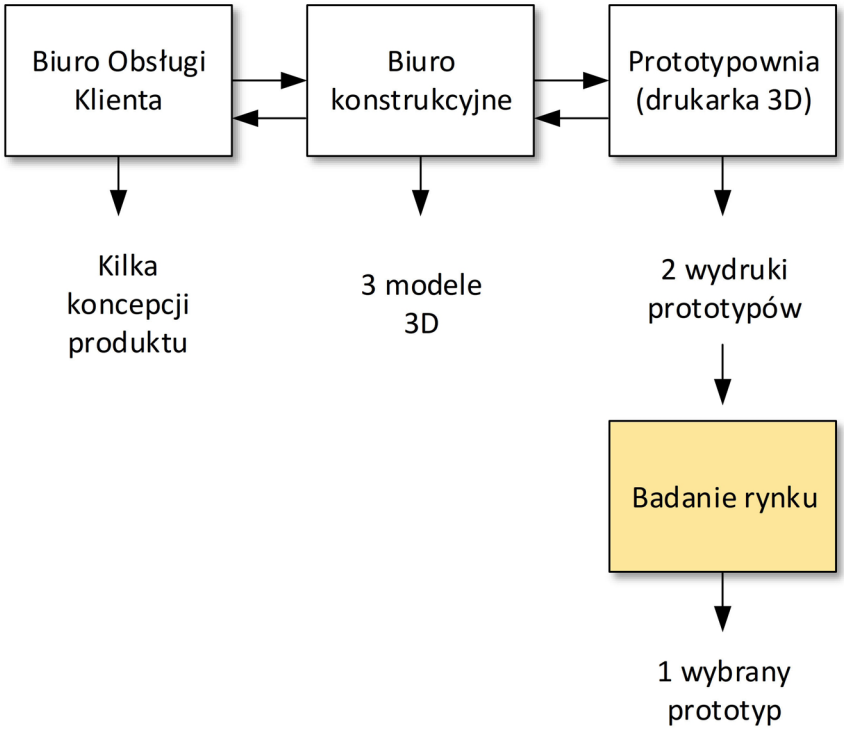
Pierwszym działem LSPSE jest biuro obsługi klienta. Jego zadaniem jest przyjęcie zlecenia od klienta i opieka nad rozwojem produktu na wszystkich etapach jego rozwoju aż do wysyłki końcowej lub montażu systemu u klienta. Działanie całej LSPSE zakłada elektroniczny obieg dokumentów. W BOK zatrudniony jest pracownik znający doskonale ofertę firmy. Jest on zdolny do pracy koncepcyjnej z klientem, podczas której zostaje mu przedstawionych kilka (3–5) koncepcji rozwiązania jego zapotrzebowania. Zostają one nazwane i opisane. Taki opis trafia do biura konstrukcyjnego, w którym powstają 3 modele trójprzestrzenne (3D). Jak wspomniano we wcześniejszym rozdziale, obecne możliwości renderingu modeli 3D są ogromne i czasami niemożliwe jest odróżnienie modelu 3D od rzeczywistego zdjęcia. Jest to jeden z elementów Szybkiego Prototypowania, który pozwala na ocenę designu zewnętrznego projektowanego produktu. Poddanie ocenie przez klienta zdjęć z ekranu software do modelowania 3D pozwala na wybranie 2 modeli z przedstawionych 3 różnych wersji. Wersje te mogą się różnić ceną, odwagą designu czy stanowić wybór pomiędzy rozwiązaniem klasycznym i nowoczesnym. Chodzi tutaj przede wszystkim o to, aby klient miał wybór, co jest podkreślane przez wszystkich specjalistów od sprzedaży.



Rys. 1.4. Współpraca BOK z biurem konstrukcyjnym i prototypownią.

Czasami jednak bywa, że klient nie jest w stanie sam zadecydować o odpowiednim wyborze najodpowiedniejszego dla niego wariantu. Chce pozostawić decyzję ekspertom od badania rynku, jak to przedstawiono na rysunku 1.4. Wówczas producent zwraca się do odpowiedniej firmy zajmującej się badaniem rynku w celu przeprowadzenia badań na grupie wybranych respondentów. Badania takie najczęściej mają charakter ankiety internetowej. Godny polecenia w tym obszarze jest Lubelski Instytut Designu, działający przy Lubelskim Parku Naukowo-Technologicznym.

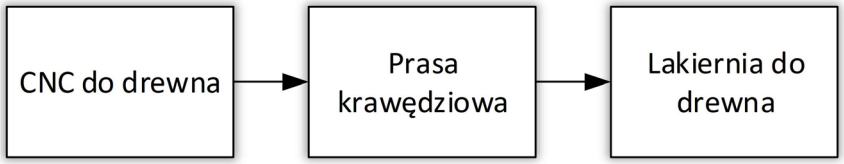
Kolejnym ważnym działem jest prototypownia. Odbywa się tam wydruk 3D w technologii FDM (lub alternatywnej) kompletnego systemu ekspozycyjnego i określenie jego atrakcyjności wizualnej oraz szybkości montażu.



Rys. 1.5. Prototypowanie uwzględniające badanie rynku.

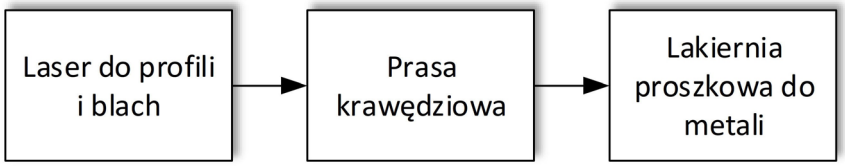
Po ustaleniu końcowej wersji produktu, odbywa się jego produkcja na dwóch niezależnych liniach produkcyjnych. W systemach ekspozycyjnych występuje wiele różnych materiałów, a do ich obróbki wykorzystywane są różne specjalistyczne maszyny.

LSPSE zakład podział na linię obróbki drewna i tworzyw sztucznych (rysunek 1.6) i linię obróbki metali (rysunek 1.7). Linia do obróbki drewna i tworzyw sztucznych obejmuje wielkogabarytową obrabiarkę CNC do drewna. Kolejnym elementem jest prasa krawędziowa do wykonywania różnego rodzaju przegięć drewna lub elementów z tworzyw sztucznych. Ważną cechą jest możliwość gięcia w podwyższonej temperaturze tworzyw termoplastycznych. Elementem końcowym jest lakiernia do malowania farbami wodnymi, co jest bezpośrednim ukłonem w kierunku ochrony środowiska naturalnego, ludzi pracujących w zakładzie produkcyjnym oraz klientów w sklepach.



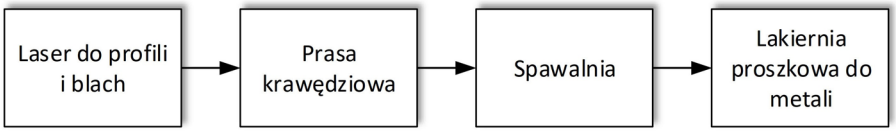
Rys. 1.6. Linia obróbki drewna i tworzyw sztucznych.

Linia do obróbki metali zawiera wycinarkę laserową w technologii CNC, zdolną do cięcia blach i profili aluminiowych oraz stalowych. Wiele blach wymaga gięcia w celu uzyskania bardziej skomplikowanych kształtów przestrzennych oraz większej wytrzymałości.



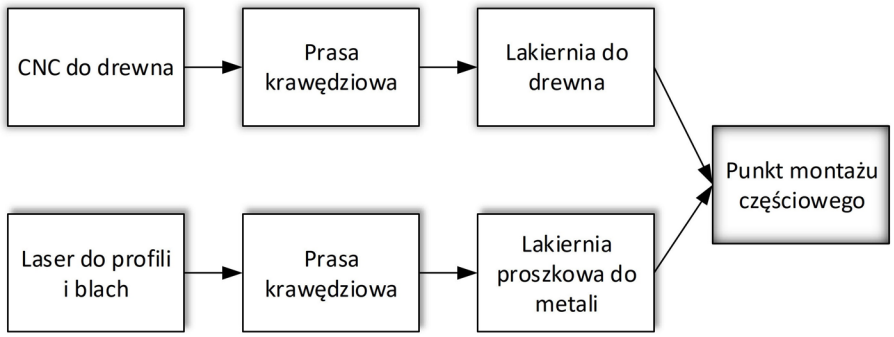
Rys. 1.7. Linia obróbki metali.

Niejednokrotnie blacha po gięciu wymaga spawania więc należy rozważyć uzupełnienie linii technologicznej obróbki metali o spawalnię, jak to przedstawiono na rysunku 1.8.



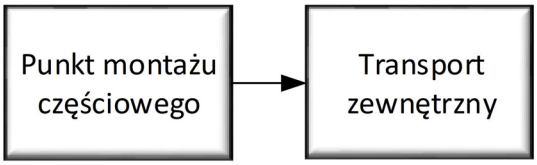
Rys. 1.8. Linia obróbki metali powiększona o spawalnię.

Linia obróbki drewna i tworzyw sztucznych oraz linia obróbki metali mogą pracować jako dwie niezależne linie produkcyjne. Jednak bardzo często zaawansowane systemy ekspozycyjne wykorzystują elementy wykonane z różnych materiałów. Wówczas wskazane jest jednoczesne wykorzystanie dwóch linii produkcyjnych zdolnych dostarczać komponenty do punku montażu częściowego zgodnie z filozofią produkcyjną zwaną *Just in Time* (rysunek 1.9).



Rys. 1.9. Dwie linie pracujące w *Just in Time.*

W punkcie montażu częściowego ma miejsce łączenie pojedynczych komponentów w większe podzespoły lub zespoły. Ma to za zadanie ograniczenie wszelkich zbędnych montaży w miejscu montażu finalnego systemu ekspozycyjnego. Takie podejście modułowe pozwala także na dowolne łączenie standaryzowanych w obrębie zakładu produkcyjnego podzespołów. W punkcie montażu częściowego ma miejsce również pakowanie oraz paletyzacja produktów. Następnie zostają one przekazane do działu transportu zewnętrznego (rysunek 1.10).



Rys. 1.10. Ostatnie działy LSPSE.

Tak wyposażona LSPSE jest w stanie wprowadzić do tej pory nieosiągalne w firmie standardy produkcji i montażu.

Ważnym elementem promocji systemów ekspozycyjnych jest galeria prac wykonanych i rekomendowanych przez znane podmioty rynkowe. Przykładem jest punkt handlowy w galerii handlowej wykonany dla znanego producenta obuwia Kazar (rysunek 1.11).



Rys. 1.11. Galeria projektów wykonanych i rekomendowanych.

Wszystkie systemy mocowania oraz projekty rozwinięte i wytworzone z zastosowaniem metod Szybkiego Prototypowania podlegają archiwizacji w formie elektronicznej. Po osiągnięciu wersji ostatecznej systemu mocowania szynowego i półek zostanie stworzona biblioteka modeli 3D wszystkich komponentów. Zostanie ona udostępniona na serwerze głównym wszystkim konstruktorom systemów ekspozycyjnych w firmie i w firmach współpracujących.

1.4. Rezultaty

Szybkie Prototypowanie wdrożone w firmie stanowić będzie **innowację procesową na poziomie międzynarodowym.** Pozwoli na 2 razy szybsze wykonanie projektu ekspozycyjnego (50% dotychczasowego czasu) oraz 3 razy szybsze jego wyprodukowanie (33% dotychczasowego czasu). Wpłynie to znacząco na wydajność pro-

dukcyjną całego zakładu. Takie wyniki uzyskano w wyniku porównania czasów obróbki technologicznej przy obecnych możliwościach produkcyjnych firmy oraz dla nowych parametrów wydajnościowych planowanych do zakupu maszyn. Zakup nowych maszyn oraz wprowadzenie nowych procedur zarządczych nie zmniejszy liczby zatrudnionych osób, a znacznie zwiększy wydajność produkcyjną zakładu.

W projekcie występuje również **innowacja nietechnologiczna – organizacyjna**. Będzie polegała na wdrożeniu na wszystkich szczeblach działalności przedsiębiorstwa Strategii Szybkiego Prototypowania. Będzie to wykaz procedur postępowania na wszystkich etapach działania firmy (od przyjęcia zgłoszenia do jego finalnej realizacji), procedur elektronicznego obiegu dokumentów oraz maksymalnego wykorzystania funkcji software i hardware posiadanej linii technologicznej. Technikom projektowym i produkcyjnym Szybkiego Prototypowania towarzyszyć będą metody Lean Management.

Wdrożenie założeń technicznych Przemysłu 4.0 wymaga również zmian organizacyjnych w zakresie obsługi innowacyjnych instrumentów informatycznych. Autor zaleca, by wdrażanej innowacji procesowej towarzyszyła innowacja nietechnologiczna (organizacyjna), związana ze zmianą stosunków pracowników z otoczeniem. Najbliższe otoczenie pracowników stanowią maszyny Przemysłu 4.0, których działanie muszą zrozumieć. Wynika to ze stopnia skomplikowania tych maszyn oraz całkowicie innego podejścia do ich obsługi. Takie innowacje organizacyjne mogą być wdrożone w firmie w wyniku przeszkolenia przez producentów komponentów i maszyn Przemysłu 4.0. Innowacja organizacyjna jest niezbędnym elementem uzupełniającym innowację procesową. Wprowadzenie dopiero obydwu innowacji spowoduje pełne wykorzystanie możliwości, jakie niosą ze sobą maszyny Przemysłu 4.0.

2. Mechatroniczne maszyny do pakowania próżniowego żywności

2.1. Klient

W podlubelskim Natalinie ma swoją siedzibę oddział jednej z największych na świecie firm produkujących termoformujące maszyny pakujące. Firma Multivac posiada wieloletnie doświadczenie w produkcji maszyn pakujących i co roku dostarcza klientom na całym świecie ponad 1000 maszyn. Każda maszyna jest indywidualnie dostosowywana do wymagań klientów pod względem pakowania, wydajności i wykorzystania zasobów. Niezawodność, trwałość oraz kompleksowy serwis to czynniki, dzięki którym termoformujące maszyny pakujące firmy Multivac stają się wydajnym elementem łańcucha produkcyjnego.

Jako wiodący producent maszyn rolowych głęboko tłoczących firma Multivac wyznacza standardy. Na całym świecie. Portfolio maszyn firmy Multivac jest jedyne w swoim rodzaju na rynku – i dla każdego zadania oferuje najbardziej ekonomiczne rozwiązanie pod względem wielkości, wydajności i funkcjonalności. Kompaktowe maszyny rolowe głęboko tłoczące, podobnie jak inne wysokowydajne maszyny rolowe głęboko tłoczące oraz nowa linia X, wyróżniają się najwyższą wydajnością, niezawodnością, żywotnością i uniwersalnością. Modułowa konstrukcja oraz szeroka obudowa umożliwiają indywidualne rozmieszczenie każdej maszyny przy zachowaniu maksymalnej wydajności i optymalnego wykorzystania dostępnej powierzchni.

Jako dostawca zintegrowanych rozwiązań o wysokich kompetencjach w zakresie zastosowań, firma Multivac koncentruje się jednak nie tylko na kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych swoich klientów, ale przede wszystkim na doskonałych rezultatach pakowania. Z tego względu konsekwentnie dobierane są maszyny i materiały

opakowaniowe oraz stale uwzględniana jest kompatybilność materiału opakowaniowego, atmosfery pakowania, maszyny i produktu.

W takim samym stopniu dopasowane są również koncepcje bezpieczeństwa i higieny. Maszyny rolowe głęboko tłoczące firmy Multivac oferują w zakresie bezpieczeństwa procesu, odtwarzalności i komfortu obsługi dokładnie takie standardy, jakie są wymagane do danego obszaru produkcji.

2.2. Potrzeba

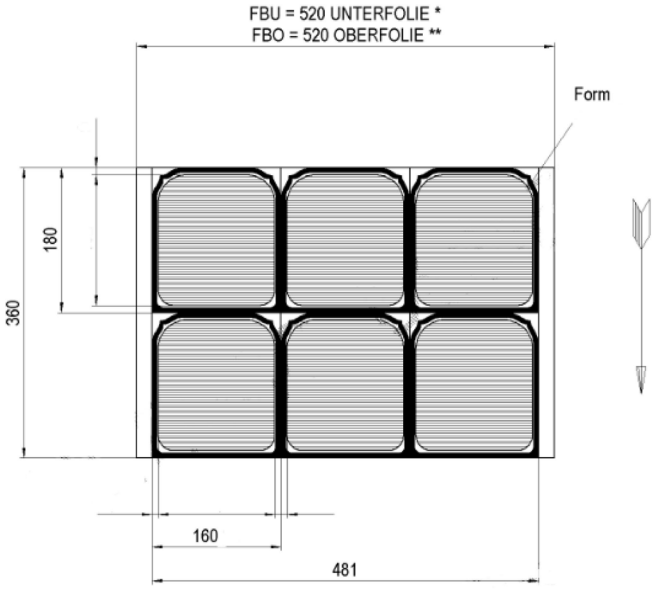
Jak wiadomo, tlen w dużej mierze odpowiada za psucie się żywności, zmianę jej smaku, rozwój pleśni, wysychanie, jełczenie czy utlenianie witamin. Gdy jego ilość w szczelnym opakowaniu zostaje ograniczona, produkt przez dłuższy czas zachowuje świeżość, ładny zapach, odpowiednią konsystencję i wartości odżywcze. Pakowanie próżniowe (*vacuum packaging*, VP) to jeden z najlepszych sposobów zabezpieczania żywności. W metodzie tej produkt umieszcza się w szczelnym opakowaniu foliowym, następnie zmniejsza panujące wewnątrz ciśnienia poprzez redukcję ilości tlenu i podniesienie ilości CO_2, a na koniec pojemnik hermetycznie się zamyka.

Kluczowe dla pakowania próżniowego pojemniki przybierają bardzo różną formę – mogą to być specjalne torebki, worki i folie albo słoiki i pudełka wykonane ze szkła, plastiku lub stali nierdzewnej. Opakowania te muszą się cechować odpornością na uszkodzenia, podatnością na zgrzewanie, właściwościami przeciwskraplającymi oraz niską przepuszczalnością dwutlenku węgla, tlenu i pary wodnej. Do przechowywania żywności najczęściej stosuje się opakowania wykonane z laminatu celofanu z polietylenem, laminatu PET/PE, laminaty PA/PE oraz folie PET i PA w postaci rękawów.

Pakowanie próżniowe żywności ma dwa wymiary: domowy i produkcyjny. Również producenci różnych rodzajów żywności chętnie korzystają z tego sposobu już na poziomie pakowania wyprodukowanej żywności w fabryce.

2.3. Rozwiązanie

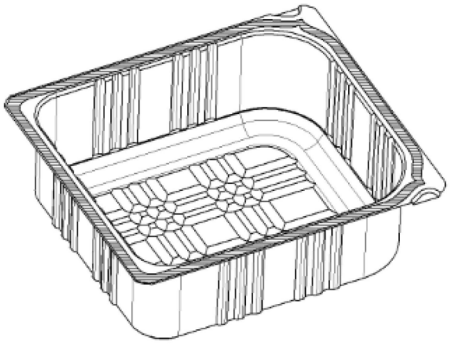
Obiektem badań jest maszyna rolowa do pakowania próżniowego typu Multivac, model R 245, pracująca na jedną, ośmiogodzinną zmianę, wyposażona w ramę ze stali nierdzewnej o długości 6,500 mm oraz szerokości dostosowanej do folii 520 mm. Maszyna posiada pneumatyczne układy podnoszenia oraz system posuwu folii realizowany za pośrednictwem serwonapędu o mocy 3,45 kW zasilanego napięciem trójfazowym 400 V. Maszyna w jednym takcie wytwarza 6 opakowań w podziale 3/2 (3 opakowania w konfiguracji poprzecznej i dwa w konfiguracji wzdłużnej). Maszyna wyposażona jest w pompę próżniową o wydajności 400 m^3/h oraz zintegrowany system etykietowania MR 625. Układ cięcia oraz nawijarka pasków brzegowych dostosowana do folii twardej o grubości do 400 µm.



Rys. 2.1. Format opakowań.

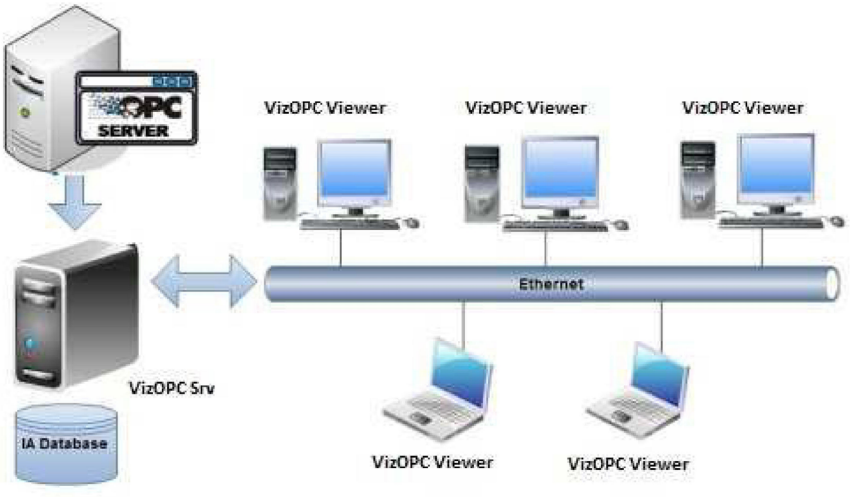
Maszyna przeznaczona jest do pakowania produktów spożywczych w atmosferze ochronnej MAP. Pojedyncze opakowanie może być formowane do głębokości 70 mm. W analizowanym przypadku opakowanie ma głębokość 60 mm, a receptura pakowania nastawio-

na jest na osiągnięcie próżni na poziomie 10 mbar przy pustym opakowaniu. Zgodnie z dokumentacją, w takiej konfiguracji maksymalna wydajność maszyny to 8 taktów na minutę. Wykonując proste obliczenia maszyna pracując w idealnych warunkach pełne 8 godzin powinna wykonać maksymalnie 3840 taktów x 6 opakowań = 23040 opakowań.



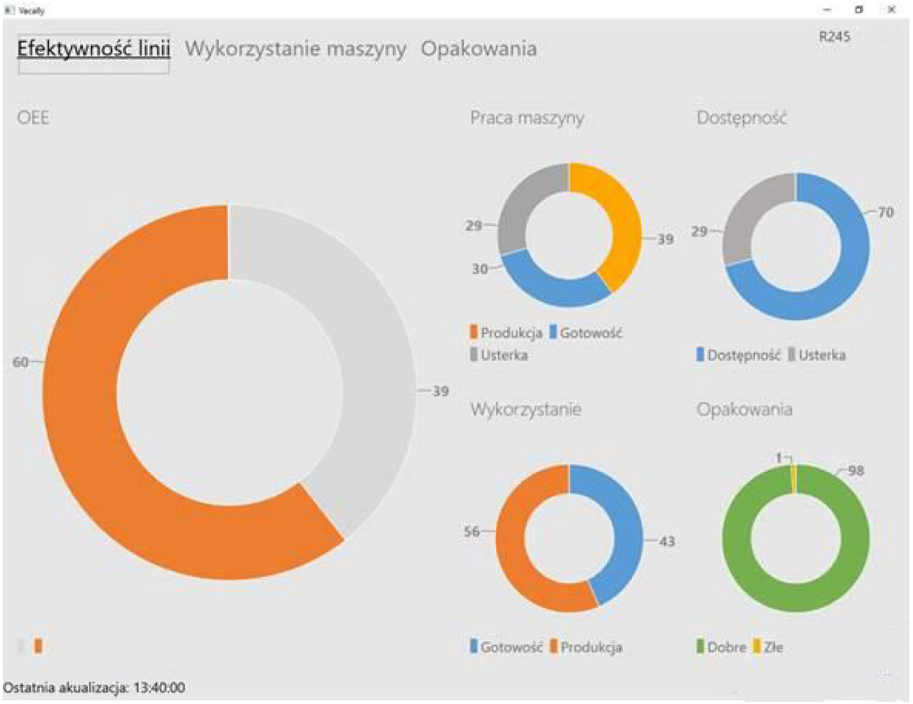
Rys. 2.2. Wygląd pojedynczego opakowania.

Na potrzeby pracy inżynierskiej użyto aplikacji o nazwie VizOPC do kolekcjonowania oraz analizy danych z serwerów OPC. Oprogramowanie to w wersji serwerowej i klienckiej wymaga systemu operacyjnego Windows 7 oraz .NET Freamwork w wersji 4.6.



Rys. 2.3. Architektura biznesowa rozwiązania [25].

System został zaprojektowany w architekturze Klient-Serwer. Aplikacja serwerowa VizOPC Srv podłączona do serwera OPC zbiera dane dostarczane przez maszyny, przetwarza je oraz zapisuje do bazy danych aplikacji. Każda aplikacja kliencka VizOPC Viewer zainstalowana na dowolnym komputerze, spełniającym wymagania techniczne, znajdującym się w sieci firmowej mającej dostęp do wersji VizOPC Srv, służy jako narzędzie do przeglądania oraz analizy zebranych danych. System został zaprojektowany w architekturze Klient-Serwer. Aplikacja serwerowa VizOPC Srv podłączona do serwera OPC zbiera dane dostarczane przez maszyny, przetwarza je oraz zapisuje do bazy danych aplikacji. Każda aplikacja kliencka VizOPC Viewer zainstalowana na dowolnym komputerze, spełniającym wymagania techniczne, znajdującym się w sieci firmowej mającej dostęp do wersji VizOPC Srv, służy jako narzędzie do przeglądania oraz analizy zebranych danych.



Rys. 2.4. Zrzut ekranu z aplikacji VizOPC.

2.4. Rezultaty

2.4.1. Metoda zwiększenia efektywności pracy maszyny rolowej

Jedną z metod zwiększania efektywności produkcyjnej maszyn jest wdrożenie narzędzi Lean Manufacturing. Oznacza to zarządzanie produkcją oparte na dostarczaniu klientowi końcowemu oczekiwanej przez niego wartości, eliminując przy tym wszelkiego rodzaju straty. Jest to metodologia oparta na Systemie Produkcyjnym Toyoty – TPS (*Toyota Production System*). Narzędzia Lean są swego rodzaju lekarstwem, jednak zanim będzie można wdrożyć takie „leczenie", należy w pierwszej kolejności określić „chorobę". W tabeli 2.1 przedstawiono przykładowe narzędzia Lean, które są rozwiązaniem w zależności od problemów występujących w trakcie pracy maszyny [15] [19] [21].

Tabela 2.1 *Narzędzia Lean zorientowane na eliminację 6 wielkich strat w pracy maszyny*

Sześć wielkich strat w pracy maszyny	Przykładowe narzędzia Lean eliminujące daną stratę
Awarie	• Autonomiczna konserwacja maszyn • Mapowanie procesu usuwania awarii
Zbyt długi czas przezbrojeń	• SMED • TWI Instruowanie Pracowników • Tablice spływu z produkcji
Bezczynność maszyny i drobne przestoje (najczęściej do 5 minut)	• Raporty A3 • System 5S
Obniżona prędkość pracy maszyny	• Raporty A3 • TWI Instruowanie Pracowników • Standaryzacja Pracy

Braki Straty w produkcji podczas rozruchu	● Jidoka ● Raporty A3 ● TWI Doskonalenie Metod Pracy

W rubryce awarie, **przykładowym narzędziem Lean**, mogącym wyeliminować lub zminimalizować tę stratę, jest autonomiczna konserwacja maszyn. Sprowadza się ona do zaangażowania pracowników, biorących udział w procesie bieżącej obsługi maszyny. Pracownik, który spędza przy maszynie 8 godzin dziennie 5 dni w tygodniu, zna jej pracę lepiej niż jego przełożeni czy pracownik utrzymania ruchu, mający pod swoją opieką kilkadziesiąt urządzeń. To operator jako pierwszy zwróci uwagę na niepokojące odgłosy pracy maszyny lub pojawiające się wycieki. Równie ważnym elementem jest planowe utrzymanie ruchu. Znając zachowania maszyny i wnioskując, jak w przyszłości będą zużywać się jej elementy, należy wprowadzić planowe konserwacje i naprawy.

Sporządzenie mapy procesu awarii pozwala na analizę i wskazanie obszarów, mogących wyeliminować marnotrawstwo czasu w procesie usuwania awarii. Przykładami wpływającymi na przedłużający się czas awarii są między innymi: próba usunięcia problemu przez operatora, szukanie przełożonego przez operatora, chodzenie do narzędziowni po podstawowe narzędzia pracy, czy wypełnianie zbędnej dokumentacji.

Zbyt długi czas przezbrojeń także w znacznym stopniu wpływa na efektywność pracy maszyny. Metodą skracania czasu przezbrojenia maszyny jest **SMED** – *Single Minute Exchange of Die*. Celem tej metody jest zmniejszenie czasu przezbrojenia poniżej 10 minut. SMED dzieli się na 4 etapy:

- **Etap 0** – Rejestracja operacji przezbrojenia przy wykorzystaniu kamer – nagranie ułatwia analizę, która obejmuje listę czynności wchodzących w skład procesu oraz czas ich trwania.
- **Etap 1** – Rozdzielenie czynności na zewnętrzne, wewnętrzne i zbędne – czynności zewnętrzne to działania, które można wykonać bez konieczności zatrzymywania pracy maszyny, czynności

wewnętrzne muszą być wykonane przy zatrzymanej i zabezpieczonej maszynie, czynności zbędne, które należy wyeliminować (np.: szukanie odpowiednich narzędzi i części, transport podzespołów z magazynu).

- **Etap 2** – Przekształcanie operacji wewnętrznych w zewnętrzne – np.: eliminacja pozycjonowania narzędzi, stosowanie schowków w maszynie lub jej bezpośrednim otoczeniu redukujących czas wymiany narzędzia.
- **Etap 3** – Usprawnienie operacji – np.: zastępowanie konwencjonalnych narzędzi elektronarzędziami, stosowanie szybkozłączek, itp.

Kolejnym narzędziem, eliminującym straty, jest Raport A3, który pozwala na zredukowanie drobnych przestojów, unikanie obniżenia prędkości pracy oraz eliminację wytwarzania wadliwych opakowań.

Struktura raportu opiera się na następujących punktach:

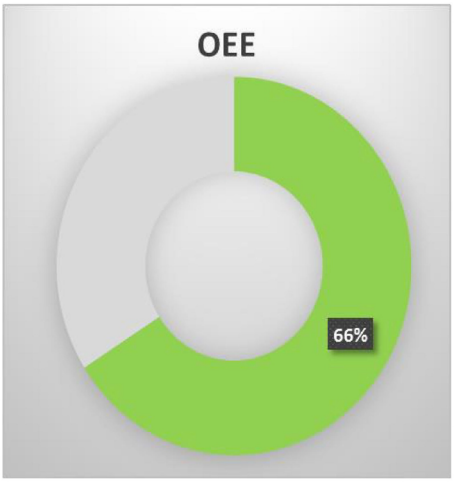
- Opis sytuacji.
- Obecne warunki.
- Cele/mierniki.
- Analiza.
- Środki zaradcze.
- Plan.
- Dalsze działania.

TWI Instruowanie pracowników oraz doskonalenie metod pracy (*Training Within Industry*). Standaryzacja pracy to proces, w którym należy zapisać obecnie najlepszy sposób wykonywania operacji, poddać go doskonaleniu, a następnie przeszkolić z niego operatorów. Według TWI instrukcje są środkiem pośrednim do osiągnięcia celu, jakim jest standaryzowanie procesu. Skuteczne narzędzia TWI to dokumentowanie najlepszych praktyk w postaci instrukcji, zaangażowanie pracowników w doskonalenie metod pracy, efektywny sposób prowadzenia instruktarzu stanowiskowego. Wszystko to przekłada się w znacznym stopniu na redukcję błędów ludzkich oraz minimalizację strat w procesie produkcyjnym.

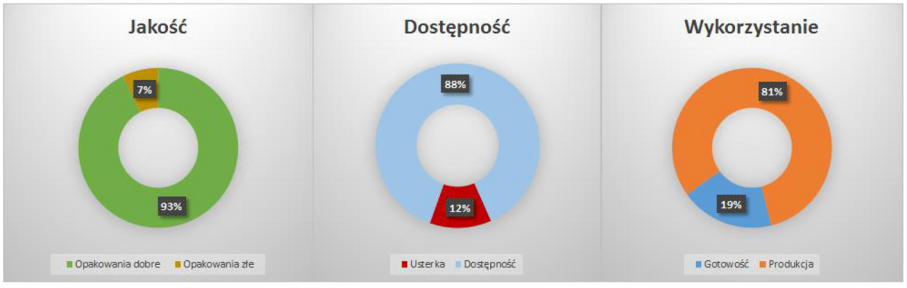
2.4.2. Analiza uzyskanych wyników

Pierwszy odczyt wykonano przed zastosowaniem jakichkolwiek metod usprawniających, co pozwoliło na określenie punktu odniesienia wartości wskaźnika OEE. Analiza trwała przez jedną zmianę produkcyjną, czyli 8 h. Wskaźnik OEE ukształtował się na poziomie 66%. Wskaźniki dostępności, wykorzystania i jakości wyniosły odpowiednio 88%, 81% i 93%. Wykonano również działania sprawdzające odczyt programu zgodnie z wzorem:

dostępność x wykorzystanie x jakość = OEE
88% x 81% x 93% = 66,29%



Rys. 2.5. Wizualizacja wskaźnika OEE.



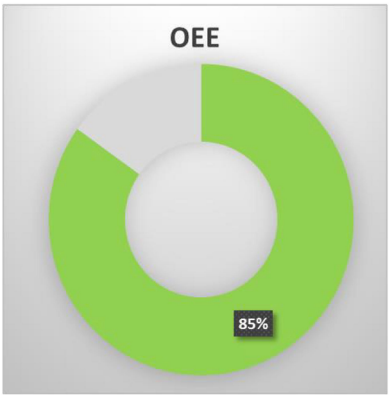
Rys. 2.6. Wizualizacja wskaźników pomocniczych.

Z analizy wynika, że w ciągu ośmiogodzinnej zmiany produkcyjnej maszyna była dostępna przez 7,02 h, natomiast usterka trwała 0,97 h (58,33 min) i spowodowana była nieprawidłowym założeniem folii w układzie odwijania, co doprowadziło do zrywania folii i produkcji nieprawidłowych opakowań. Czas dostępności, kiedy można było prowadzić produkcję, został wykorzystany w 81%, co dało wartość 5,69 h (341,66 min), natomiast pozostałe 19%, co stanowiło łączny czas 1,33 h (80 min), pomimo możliwości nie został wykorzystany na produkcję opakowań. Powodem takiego stanu rzeczy były przerwy w dostawie produktu do zapakowania. W czasie produkcyjnym wytworzono 16 400 szt. Opakowań, z czego 15 200 szt. zostało zaliczonych jako opakowania prawidłowe.

Analiza danych produkcyjnych pozwoliła na wytypowanie obszarów, wymagających usprawnień oraz na dobór odpowiedniej metody.

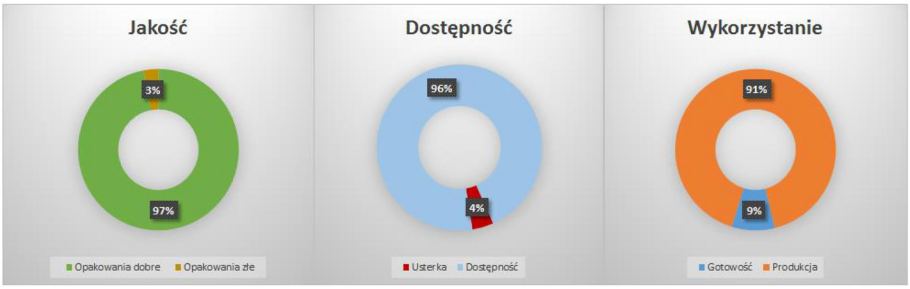
W celu zwiększenia efektywności produkcyjnej skorzystano z narzędzia Lean Management – TWI (*Training Within Industry*) i przeprowadzono szkolenia operatorów oraz położono nacisk na doskonalenie metod pracy [22]. Szkolenie dotyczyło prawidłowego zakładania folii w układach odwijania oraz zwrócono uwagę na udoskonalenie procedur logistycznych w dostawach produktu do zapakowania, tak aby zminimalizować przerwy w produkcji.

Aby zminimalizować błąd pomiarowy, dane do analizy zostały zebrane z 3 kolejnych zmian produkcyjnych, a wyniki zostały uśrednione. Okazało się, że po zastosowaniu wyżej opisanych metod, mających na celu podniesienie efektywności produkcyjnej maszyny, wskaźnik OEE wzrósł do poziomu 85%.



Rys. 2.7. Wskaźnik OEE po wprowadzeniu metody usprawniającej.

Wskaźniki pomocnicze po wprowadzeniu usprawnień ukształtowały się na poziomie: dostępność 96% – 7,66 h (460 min), wykorzystanie 91% – 7 h, oraz jakość 97% (19 650 szt. opakowań prawidłowych). Czas usterki wyniósł zaledwie 20 min i był spowodowany zupełnie innym czynnikiem niż dotyczyło szkolenie. Również, jak wynika z analizy, znacznie zwiększył się czas produkcji do 420 min, co pozwoliło na wyprodukowanie 20 160 szt. Opakowań, z czego tylko 600 szt. było wadliwych.



Rys. 2.8. Wskaźniki pomocnicze po wprowadzeniu usprawnień.

Oczywiście istnieje wiele przyczyn przestojów i obniżonej efektywności produkcyjnej maszyny, ale wyniki analizy pokazują, że przy zastosowaniu nawet tylko jednego narzędzia Lean Management można zwiększyć efektywność produkcyjną, a przecież takich narzędzi jest znacznie więcej i w perspektywie napotkanych problemów należy po nie sięgać i sukcesywnie wdrażać.

3. Mechatroniczna maszyna krusząca

3.1. Klient

Pewna lubelska firma wyraziła **chęć dywersyfikacji swojej działalności o przetwarzanie odpadów budowlanych**. Firma postanowiła zlecić badania w tym zakresie naukowcowi zajmującemu się rozwojem maszyn dla przemysłu. Firmę interesowało podejście do **szybkiego prototypowania maszyn z funkcjami inteligentnymi wynikającym z podejścia Przemysłu 4.0.** Zlecenie dotyczyło dokładnie przeprowadzenia prac badawczo-rozwojowych w zakresie możliwości wykorzystania różnych funkcji Przemysłu 4.0 do wykonania mobilnej linii do przetwarzania odpadów budowlanych i innych.

Prace rozpoczęto od dokładnej identyfikacji i nazwania poszczególnych elementów składowych i wstępnego zidentyfikowania innowacji. Linia będzie zawierała modułową budowę, w której będą występowały elementy do tej pory niewystępujące w recyklingu. W zakresie tym zidentyfikowano **zastosowanie innowacyjnej kurtyny wodnej, zabezpieczającej przed zakurzeniem podczas etapu kruszenia wkładu przez kruszarkę szczękową**. Zastosowanie kurtyny wynika z zapotrzebowania rynkowego na tego typu funkcję oraz z wymogów środowiskowych.

Świadczenie usług mobilnego przetwórstwa u klienta coraz częściej związane jest z wymogami szybkiego i bezinwazyjnego działania, które nie zostawi żadnych odpadów ani szkód. Wymogi środowiskowe związane z zapyleniem dotyczą zarówno niechcianego zapylenia nieruchomości i środków mobilnych w miejscu realizacji zlecenia, a także wpływu zapylenia na zdrowie i komfort pracy ludzi obsługujących linię.

Kolejnym komponentem jest poszerzenie etapu **separacji z odpadów metali nieżelaznych za pomocą magnesów wiroprądowych (neodymowych)**. Wykonane prace badawczo-rozwojowe

przyniosły wynik w postaci dodania innowacyjnych komponentów do tradycyjnej linii technologicznej. Zamawiający liczą na to, że w raporcie zawartych będzie wiele cennych zaleceń, dotyczących automatyzacji procesu przetwórstwa odpadów, wskazujące na wykorzystanie konkretnych komponentów oraz sposób sterowania nimi. Prace powinny również zawierać wstępne założenia związane z integracją innowacyjnych komponentów i określenie strategii sterowania nimi. Powinny być również określone wstępnie wskaźniki jakości zachodzenia procesu przetwórczego, które mogą posłużyć do optymalizacji z wykorzystaniem inteligentnych funkcji Przemysłu 4.0.

Wynikiem prac badawczo-rozwojowych ma być **projekt zaawansowanej mobilnej linii do przetwarzania odpadów budowlanych**.

3.2. Potrzeba

Jedną z wielu konsekwencji **popularności betonu jako materiału budowlanego są deficyty kruszyw naturalnych**, z którymi przychodzi zmierzyć się w wielu rejonach świata. Zastosowanie kruszyw recyklingowych jako zamiennika kruszyw naturalnych w nowo wznoszonych konstrukcjach jest najbardziej oczekiwanym rozwiązaniem. Włączenie uzyskanych w wyniku recyklingu gruzu betonowego kruszyw wtórnych do ponownego obiegu w procesie produkcji budowlanej jest w pełni zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju i wymaganiami w zakresie ochrony środowiska naturalnego.

Zrównoważone budownictwo, znane także pod nazwą budownictwo ekologiczne, ma na celu wykorzystanie materiałów bazujących na odnawialnych surowcach pochodzenia roślinnego i na odpadach budowlanych. **Budownictwo jest niezwykle silnie związane z koncepcją zrównoważonego rozwoju**, gdyż jego wpływ na środowisko jest ogromny: ponad 40% światowej produkcji energii zużywane jest w budownictwie, około 35% światowej emisji gazów cieplarnianych pochodzi z budownictwa, a około 50% masy przetwarzanych materiałów przypada na budownictwo.

Zgodnie z ideą **budownictwa zrównoważonego**, obiekt budowlany powinien być zaprojektowany, wzniesiony, a także użytkowany i rozebrany w sposób zgodny z wymaganiami zrównoważonego rozwoju. Efektem końca życia obiektu jest gruz budowlany, który jako

jeden z najbardziej znaczących strumieni odpadów wytwarzanych w Unii Europejskiej stanowi około 33% wszystkich generowanych odpadów (EC, 2015). Składa się on z różnych materiałów, takich jak: beton, ceramika, gips, drewno, szkło, metale, plastik, ziemia z wykopów i innych (EC, 2011).

Trudno jest określić jednoznacznie **skład odpadów budowlanych i rozbiórkowych** w ujęciu procentowym, ponieważ jest on zróżnicowany w zależności od kraju i regionu. W UE ponad 200 milionów ton tych odpadów (z wyłączeniem ziemi z wykopów) jest wytwarzanych każdego roku, co stanowi około 500 kg na 1 mieszkańca (BioIntelligence Service, 2011). Dyrektywa ramowa (2008/98/WE) wezwała państwa członkowskie do podjęcia niezbędnych czynności w celu osiągnięcia minimalnego progu ponownego wykorzystania, recyklingu lub odzyskania odpadów budowlanych i rozbiórkowych innych niż niebezpieczne na poziomie 70% do 2020 r., podczas gdy obecnie wynosi on średnio 47%. Wśród państw członkowskich wskaźnik recyklingu odpadów jest zróżnicowany, na przykład w Hiszpanii wynosi on zaledwie 14%, podczas gdy w Niemczech – aż 86%. Liczne trudności z uzyskiwaniem oczekiwanego poziomu recyklingu mogą wynikać głównie z braku wymagań dotyczących materiałów z recyklingu, niespójności aktów prawnych, regionalnych różnic w opłatach za składowanie, zdolności rynku do absorpcji recyklatów oraz barier technicznych i kulturowych.

Konieczność oszczędzania zasobów naturalnych znalazła prawny postulat w postaci nowego wymagania podstawowego nr 7: Zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych, zapisanego w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r., które to ustanawia zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające Dyrektywę Rady (UE) 89/106/EWG. Zgodnie z **Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego nr 305/2011** przy projektowaniu, wykonywaniu i rozbiórce obiektów budowlanych należy wykorzystywać zasoby naturalne w sposób zrównoważony, uwzględniając ponowne użycie materiałów po rozbiórce, trwałość obiektów czy używanie produktów charakteryzujących się oszczędnym zużyciem surowców, poprzez stosowanie materiałów przyjaznych środowisku, które nie prowadzą do pogorszenia jego stanu.

Powstające inicjatywy i programy mają uświadomić społeczeństwu, jak bardzo ważna jest **wzajemna harmonia w relacji**

człowiek – Ziemia, podkreślając, że należy chronić naszą planetę przed pogarszającym się stanem środowiska poprzez zrównoważoną konsumpcję i produkcję, zrównoważone zarządzanie surowcami naturalnymi i podejmowanie pilnych działań, przeciwdziałając zmianom klimatycznym, wspierając potrzeby obecnych i przyszłych pokoleń. Promuje się szereg ideologii, mających na celu ukazanie istoty problemu i możliwości zaradzenia, alternatyw dla ludzkich działań na niemal wszystkich płaszczyznach życia (Rossi, 2012).

3.3. Rozwiązanie

3.3.1. Funkcje Przemysłu 4.0 w procesie przetwarzania odpadów budowlanych

W rozdziale drugim przedstawiliśmy **obszary wdrożeniowe, którymi charakteryzuje się przedsiębiorstwo 4.0.**

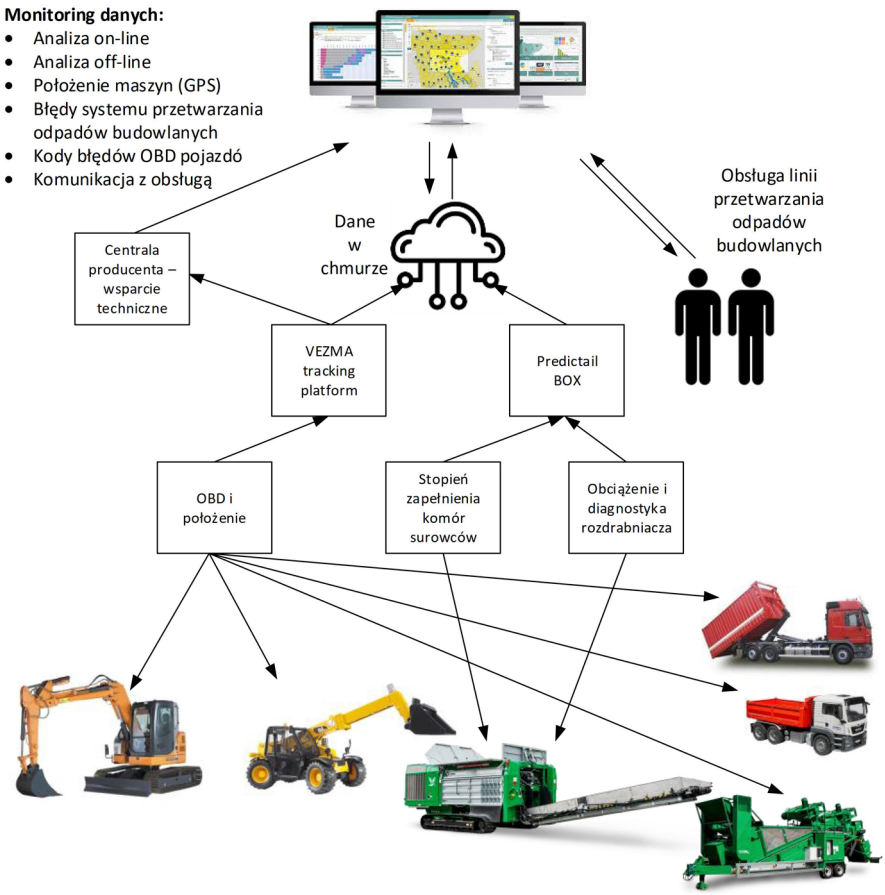
Należą do nich:

1. **Platformy, za pomocą których możliwe jest przetwarzanie i wizualizowanie danych produkcyjnych w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem Internetu Rzeczy i przetwarzania chmurowego**. Rozwiązanie dedykowane jest dla całych zakładów, jak i samych linii produkcyjnych, pojedynczych maszyn i poszczególnych produktów. Platformy zapewniają wgląd we wszystkie wskaźniki wydajności poszczególnych maszyn i procesów, pozwalające na analizę i optymalizację produkcji.
2. **Wprowadzoną strategię Przemysłu 4.0.** Proces ten obejmuje standaryzację procesów wytwórczych, tworzenie infrastruktury sieciowej, która łączy systemy sterowania maszyn oraz stuprocentowe pozyskiwanie danych z maszyn i procesów produkcyjnych. Starania te owocują stworzeniem np. produkcyjnych benchmarków dotyczących zarówno poszczególnych maszyn, ale także całych linii produkcyjnych.

W rozdziale tym zostanie przedstawiona Platforma 4.0, która spełnia wszystkie powyższe założenia i która jest gotowa do wdrożenia w firmie przetwarzającej odpady budowlane.

3.4. Kompletny system zarządczy mobilnej linii przetwarzania odpadów budowlanych

Kompletny system zarządczy mobilnej linii przetwarzania odpadów budowlanych przedstawiono na rysunku 3.1.



Rys. 3.1. Kompletny system zarządczy mobilnej linii przetwarzania odpadów budowlanych.

Proces przetwarzania odpadów budowlanych rozpoczyna się od pozyskania odpadu pochodzącego z rozbiórki domów lub innych obiektów betonowych (drogi, mosty, konstrukcje). Odbywa się to za

pomocą koparek. Następnie za pomocą ładowarek odpad zostaje wsypany do komory zasypowej kruszarki szczękowej. System elektroniczny monitoruje dokładnie położenie wszystkich pojazdów i maszyn w mobilnej linii.

Zdecydowano się na **innowacyjne zastosowanie systemów nadzorczych w każdym komponencie mobilnej linii**. Będą to tablety z odpowiednią aplikacją, komunikujące się ciągle z systemem OBD pojazdów (koparka, ładowarka, wywrotka, ciężarówka hakowa oraz separator powietrzny) i z systemem Predictail Box, zamontowanym w rozdrabniaczu wstępnym. Informacje pochodzące z wszystkich komponentów będą gromadzone w chmurze danych. Dzięki takiemu podejście możliwa będzie analiza online wybranych parametrów, a także analiza danych archiwalnych offline. Ta ostatnia pozwoli na tworzenie okresowych raportów, związanych z obciążeniem i przemieszczaniem poszczególnych maszyn i pojazdów.

Efektywne zarządzanie z poziomu komputera pozwoli nawet na ok. 15% zwiększenie wykorzystania maszyn a przez to zwiększenie produkcji. Takie logistyczne zarządzanie pozwoli także na ok. 10% zmniejszenie zużycia paliwa. Obliczenia zostały wykonane przez autora prac B+R i przedsiębiorcę. Uwzględniały dokładne podliczenie czasów efektywnej pracy, jałowego przemieszczania i postojów dla dwóch przypadków:

1. Braku elektronicznych systemów nadzorczych i konieczność koordynacji pracy linii za pomocą koordynatora prac na placu.
2. Wykorzystaniu elektronicznych systemów nadzorczych, spełniających kryteria Przemysłu 4.0 i Internetu Rzeczy wraz z zarządzaniem przez koordynatora pracującego na platformie internetowej i komunikującego się z pracownikami i maszynami za pomocą urządzeń mobilnych.

Dodatkowe wzrosty produkcji można uzyskać w wyniku predykcji uszkodzeń za pomocą systemu Predictail Box [26]. Odpowiednio szybka reakcja na pierwsze symptomy nadchodzącego uszkodzenia elementu kruszarki pozwoli zaplanować w efektywny sposób jej obsługę i konserwację. Takie zabiegi pozwolą na ok. 5% zwiększenie efektywnego użytkowania maszyny.

Wykorzystanie w mobilnej linii przetwórczej odpadów budowlanych zaawansowanych technik komunikacji i zarządzania logistycznego wymaga odpowiedniego przeszkolenia pracowników oraz stworzenia etatu zarządcy/operatora mobilnej linii z poziomu Internetu. Jest to innowacja nietechnologiczna (organizacyjna) i jest ona niezbędna do efektywnego wykorzystania wszystkich funkcji maszyn, pojazdów oraz interfejsu użytkownika wybranych platform internetowych.

3.5. Rezultaty

Linie przetwórcze odpadów budowlanych mogą być komponowane w dowolny sposób z szerokiego wyboru komponentów składowych. Jest to możliwe dzięki modułowej budowie oraz produkcji poszczególnych komponentów zgodnie z europejskimi standardami i normami.

Na podstawie przeprowadzonej analizy rynku oraz wykonanych prac B+R autor zaleca budowę linii składającej się z:

- Samochodu ciężarowego z nadwoziem kontenerowym.
- Zestawu kontenerów przystosowanych do urządzeń hakowych z rolkami jezdnymi.
- Samochodu ciężarowego wywrotki.
- Rozdrabniacza wstępnego z podwoziem gąsienicowym lub kołowym posiadającego regulację wielkości rozdrabniania, napęd hydrauliczny o mocy min. 250 KM oraz separator magnetyczny.
- Separatora powietrznego z podwoziem kołowym lub gąsienicowym z podajnikiem wibracyjnym.

Mobilna linia przetwórcza odpadów budowlanych i innych może być doposażona w systemy automatyki przemysłowej oraz nadzorczy system informatyczny w celu spełnienia kryteriów Przemysłu 4.0.

Firma zamawiająca badania otrzymała także wersje elektroniczne wszystkich raportów dotyczących Przemysłu 4.0, na które powoływano się w przedmiotowym raporcie. W przypadku otrzymania dofinasowania na zakup innowacyjnej mobilnej linii przetwórczej odpadów budowlanych i innych, firma zadeklarowała się do zwiększenia wiedzy i kompetencji pracowników związanych z obsługą innowacyjnych maszyn i urządzeń. Szkolenia w tym zakresie prowadzi Instytut Badawczo-Rozwojowy Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego.

Mobilna linia przetwórcza odpadów budowlanych będzie służyła do **produkcji wysokojakościowego kruszywa, pochodzącego z recyklingu – RCA oraz paliwa alternatywnego**. Wysoka jakość będzie wynikała z możliwości kruszenia różnych materiałów wraz z projektowaniem produktu końcowego o żądanym składzie oraz granulacji. Warto podkreślić, że zaawansowane urządzenia są w stanie separować z odpadu budowlanego ziemię oraz materiały metalowe żelazne i nieżelazne. Są to najwyższe standardy oferowane na rynku przez polskich i europejskich producentów kruszarek i przesiewaczy.

Firma zamawiająca badania otrzymała dofinasowanie i zakupiła komponenty do budowy linii technologicznej. Innowacyjna kruszarka została przedstawiona na rysunku 3.2, a przesiewacz na rysunku 3.3. Zarówno kruszarka, jak i przesiewacz są zaawansowanymi urządzeniami, posiadającymi funkcje Przemysłu 4.0 i Internetu Rzeczy. Jest to możliwe dzięki rozbudowanemu układowi sterowania opartemu na sterownikach PLC. Panel sterowania kruszarki został przedstawiony na rysunkach 3.4 i 3.5. Można tam zauważyć mnogość jednostek sterujących, które służą do zarządzania poszczególnymi systemami mechatronicznymi. Warto zaznaczyć, że producent kruszarki i przesiewacza jest bardzo otwarty na indywidulane przygotowanie wyposażenia swoich urządzeń zgodnie z wymaganiami i potrzebami klienta.



Rys. 3.2. Innowacyjna kruszarka szczękowa.



Rys. 3.3. Innowacyjny przesiewacz.



Rys. 3.4. Panel sterujący kruszarki.



Rys. 3.5. Panel sterujący kruszarki – wygląd wnętrza

4. Linia do laminowania szkła jako urządzenie mechatroniczne

4.1. Klient

Inna lubelska firma świadczyła do tej pory **usługi hartowania szkła**. Jednak postanowiła zwiększyć swoją konkurencyjność poprzez dodanie do hartowania **dodatkowej usługi jego laminowania**. W celu rozbudowy fabryki o innowacyjny proces laminowania szkła postanowiła wziąć udział w konkursie finansowanym z funduszy unijnych. Wymogiem konkursu był zakup wyników badań w postaci prac badawczo-rozwojowych (B+R), które powinny być następnie wdrożone w przedsiębiorstwie.

Założenia główne:

1. **Opracowanie innowacyjnej technologii wykonywania szkła laminowanego** w postaci prac badawczo-rozwojowych. Wykonane prace B+R zakończą się raportem, z którego wynika jak najszybciej wdrożyć wyniki tych prac w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Wyniki prac B+R będą miały 9 stopień gotowości technologicznej (TRL 9) i będą mogły w szybki sposób zostać wdrożone w firmie zamawiającej.
2. **Wykonane prace B+R mają stanowić podstawę wdrożenia innowacji procesowej, produktowej i nietechnologicznej** w ramach projektu ubiegającego się o dofinasowanie przez Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe XXX w ramach konkursu nr RPLU.03.07.00-IP.01-06-001/18, w ramach Osi Priorytetowej 3 Konkurencyjność przedsiębiorstw, Działania 3.7 Wzrost konkurencyjności MŚP, Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego na lata 2014–2020 organizowane przez Lubelską Agencję Wspierania Przedsiębiorczości w Lublinie, jako Instytucję Pośredniczącą.

Na podstawie wstępnego audytu, przeprowadzonego u przedsiębiorcy, **stwierdzono brak odpowiedzi firmy na najnowsze trendy rynkowe w obszarze produkcji szkła laminowanego, zarówno hartowanego, jak i niehartowanego**. Wdrożenie w firmie innowacyjnej technologii w tym zakresie pozwoli niewątpliwie zwiększyć konkurencyjność firmy, uzupełnić lukę procesową i wyjść na rynek z innowacyjnymi produktami. Ważną przesłanką jest to, że firma od kilku lat świadczy usługi hartowania szkła dla wielu dziedzin przemysłu. Linia do laminowania byłaby zatem naturalnym przedłużeniem posiadanej obecnie linii technologicznej. Firma upatruje w takiej inwestycji znacznego zwiększenia przychodów.

W wyniku innowacyjnego procesu wytwórczego powstaną innowacyjne produkty, które będą miały nowe zastosowania architektoniczne, zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz budynków, takie jak:

- balustrady,
- witryny,
- stopnie do schodów,
- akwaria,
- elementy basenów,
- podświetlenie pasów startowych,
- banery reklamowe podświetlane.

4.2. Potrzeba

Szkło bardzo często występuje w nowoczesnej architekturze, z każdym rokiem coraz częściej. Ogromne fasady wielkich biurowców, szklane mosty i kładki, a także wypełnione tym tworzywem przestrzenie publiczne i mieszkalne stawiają duże wymagania różnym rodzajom szkła, z których są wykonane.

Wysokie bezpieczeństwo użytkowania, izolacja cieplna i akustyczna oraz wiele innych funkcji muszą być spełnione przy zachowaniu dużej przejrzystości. Lub wręcz odwrotnie, **muszą stanowić ochronę przeciwsłoneczną z zaprojektowaną przepuszczalnością światła i to o odpowiedniej długości fali**. Możność spełnienia tych wszystkich wymagań czyni ze szkła jedno z najlepszych oraz najbardziej pożądanych tworzyw do budowy i wykończenia nowoczesnych budynków.

Ponadto szkło stosuje się w coraz bardziej niestandardowych miejscach. **Szczególnie wzrosły wymagania względem bezpieczeństwa w zastosowaniach budowlanych i architektonicznych**. W miejscach publicznych, elementy szklane są bardzo ciężko eksploatowane, gdyż są narażone na kontakt z wieloma użytkownikami. W zastosowaniach w wysokich budynkach biurowych, ogrodach zimowych czy na dachach centrów handlowych stosuje się materiały, które mają wszelakie własności – zabezpieczają, chronią, a jednocześnie podkreślają innowacyjną stronę obiektu. Rodzajem szkła, które może uzyskać wszystkie wymienione wcześniej właściwości jest **szkło laminowane hartowane lub niehartowane**. Dzięki swoim programowalnym właściwościom tzw. laminaty szklane mogą być szeroko stosowane.

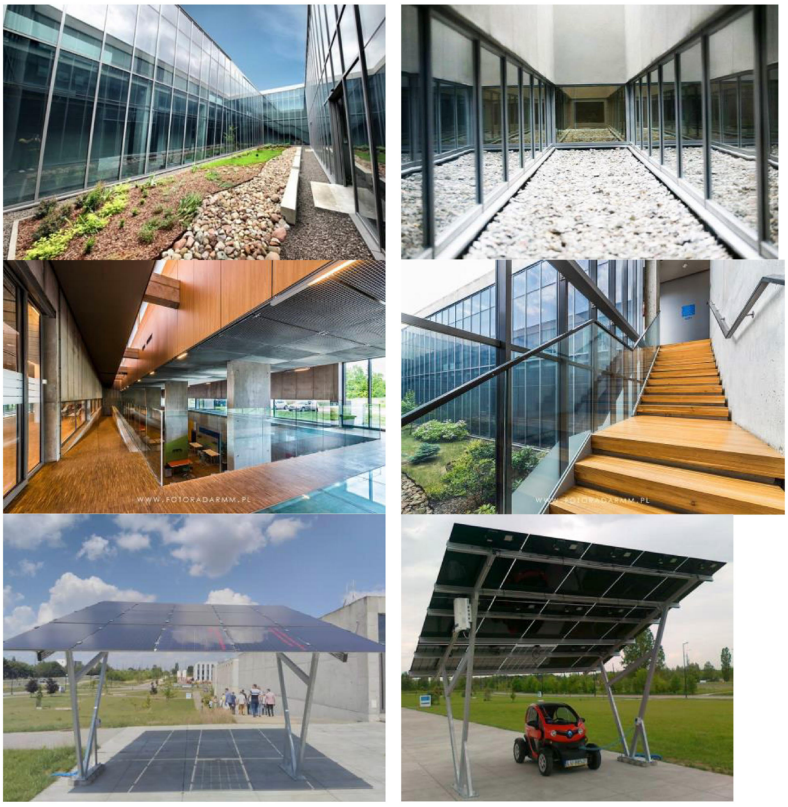
Bezpieczne szkło laminowane składa się z dwóch lub więcej tafli szkła (hartowanego lub nie) połączonych jedną lub kilkoma warstwami folii z PVB lub z innego innowacyjnego materiału. Liczba i grubości poszczególnych tafli szkła oraz folii mają wpływ na różne parametry szkła laminowanego. Dzięki temu można je dokładnie dobrać do wymagań stawianych budynkom miejskim, jak i mieszkalnym z uwzględnieniem wszelkich, nawet bardzo wyrafinowanych, potrzeb użytkowników, takich jak: **bezpieczeństwo, izolacja akustyczna czy ochrona przed włamaniem, skaleczeniem lub wypadnięciem.**

Przykładem zastosowania szkła w różnych funkcjach oraz przeznaczeniu jest budynek Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego, w którym znajduje się nasz Instytut Badawczo-Rozwojowy. Budynek został zaprojektowany przez lubelskiego architekta Bolesława Stelmacha i został nagrodzony wieloma wyróżnieniami i nagrodami. Szkło występuje w następujących miejscach (patrz poniższe rysunki):

- wkłady okienne,
- automatyczne przesuwne drzwi,
- świetliki dachowe,
- przeszklone antresole,
- podest przezroczysty,
- balustrady bezporęczowe,
- osłony lamp,
- tabliczki z numeracją pomieszczeń,
- panele fotowoltaiczne w technologii szkło-szkło.



Rys. 4.1. Zastosowanie szkła w budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego [27].



Rys. 4.2. Zastosowanie szkła w budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego [27].

Jedną z **podstawowych potrzeb człowieka jest bezpieczeństwo**, które można rozumieć na wiele sposobów. Jest to z pewnością aspekt warunkujący komfort naszego życia prywatnego i pracy zawodowej. Wymogi bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczą także norm i przepisów w odniesieniu do otaczających nas budynków oraz obiektów, w których spędzamy dużo czasu.

Różne rodzaje szkła laminowanego są w stanie spełnić różne wymogi bezpieczeństwa pod wieloma względami. Bezpieczne szkło, składające się z warstw szkła połączonych specjalną folią, może stanowić doskonałe zabezpieczenie antywłamaniowe. Zabezpieczenie przed hałasem uzyskujemy w wyniku pokrycia jedną lub więcej warstwami folii akustycznej PVB tafle szkła. Ponadto laminaty szklane (szkło 3 mm + dwie folie + szkło 3 mm) mogą posiadać nawet klasę P2A bezpieczeństwa. Co to oznacza? To, że szło wytrzymuje trzykrotne uderzenie stalową kulą o wadze 4,11 kg spadającej z wysokości aż 3 metrów. Dzięki tak dużym własnościom wytrzymałościowym szkło może być bez problemu **wykorzystane do budowy szklanych dachów lub ogrodów, werand, stadionów, lotnisk**, itp.

Szkło stosowane w takich zastosowaniach budowlanych, stosowane w **przeszkleniach dachowych** musi spełniać bardzo restrykcyjne wymogi w zakresie bezpieczeństwa, zwiększonej izolacji termicznej, ochrony przeciwsłonecznej, itp. Tafla szkła hartowanego w wersji laminowanej może zostać zamontowana po wewnętrznej stronie szyby zespolonej. Przez to zapewnia dodatkowo bezpieczeństwo użytkowników poprzez ochronę przed uderzeniem z zewnątrz. W wyniku takiego zdarzenia szkło laminowane zapobiegnie wpadnięciu do środka zarówno samego przedmiotu, jak i odłamków szkła.

W przypadku zbicia szyby stanowiącej laminat nie tylko zachowa stabilność, ale także nie dopuści do wypadnięcia osoby, która dokonała uszkodzenia. W związku z powyższym **szkło laminowane można z powodzeniem stosować jako barierki ochronne, balustrady, szklane ścianki działowe czy w szybach montowanych ukośnie**.

Wszystkie obecnie produkowane szkła muszą być zgodne z normą PN-EN ISO 12543-2. Spełniając jej wymagania zapewniają ochronę przed skaleczeniem w przypadku zderzenia. Ten typ ochrony jest obowiązkowy, np. w przypadku przedniej szyby samochodów i pojazdów, w budynkach użyteczności publicznej (szkoły, muzea itp.),

ale również w budownictwie mieszkaniowym. Zastosowanie laminatu sprawia, że w razie stłuczenia fragmenty szkła pozostają przyklejone do folii. Zmniejsza to bardzo ryzyko wystąpienia ewentualnych skaleczeń. W razie stłuczenia szkła laminowanego, jeśli jego montaż został wykonany metodą tradycyjną we wpuście na czterech bokach tafli, szyba zachowuje wytrzymałość szczątkową, a szkło pozostaje na miejscu do czasu wymiany.

Bezpieczne szkła laminowane oraz bezpieczne szkła laminowane akustyczne o budowie 33.2 (dwie warstwy folii) gwarantują nie tylko ochronę przed skaleczeniem czy wypadnięciem, ale przede wszystkim stanową **barierę skutecznie opóźniając próbę włamania do budynków**. Bezpieczne szkła laminowane mogą skutecznie odstraszać ewentualne włamania i kradzieże. Folia zniechęca włamywaczy do działania, a użytkownikom daje czas na zawiadomienie odpowiednich służb lub uruchomienie alarmu. Drobne włamania czy akty wandalizmu bez użycia narzędzi wiążą się najczęściej z nieudaną próbą rozbicia szyby. Szkła zapewniają zróżnicowany poziom ochrony przed tego rodzaju aktami agresji, w zależności od poziomu ryzyka. Wybór odpowiedniego szkła związany jest z rodzajem i wartością chronionego mienia, z typem budynku (np. łatwość dostępu, budynek jedno- lub wielorodzinny) oraz z jego położeniem (np. obiekt wolno stojący, położony w dzielnicy o podwyższonym poziomie ryzyka). Oceny ryzyka należy dokonać przy każdym projekcie, uwzględniając ewentualne wymogi firm ubezpieczeniowych.

Lotniska, dworce, autostrady – w każdym mieście są miejsca, w których hałas przekracza dopuszczalny poziom dźwięku. Okoliczne budynki, zarówno miejsca pracy, usług, jak i domy mieszkalne wymagają odpowiedniej ochrony oraz gwarancji komfortowych warunków. **Szkło laminowane posiada lepsze parametry akustyczne niż pozostałe szkła o identycznym składzie** (grubość tafli szkła i liczba folii) z uwagi na zastosowanie specjalnej folii akustycznej, która tłumi hałas. Za sprawą specjalnej folii PVB, którą umieszcza się pomiędzy dwoma szybami szkło laminowane pozwala na uzyskanie optymalnych wyników zarówno w kwestii izolacji akustycznej, ale także w odporności na uderzenia: przy zastosowaniu jako szyba pojedyncza (np. kabiny tłumaczy symultanicznych) lub zespolona

(np. budynki położone w centrum miasta lub w pobliżu takich miejsc, jak lotniska, tory kolejowe czy autostrady).

W przestrzeni domowej szkło pozwala na znaczne wytłumienie dźwięków deszczu i gradu padającego na okna oraz szyby zespolone montowane w połaciach dachowych – w ogrodach zimowych, werandach, itp. Okno wykonane przy użyciu technologii laminowania posiada optymalne parametry akustyczne, zapewniające osobom przebywającym w pomieszczeniu komfort, dobre samopoczucie, spokojny sen i skuteczny odpoczynek.

W budynkach użyteczności publicznej, gdzie wielkie powierzchnie fasad wykonane są z tafli szkła, niezwykle ważna jest także **ochrona przeciwsłoneczna**. Promieniowanie ultrafioletowe może powodować odbarwienie przedmiotów wystawionych na jego działanie. W szkle laminowanym można zastosować specjalne folie prawie całkowicie filtrujące promienie UV. Pozwalają one na maksymalną ochronę wszelkich elementów wyposażenia narażonych na płowienie (np. witryny sklepowe, zasłony, dywany). Zwiększają tym samym komfort pracy oraz **chronią pomieszczenia przed nagrzaniem**.

Znane, odwiedzane przez tysiące turystów miejsca, zabytki, zapierające dech w piersiach dzieła natury – niekiedy trudno jest nam nawet zauważyć, że zastosowano tam szkło. Dzięki swojej przejrzystości wtapia się w otoczenie, jednocześnie tworząc niezwykłą, niewidzialną ochronę. Szkło laminowane zastosowano, m.in. na tarasie widokowym Grand Canyon w USA czy na moście Konstytucji w Wenecji (patrz rysunek 4.3). Każdego dnia, bez względu na pogodę czy porę roku, setki osób przechodzą obok szkła, które zabezpiecza ich przed upadkiem lub wypadnięciem. Jednocześnie pozwala na zupełnie inny odbiór otoczenia, jak np. szklana podłoga pozwalająca zajrzeć w głąb Wielkiego Kanionu.



Rys. 4.3. Szklany most Konstytucji w Wenecji.

Kiedyś zlecono mi w szkole średniej napisanie rozprawki na temat *Funkcja mitu „szklanych domów" w „Przedwiośniu" Stefana Żeromskiego*. Dzisiaj mogę stanowczo stwierdzić, że czas szklanych domów już nadszedł.

4.3. Rozwiązanie

4.3.1. Obiekt badań – linia technologiczna do laminowania szkła

Firma z powodzeniem aplikowała do wspomnianego na wstępie konkursu i otrzymała dofinasowanie na zakup i wdrożenie innowacyjnej mechatronicznej linii do laminowania szkła.

Autor był również niezależnym **audytorem potwierdzającym poprawność wdrożenia całego projektu**. Audyt rozpoczęto od obejrzenia kompletnej linii technologicznej oraz identyfikacji poszcze-

gólnych jej składowych. Wygląd linii technologicznej do wytwarzania szkła laminowanego hartowanego przedstawiono na rysunku 4.4.

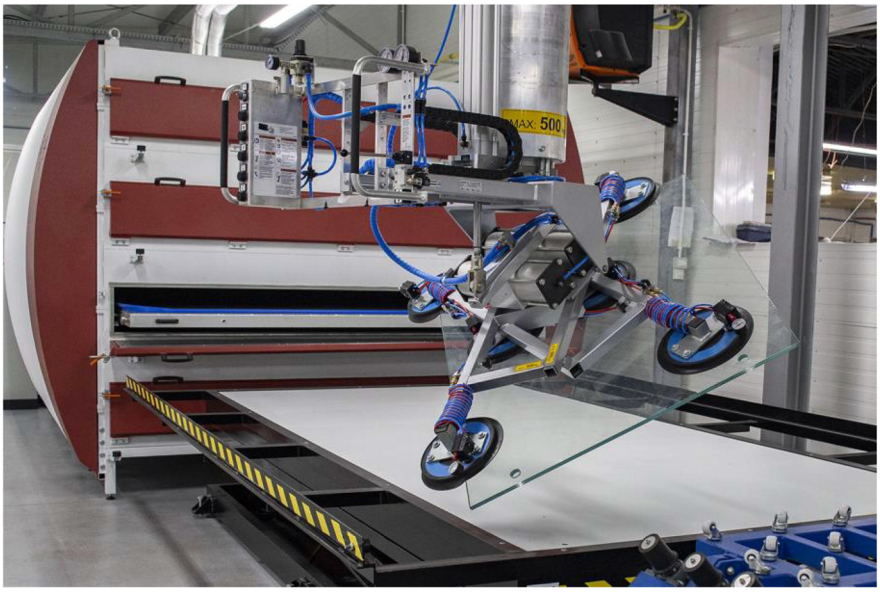


Rys. 4.4. Wygląd linii technologicznej.

Audytu poprawności wdrożenia dokonano podczas pracy linii technologicznej. Na prośbę osoby wizytującej przygotowano i uruchomiono proces laminowania szkła z wykorzystaniem folii EVA. Linia technologiczna podczas laminowania została przedstawiona na rysunku 4.5 i 4.6. Zarówno przedstawiciele firmy jak i osoba wizytująca pragnęły zaprezentować i zobaczyć innowacyjne cechy samego procesu technologicznego laminowania szkła jak i cechy produktów finalnych. Podczas audytu obecny był właściciel firmy oraz dwóch inżynierów, którzy chętnie udzielali odpowiedzi na pytania oraz dzielili się doświadczeniami związanymi z pracą linii.

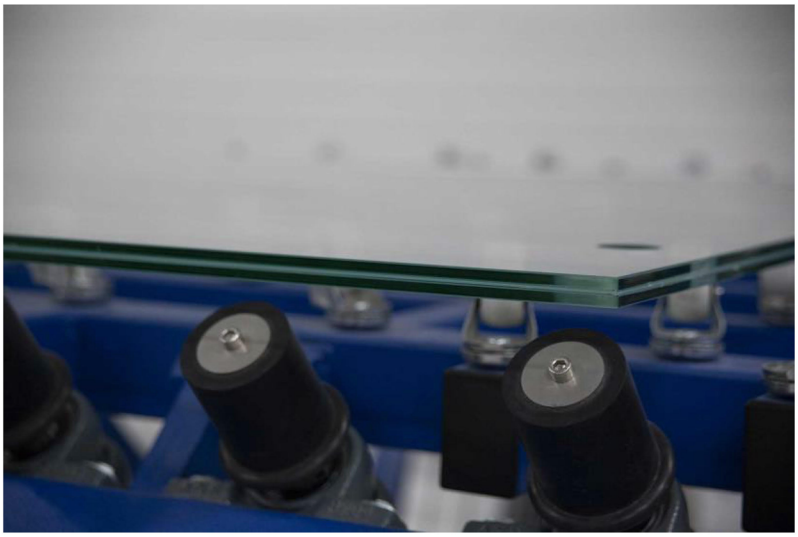


Rys. 4.5. Wygląd linii technologicznej podczas przenoszenia szkła.



Rys. 4.6. Wygląd linii technologicznej podczas przenoszenia szkła.

Audytor dokonał wizualnej oceny innowacyjnego produktu w postaci szkła laminowanego hartowanego zaraz na wyjściu z linii technologicznej, co przedstawiono na rysunku 4.7. Na prośbę audytora dokonano oceny wytrzymałości pięciu małych tafli szkła o wymiarach 200 x 500 mm. Grubość szkła wynosiła 5 mm. Do laminowania wykorzystano folię EVA. Próbki poddano zniszczeniu na prasie hydraulicznej.



Rys. 4.7. Produkt w postaci szkła laminowanego na wyjściu z linii technologicznej.

Podczas audytu pracownicy firmy zaprezentowali szybkość przezbrajania linii technologicznej z procesu laminowania jednego produktu na drugi. Zaprezentowano komputerowe sterowanie linii oraz procesy diagnostyczne. W tym czasie dokonano kalkulacji możliwości produkcyjnych.

4.3.2. Optymalizowane obszary i parametry

Innowacja procesowa będzie polegała na wykorzystaniu innowacyjnej linii do laminacji szkła w postaci pieca i podajników. Proces laminacji jest procesem skomplikowanym, wymagającym optymalizacji. Optymalizacja będzie miała na celu uzyskanie odpowiednich własności produktu finalnego (wytrzymałościowych) oraz ekonomii i ekologii w przedmiotowym procesie. Aspekty ekonomiczne

będą uwzględniały jakość produktu (minimalizację produktów wadliwych) oraz czas procesu (wpływający na koszty wytwarzania i zużycie energii) oraz warunki procesu.

Szczególną technologią wpływającą na sam przebieg procesu oraz własności produktu finalnego jest użyta folia. Ma ona za zadanie:

- nadać właściwe cechy wizualne produktu (transparencja, kolor, mata) dzięki czemu produkt zyska nowe zastosowania do tej pory niespotykane na rynku (design w architekturze),
- zapewnić odpowiednią wytrzymałość mechaniczną innowacyjnego laminatu,
- zapewnić odpowiednią odporność na warunki zewnętrzne w różnych warunkach klimatycznych.

Obszary podlegające sterowaniu podczas procesu laminowania szkła hartowanego i niehartowanego:

- Najniższa możliwa temperatura laminacji zapewniająca odpowiednie własności wytrzymałościowe laminatu, jak i samej folii.
- Kontrola niewyciekania folii poza obrzeża tafli szkła.
- Kontrola wytworzonej próżni.
- Utrudnione penetrowanie połączenia laminowanego przez czynniki zewnętrzne.
- Rozwarstwianie (delaminacja).
- Zapewnienie odpowiedniej trwałości w okresie gwarancji, jak i pogwarancyjnym.

Parametry podlegające optymalizacji podczas procesu laminacji:

- czas przebywania laminatu w komorze,
- całkowity czas laminowania serii produktów mierzony od podania komponentów na linię do wyjścia gotowego do zapakowania produktu,
- temperatura zachodzenia procesu laminowania wpływająca na jego energochłonność,
- energochłonność całego procesu laminowania uwzględniająca również proces schładzania produktu i straty podczas załadunku i wyładunku komory,
- wykorzystanie wody (chłodzenie, mycie).

Podczas wykonywania **prac B+R zastosowano podejście LCA (*Life Cycle Assessment*) – ocenę cyklu życia**. Jest to technika z zakresu procesów zarządczych, mająca na celu ocenę potencjalnych zagrożeń środowiska.

W badaniach dokonano przeglądu aktualnych technik wytwarzania (na rynku krajowym i europejskim), stanu nauki w tym obszarze (bazy artykułów naukowych).

4.3.3. Optymalizacja procesu laminowania niskotemperaturowego

Połączenie innowacyjnego pieca do laminacji z innowacyjnymi materiałami do laminacji, jak folia, mogą przyczynić się do zapewnienia najwyższej jakości produktu przy znacznym ograniczeniu kosztów produkcyjnych poprzez szereg rozwiązań zastosowanych w całej linii technologicznej.

Na rynku światowym zaczynają się pojawiać innowacyjne energooszczędne piece do laminacji w technologii „Fast Curing". Pozwala ona na laminację szkła w czasie zredukowanym o blisko 80% w stosunku do tradycyjnych technologii. To znacząco wpływa na koszty produkcji, ograniczając proporcjonalnie zużycie energii nawet o 80%. Zastosowanie takiej technologii ma pozytywny wpływ na nasze środowisko naturalne, przy powszechnie występującym problemie deficytu energii.

Dla przykładu, czas potrzebny na laminowanie pakietu szybowego w klasie P4 (czyli szkło 4mm + 4 warstwy foli 0,38 + szkło 4mm) wynosi tylko 4 minuty. Przy czym jest to czas trwania kompletnego cyklu. Dla porównania klasyczna technika laminacji potrzebuje na to co najmniej 180 minut.

4.3.4. System kontroli wypływki

Dodatkowo koszty bezpośrednio związane z produkcją można zredukować dzięki **zastosowaniu systemu kontroli wypływki**.

Różne folie stosowanie w procesach laminowania mają różne własności fizykochemiczne, dzięki którym w ogóle można je wykorzystać w przedmiotowych zastosowaniach. Niektóre z nich są stosowane od dziesiątków lat. Jednak szybki rozwój w obszarze inżynierii

materiałowej i przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych umożliwił **wprowadzenie innowacyjnych materiałów**, wykazujących się wieloma przewagami w stosunku do tradycyjnych.

Do tej pory kluczowym argumentem przy wyborze technologii laminacji folią PVB była „pracochłonność" technologii EVA. Ta ostatnia posiadała zdecydowania wyższą plastyczność po osiągnięciu temperatury właściwej do przeprowadzenia prawidłowego procesu laminacji, co powodowało wypłynięcie foli spomiędzy tafli szkła. Powodowało to konieczność trudnego i czasochłonnego czyszczenia krawędzi szkła. **Technologia wykorzystująca jako medium łączące szkło folie typu PVB nie posiadała tej wady przez zdecydowanie niższą plastyczność**. Wskutek tego zaś problematyczne okazywało się wyprodukowanie szkła o równej grubości na całej powierzchni (wypływka spowodowana nadmiernym ściśnięciem tafli szkła przy krawędziach i w narożnikach) powodowała zmniejszenie w tych miejscach grubości pakietu, co przyczyniało się do pogorszenia parametrów użytkowych produkowanego szkła bezpiecznego, jak i estetyki.

Można zatem stwierdzić, że **proponowana innowacyjna technologia, obecna na rynku, pozwoli na produkcję wielu innowacyjnych produktów**, które znajdą szereg zastosowań, między innymi w architekturze. Pozwoli na produkcję między innymi balustrad szklanych, dachów szklanych, ścian itp., uzyskując znikome odkształcenie paneli w wyniku eliminacji słabych punktów w oferowanym innowacyjnym produkcie. Stanowi to dużą przewagę względem tradycyjnie wytwarzanego szkła bezpiecznego. Stanowi również o innowacyjności procesu, jak i samego produktu.

Dodatkowymi argumentami za stosowaniem folii EVA jest to, iż posiada ona zdecydowanie wyższe parametry użytkowe w porównaniu do PVB, jak:

- odporność na promieniowanie UV,
- brak higroskopijności – co umożliwia bezproblemowe stosowanie foli na zewnątrz nawet w miejscach narażonych na oddziaływanie bardzo niekorzystnych warunków atmosferycznych (przykładem mogą tu być zewnętrzne przeszklenia basenów itp.)

4.3.5. Nowe zastosowania dzięki innowacyjnym cechom folii do laminacji

Kolejnym milowym krokiem w laminacji jest **możliwość pracy w obniżonej temperaturze 80°C.** Tradycyjnie proces laminacji przebiega w temperaturze 135°C.

W wyniku innowacyjnych cech folii EVA możliwe jest laminowanie niestosowanych dotąd materiałów i urządzeń:

- Przez obniżenie temperatury laminacji przyczyniamy się nie tylko do **ograniczenia kosztów (redukując zużycie energii)**, ale pozwalamy na wprowadzenie do produkcji wielu materiałów o niskiej wytrzymałości na wysoką temperaturę – jak np. drewno naturalne, fornir, tworzywa sztuczne, itd. Zyskano zatem **możliwość łączenia szkła z surowcami do tej pory niemożliwymi do laminacji**. Pozwala to na produkcję chociażby fasad szklanych, spełniających rygorystyczne warunki norm bezpieczeństwa o najwyższych walorach estetycznych. Wspomniane wyżej właściwości folii EVA (w postaci filtru UV i braku higroskopijności) dodatkowo zabezpieczają te materiały przed niekorzystnym oddziaływaniem czynników atmosferycznych, jak nasłonecznienie i opady (deszcz czy śnieg).
- Obniżona temperatura pozwala również na **laminację elektroniki w postaci ładowarek indukcyjnych**. Może to być wykorzystane przy produkcji mebli biurowych itp. Wyobraźmy sobie innowacyjne biurko lub stół z blatem szklanym z wbudowanym miejscem na indukcyjne ładowanie baterii w laptopie, tablecie czy telefonie.

4.4. Rezultaty

W krótkim czasie dokonano procesu laminowania wielu tafli szkła, które przedstawiono na rysunku 4.8.



Rys. 4.8. Produkty w postaci szkła laminowanego na wyjściu z linii technologicznej.

Audytor zainteresowany był **bardzo jakością wypływki pomiędzy dwoma taflami szkła laminowanego** z tego względu, że podczas badań B+R dużo czasu i miejsca poświęcono temu zagadnieniu. Jak widać na zdjęciu przedstawionym na rysunku 4.9 jakość wypływki była bez zarzutu. Pracownicy obsługujący linię technologiczną udowodnili możliwość wpływu procesu laminowania na jakość wypływki. Uwzględniono w tym wcześniejsze zalecenia naukowców pochodzące z Raportu B+R wykonanego przez autora.



Rys. 4.9. Ocena jakości wypływki szkła laminowanego.

Szczególną technologią wpływającą na sam przebieg procesu oraz własności produktu finalnego jest użyta folia. Ma ona za zadanie między innymi nadać właściwe cechy wizualne produktu (transparencja, kolor, mata), dzięki czemu produkty firmy zyskały nowe zastosowania do tej pory niespotykane na rynku (design w architekturze). Wyniki produkcji w tym obszarze przedstawiono na rysunku 4.10.



Rys. 4.10. Ocena cech wizualnych szkła laminowanego na wyjściu z linii technologicznej.

4.5. Badania w warunkach rzeczywistych

Ocenę poprawności wdrożenia poszczególnych etapów budowy i działania linii technologicznej przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1 *Ocena poprawności wdrożenia poszczególnych etapów linii technologicznej*

L.p.	Cecha lub proces podlegający ocenie	Potwierdzenie/ ocena poprawności wdrożenia
1.	Linia technologiczna do produkcji szkła laminowanego jest skomplikowanym urządzeniem mechatronicznym stanowiącym elementy Internetu Rzeczy (IoT). Jest identyfikowalna i możliwa jest z nią dwustronna komunikacja w celach diagnostyki i monitorowania parametrów działania oraz wpływania na nie.	Potwierdzono
2.	Linia technologiczna obejmuje innowacyjne komponenty do laminowania szkła spełniające założenia Przemysłu 4.0 w obszarze automatycznej korekty wybranych parametrów pracy celem wpływania na jakość wytwarzanego produktu.	Potwierdzono
3.	Efektywne sterowanie procesami przetwórczymi w produkcji szkła laminowanego może znacząco przyczynić się do zwiększenia produkcji i zmniejszenia zużycia energii.	Potwierdzono
4.	Wdrożenie w firmie zasad Lean Management w postaci przejrzystych procedur opartych na analizie i doświadczeniu obsługi znacząco przyczynia się do zwiększenia produkcji, a także jej jakości.	Potwierdzono
5.	W przemyśle budowlanym i architektonicznym ważna jest eliminacja przestojów maszyn produkcyjnych. W przedmiotowej linii istnieje maksymalne skrócenie czasów obsługi maszyn oraz wczesne wykrywanie potencjalnych uszkodzeń.	Potwierdzono

6.	W warunkach rzeczywistych działania linii technologicznej istnieje wiele przyczyn przestojów i obniżonej efektywności produkcyjnej linii technologicznej do laminowania szkła. Stosowane w firmie narzędzia Lean Management zwiększają efektywność produkcyjną.	Potwierdzono
7.	Folia EVA posiada wiele potencjalnych przewag nad folią PVB. Linia technologiczna wykorzystuje folię EVA do laminowania szkła.	Potwierdzono
8.	Wybrane parametry procesu laminacji szkła zostały zoptymalizowane w wyniku wdrożenia wyników badań B+R zawartych w raporcie z badań B+R. Wdrożono zalecenia dotyczące wpływu temperatury i czasu laminowania na własności mechaniczne produkowanego laminatu oraz jakość wypływki folii na krawędziach łączenia.	Potwierdzono
9.	Potwierdzono możliwość laminacji folii EVA w obniżonej temperaturze tzn. 80°C. Temperatura ta jest temperaturą optymalną ze względu na wytrzymałość, jak i jakość wypływki. Zwiększenie temperatury laminacji o 10°C powoduje zwiększenie wytrzymałości o ok. 5%, ale przyczynia się do obniżenia jakości wypływki.	Potwierdzono
10.	Folia zabezpiecza szkło przed wykruszeniem zarówno w przypadku szkła hartowanego, jak i niehartowanego. Podczas audytu stwierdzono dobrą adhezję szkła do foli EVA w temperaturze laminacji.	Potwierdzono
11.	Badania mikroskopowe wykazały bardzo dobrą adhezję i dyfuzję folii EVA do tafli szkła. Dyfuzja folii EVA do tafli szkła jest znacznie większa niż w przypadku folii PVB. Jest to wyraźnie widoczne.	Potwierdzono
12.	Wdrożona innowacyjna linia do laminacji szkła hartowanego i niehartowanego zapewnia bardzo dobre parametry wytrzymałościowe uzyskiwanego laminatu.	Potwierdzono

13.	Zastosowanie folii EVA wraz z systemem kontroli wypływki zapewni dużą odporność krawędzi laminatu na warunki środowiskowe zewnętrzne. Wynika to zarówno z samych właściwości fizyko-chemicznych folii EVA, jak i jakości połączenia folii z taflami szkła.	Potwierdzono
14.	Wdrożona linia technologiczna do produkcji szkła laminowanego i hartowanego pozwala na laminację szkła w czasie zredukowanym o blisko 80% w stosunku do tradycyjnych technologii. Kolejną przewagą jest możliwość laminacji w temperaturze 80°C z wykorzystaniem folii EVA. To znacząco wpływa na koszty produkcji ograniczając zużycie energii nawet o 80% w stosunku do laminowania z folią PVB w temperaturze 150°C. Przekłada się to na bardzo duże oszczędności energii.	Potwierdzono
Ocena końcowa	**Poprawność wdrożenia w warunkach rzeczywistych innowacyjnej technologii wytwarzania szkła laminowanego hartowanego**	**Wdrożenie poprawne**

5. Mechatroniczne systemy zasilania pojazdów paliwami alternatywnymi

5.1. Klient

Systemy zasilania pojazdów LPG zaczęły być popularne w Europie Zachodniej na początku lat 90. XX wieku. Były to produkowane, zwłaszcza we Włoszech i w Holandii, systemy I i II generacji. Pod koniec lat 90. pojawiły się w Polsce wraz z bardzo szybko powstającą infrastrukturą do ich tankowania. Wówczas zachodnie firmy opracowały już i wdrożyły na rynki **systemy sekwencyjnego wtrysku gazu** – tzw. systemy sekwencyjne. Zapewniały one bardzo dobre osiągi pojazdu, jednak w Polsce były one bardzo drogie. Wysoka cena włoskich i holenderskich instalacji sekwencyjnego wtrysku gazu stała się impulsem do ich badań i rozwoju w Polsce.

W 2005 roku pojawiły się pierwsze polskie systemy IV generacji i do 2010 roku ugruntowały swoją pozycję na rynkach europejskich, jak i światowych. Ich bezpieczna praca oraz niskie wartości emisji spalin do atmosfery były potwierdzane przez uzyskane homologacje zgodne z Regulaminem R115 EKG ONZ.

Rozwój systemów zasilania gazem musi cały czas nadążać za rozwojem silników spalinowych i spełniać aktualnie obowiązujące normy emisji spalin Euro. Badania potwierdziły, że nowoczesne niskoemisyjne silniki benzynowe są w stanie spełniać normy emisji spalin Euro 5 i Euro 6 również zasilane LPG.

5.2. Potrzeba

W związku z aferą VW gate Komisja Europejska oraz niezależne rządy krajów członkowskich zwróciły szczególną uwagę na **uciążliwość pojazdów z silnikiem Diesla**. Emisja regulowanych i nieregulowanych toksycznych składników spalin z tychże silników jest duża, zwłaszcza podczas jazdy miejskiej. W różnych krajach rozpoczęły się procesy ograniczania wjazdu pojazdów z silnikami Diesla do centrów miast, a także śmiałe plany całkowitego wycofania z produkcji pojazdów osobowych zasilanych olejem napędowym.

W związku z powyższymi krokami zarówno koncerny samochodowe, jak i jednostki naukowe powróciły do **bardziej intensywnego rozwoju jednostek napędowych z zapłonem iskrowym**. Chodzi tutaj o silniki benzynowe, jak i silniki zasilane innymi paliwami alternatywnymi spalanymi w silniku o spalaniu wewnętrznym, działającymi w oparciu o cykl Otto. Okazuje się, że silniki z zapłonem iskrowym mają jeszcze duży potencjał rozwojowy. Kolejnym ważnym atrybutem jest łatwość ich zasilania na poziomie fabrycznym lub późniejszej konwersji na zasilanie paliwem alternatywnym. Europejskie i polskie prawo dopuszczają obydwie te możliwości.

Ekologia i ekonomia pojazdu zasilanego silnikiem spalinowym z zapłonem iskrowym zależy od wielu czynników, do których możemy m. in. zaliczyć:

- konstrukcję podwozia i nadwozia pojazdu wpływającą na masę własną pojazdu oraz na opory aerodynamiczne, które wpływają na zużycie paliwa,
- efektywność silnika spalinowego o spalaniu wewnętrznym, zależną od rozwiązań konstrukcyjnych i sterowania głównymi procesami i systemami silnikowymi,
- rodzaj używanego paliwa z uwzględnieniem jego ceny oraz własności ekologicznych, tj. emisji poszczególnych składników spalin regulowanych w normach Euro oraz emisji CO_2,
- konstrukcję układu napędowego uwzględniającego rozwiązania hybrydowe, mogące wykazywać lepsze osiągi i niższą emisję spalin niż pojedyncze źródła napędu.

Od wielu lat w Polsce, w Europie i w wybranych krajach na całym świecie ogromną popularnością cieszy się LPG. Początkowo

skroplona mieszanka propanu i butanu traktowana była jako efekt uboczny procesu rafinacji ropy naftowej i nie znajdywano dla niej wielu zastosowań poza zasilaniem domowych kuchni gazowych. Jednak w późniejszym czasie zwrócono uwagę na ewidentne **walory LPG jako paliwa**. I nie chodziło już tylko o jego cenę w porównaniu do benzyny, ale przede wszystkim o **dużą wartość opałową oraz mniejszą emisję CO_2 w porównaniu z benzyną**. Wynika to z chemicznej budowy propanu i butanu w porównaniu z cięższymi frakcjami węglowodorów tworzących benzyny.

5.3. Rozwiązanie

5.3.1. System zasilania pojazdu niskoemisyjnego Euro 6 paliwem LPG

W badaniach wykorzystano **pojazd niskoemisyjny renault megane z silnikiem 1,6 SCe o mocy 115 KM**, posiadający system pośredniego wtrysku paliwa do kolektora dolotowego silnika. Pojazd został wyprodukowany w 2016 roku i spełnia na zasilaniu benzynowym normy emisji spalin Euro 6. Pojazd został następnie poddany konwersji na zasilanie LPG zgodnie z wymogami Regulaminu 115 EKG ONZ. Zgodnie z przedmiotowym regulaminem został doposażony w dodatkowy system sekwencyjnego wtrysku LPG do kolektora dolotowego silnika. Wykorzystano komponenty produkowane przez polskich producentów systemów LPG.

Wygląd samego pojazdu oraz komponentów instalacji LPG zabudowanych w pojeździe przedstawiono na rysunkach od 5.1 do 5.4.



Rys. 5.1. Wygląd badanego pojazdu.



Rys. 5.2. Montaż wtryskiwaczy LPG.



Rys. 5.3. Montaż zbiornika LPG.



Rys. 5.4. Montaż zaworu tankowania LPG.

Konwersji dokonano pod okiem autorów, mających duże doświadczenie w tym zakresie. Zainstalowany **system sekwencyjnego wtrysku LPG** jest jednym z liderów rynku w Polsce. Jest wybierany i szanowany zarówno przez warsztaty montujące, jak i użytkowników za niezawodność działania wynikającą z wysokiej jakości komponentów, jak i wyrafinowanego firmware współpracującego z ECU pojazdu i sterującego wtryskiem LPG.

5.3.2. Hardware i software systemu zasilania gazem

Hardware jednostki sterującej wtryskiem gazu LPG stanowi elektroniczna jednostka sterująca. Jest to wielowarstwowa płytka elektroniczna wykonana w technologii SMD z szeregiem wejść i wyjść sterujących wraz z mikrokontrolerem. Sygnały mierzone przez wejścia są wykorzystywane do sterowania czasem wtrysku gazu we wszystkich warunkach prędkości obrotowej i obciążenia silnika spalinowego. Dla konkretnej wartości czasu wtrysku benzyny musi zostać obliczony czas wtrysku gazu z uwzględnieniem jego temperatury i ciśnienia. Służą do tego skomplikowane algorytmy sterujące, które mają za zadanie zapewnić bezpieczną pracę systemu gazowego. Dodatkowo muszą zapewnić wysoką kulturę pracy silnika podczas zasilania paliwem alternatywnym oraz osiągi silnika (moc, przyspieszenie) porównywalne z benzyną. Kolejnym wymogiem klientów jest ekonomia działania wynikająca z niskiego zużycia paliwa.

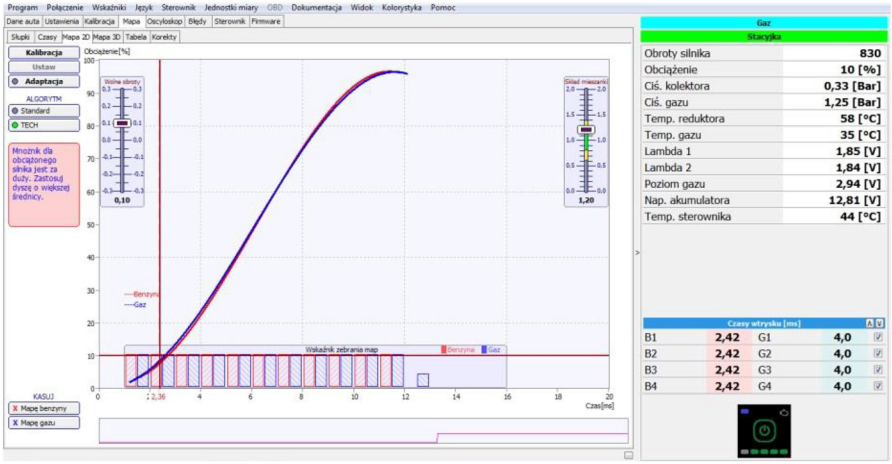
Ważnym elementem każdej instalacji jest software umożliwiający komunikację osób uprawnionych z ECU systemu gazowego – ECU LPG. Po zakończeniu fizycznej konwersji pojazdu benzynowego na zasilanie LPG wymaga on właściwej konfiguracji oraz kalibracji. Konieczne jest ściągnięcie ze strony internetowej producenta odpowiedniego software i jego zainstalowanie na komputerze przenośnym lub urządzeniu mobilnym. Ze względu na łatwiejszą konfigurację i kalibrację na dużym ekranie wybrano komputer przenośny typu laptop oraz połączenie przewodowe laptopa z gniazdem diagnostycznym systemu LPG.

Do przeprowadzenia wnikliwej analizy poprawności pracy silnika przy zasilaniu paliwem oryginalnym, jak i paliwem alternatywnym konieczna jest obserwacja wielu parametrów pracy poszczególnych układów silnika. Zadanie takie wiązało się z koniecznością podglądu parametrów pracy silnika dostępnych za pomocą złącza diagnostyki pokładowej OBD, a także doposażenia silnika w dodatkowe czujniki badawcze.

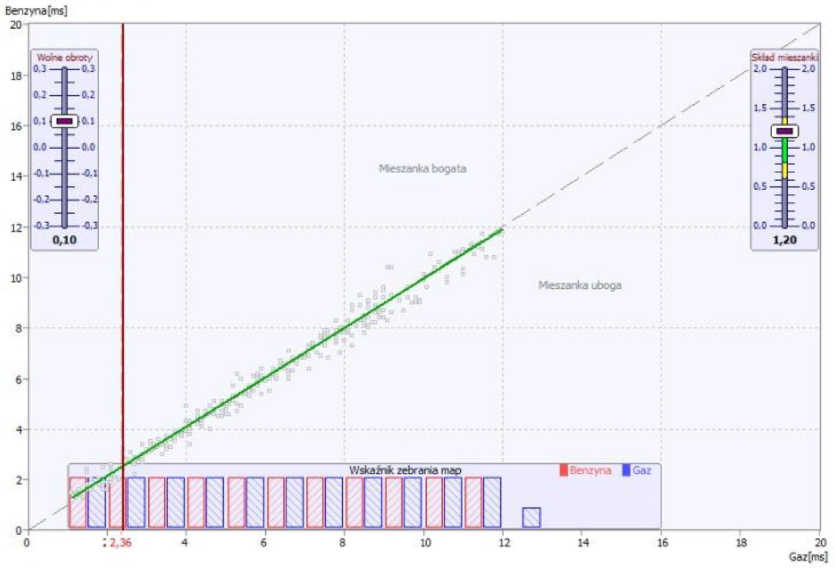
Komunikacja ze sterownikiem systemu wtrysku gazu odbywała się za pomocą software producenta, który umożliwia odpowiednie przeprowadzenie procesu kalibracji pojazdu oraz podgląd parametrów systemu takich jak:

- czas wtrysku benzyny na poszczególnych cylindrach,
- prędkość obrotowa silnika,
- czas wtrysku gazu na poszczególnych cylindrach,
- podciśnienie w kolektorze dolotowym silnika,
- ciśnienie wtryskiwanego gazu,
- temperatura wtryskiwanego gazu,
- temperatura ECU LPG,
- napięcie akumulatora itd.

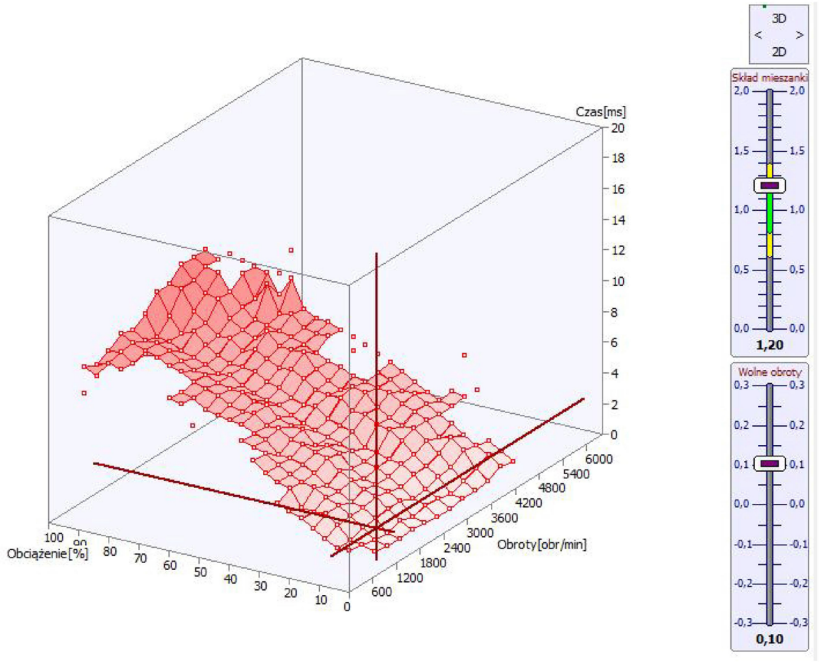
Po procesie konwersji pojazdu na zasilanie LPG należy dokonać konfiguracji systemu gazowego. Następnie następuje wstępna kalibracja pracy systemu na biegu jałowym. Po niej możliwa jest jazda kalibracyjna i właściwa kalibracja systemu gazowego we wszystkich warunkach pracy silnika. Osoba dokonująca kalibracji może korzystać z zaawansowanych funkcji oferowanych przez software. Do określenia poprawności pracy systemu gazowego wykorzystywane są mapy 2D (rysunek 5.5 i 5.6) oraz 3D (rysunek 5.7).



Rys. 5.5. Okno Mapa-> Mapa 2D software.

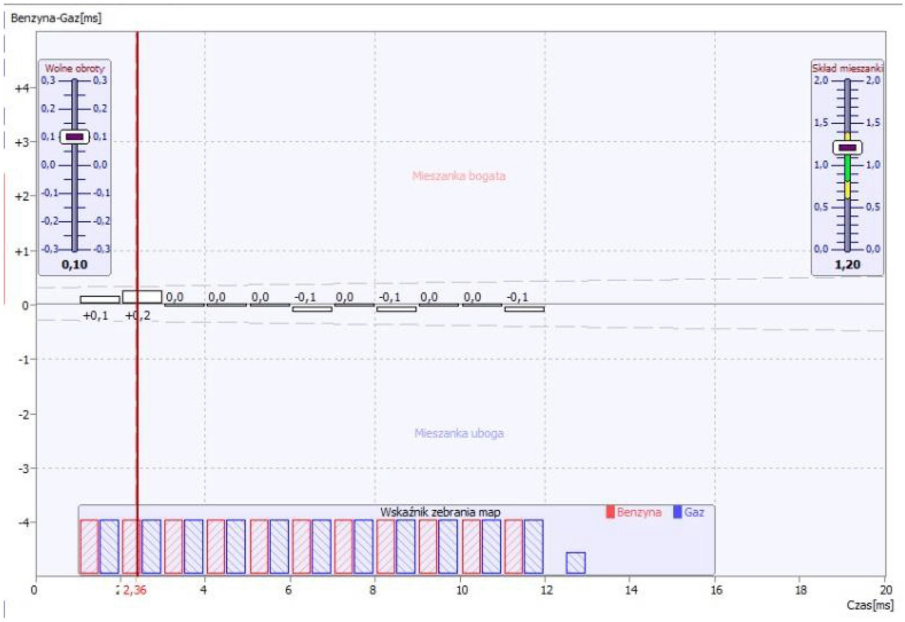


Rys. 5.6. Okno Mapa-> Mapa 2D software.



Rys. 5.7. Okno Mapa-> Mapa 3D software.

System dokonuje także wielu obliczeń statystycznych w celu określenia odchyłek składu mieszanki od wartości stechiometrycznych, co przedstawiono na rysunku 5.8. Aby uzyskać niską emisję spalin podczas zasilania LPG, kalibracja musi być bardzo precyzyjna, a komponenty systemu gazowego powinny zachowywać niezmienne osiągi podczas długiego okresu eksploatacji.



Rys. 5.8. Odchyłki w składzie mieszanki paliwowo-gazowej w stosunku do paliwowo-benzynowej.

5.4. Rezultaty

Jednym z podstawowych wymogów konwersji pojazdu na zasilanie LPG jest jego kompatybilna współpraca z systemem diagnostyki pokładowej (OBD) pojazdu. Jest to możliwe tylko, jeśli system zasilnia LPG jest w stanie zawsze odtwarzać strategię sterowania realizowaną przez system benzynowy. Jest on wtedy nazywany tzw. **systemem zależnym**. ECU pojazdu realizuje wszelkie strategie działania i sterowania silnikiem zapisane w firmware ECU

w postaci algorytmów. Są one wynikiem prac centrów badawczo-rozwojowych poszczególnych koncernów w zakresie strategii sterowania w celu uzyskiwania wysokich osiągów i niskiej emisji spalin. Ewentualnie producent pojazdu może zakupić jednostkę sterującą wraz z oprogramowaniem od firm rozwijających tego typu systemy dla wielu producentów. Należy do nich firma AVL, Bosch oraz kilku innych europejskich producentów.

Aby rozwijać **zaawansowane systemy zasilania pojazdów benzynowych** zgodnie z oczekiwaniami klientów i wymogami emisji spalin, muszą posiadać bardzo dobrze wyposażone laboratoria badawcze obejmujące silniki, hamulce silnikowe oraz analizatory spalin. Oprócz naukowców zdolnych tworzyć nowe strategie sterowania silnikiem oraz algorytmy je realizujące (stanowiące firmware) potrzebni są ponadto elektronicy zdolni zaprojektować odpowiedni hardware. Do komunikacji z firmware ECU potrzebny jest także software.

Można podsumować, że **do rozwoju innowacyjnych systemów zasilania pojazdów paliwami alternatywnymi potrzebne jest bardzo dobrze wyposażone laboratorium oraz zespół najwyższej klasy naukowców i inżynierów z wielu dyscyplin naukowych**.

Określenia kompatybilności systemu zasilania LPG z systemem OBD pojazdu można dokonać za pomocą ogólnie dostępnego hardware oraz bezpłatnego lub kosztującego niewielkie pieniądze software na urządzenie mobilne. Istnieje duża oferta urządzeń działających na układzie scalonym nazywanym ELM 327 komunikujących się przewodowo z komputerami stacjonarnymi (rysunek 5.9) lub przenośnymi lub bezprzewodowo z urządzeniami mobilnymi typu tablet lub smartfon (rysunek 5.10). Przykłady takich urządzeń przedstawiono na rysunkach poniżej.



Rys. 5.9. Interface OBD z wtyczką USB.



Rys. 5.10. Interface OBD komunikujący się za pomocą Bluetooth.

Często wykorzystywanym i bardzo pomocnym zarówno w diagnostyce warsztatowej, jak i w badaniach naukowych jest Torque, będący darmowym (w wersji Light) lub płatnym (w wersji Pro) programem diagnostycznym niezbędnym do przeprowadzenia diagnostyki pojazdów.

Program Torque Pro umożliwia:

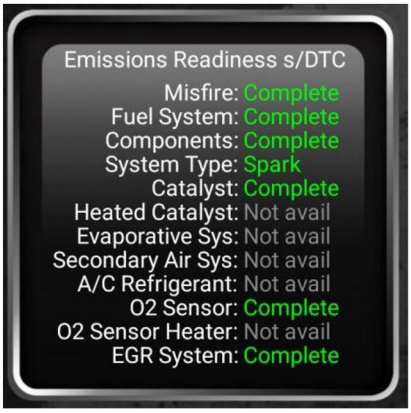
- odczytywanie kodów błędów (DTC) standardowych oraz specyficznych,
- kasowanie kodów oraz kontrolki „check engine” (MIL).

Ponadto możliwe jest wyświetlanie w czasie rzeczywistym oraz zapis do pliku informacji z czujników takich, jak:

- prędkość obrotowa silnika (RPM),
- obliczone obciążenie silnika (*Calculated Load Value*),
- temperatura cieczy chłodzącej (*Coolant Temperature*),
- status układu paliwowego (*Fuel System Status*),
- prędkość pojazdu (*Vehicle Speed*),
- krótkoterminowa korekta czasu wtrysku (*Short Term Fuel Trim*),
- długoterminowa korekta czasu wtrysku (*Long Term Fuel Trim*),
- podciśnienie w kolektorze dolotowym (*Intake Manifold Pressure*),
- kąt wyprzedzenia zapłonu (*Timing Advance*),
- temperatura zasysanego powietrza (*Intake Air Temperature*),
- masowy przepływ powietrza – wskazanie przepływomierza (*Air Flow Rate*),
- położenie przepustnicy TPS (*Absolute Throttle Position*),

- wskazania czujnika tlenu (*Oxygen sensor voltages*),
- ciśnienie paliwa (*Fuel Pressure*),
- i inne.

Badania kompatybilności systemu LPG z systemem OBD pojazdu wykazały brak kodów błędów w pamięci ECU oraz poprawne działanie wszystkich procedur i monitorów diagnostycznych w zakresie monitorowania układów i systemów emisji spalin w pojeździe (rysunek 5.11). W podobny sposób kompatybilność sprawdzają akredytowane jednostki badawcze. Dodatkowym testem jest symulacja uszkodzenia ważnego ze względu na emisję komponentu i sprawdzenie czasu reakcji systemu OBD w postaci wyświetlenia kontrolki „Check engine" na tablicy wskaźników pojazdu.



Rys. 5.11. Okno *Emissions Readiness*.

W ramach podsumowania tego rozdziału warto jeszcze raz podkreślić, że **nowoczesne pojazdy posiadają bardzo wiele systemów opartych na elementach elektromechanicznych. W pojeździe z silnikiem benzynowym do takich elementów zaliczamy:**

- system pomiaru poziomu paliwa w zbiorniku,
- elektryczną pompę paliwa,
- regulator ciśnienia paliwa w szynie paliwowej,
- wtryskiwacze paliwa,
- układ zapłonowy,
- wszystkie czujniki i zawory elektromagnetyczne,
- czujnik tlenu w spalinach,
- itd.

Prawidłowe działanie poszczególnych elementów mechatronicznych oraz efektywne sterowanie nimi pozwala osiągać bardzo duże moce z małej pojemności skokowej silnika, dużą kulturę jego pracy oraz niską emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Powyższe informacje dotyczą zarówno pracy silnika na benzynie, jak i podczas pracy na paliwie alternatywnym.

6. Podsumowanie i wnioski

Maszyny przemysłowe XXI wieku są skomplikowanymi urządzeniami mechatronicznymi, stanowiącymi elementy Internetu Rzeczy (IoT). Dzięki cechom identyfikowalności i komunikacyjności możliwy jest ciągły monitoring wybranych lub wszystkich parametrów ich pracy.

Obustronna komunikacja systemu zarządczego (automatycznego lub opartego na ludziach) pozwala sterować maszynami z wykorzystaniem sygnałów sprzężenia zwrotnego i w ten sposób istotnie wpływać na ich pracę w celu korekcji wybranych parametrów. Ich sterowanie pozwala zaś na dowolne kształtowanie wyglądu i wskaźników jakościowych wytwarzanego produktu.

Istnieje wiele obszarów wpływania na jakość produktu i niezawodność maszyn produkcyjnych. Precyzyjne zdefiniowanie wskaźnika jakości oraz ustalenie i wdrożenie procedur w celu jego maksymalizacji (lub minimalizacji) pozwoli osiągnąć przewagę nad konkurencją w postaci lepszych cech jakościowych lub niższych kosztów produkcji. W każdym przemyśle w chwili obecnej ważna jest eliminacja przestojów maszyn produkcyjnych. Efektywne sterowanie procesami przetwórczymi może przyczynić się do zwiększenia produkcji.

Przedstawione w przedmiotowym opracowaniu przypadki należy rozpatrywać w ujęciu ogólnym. Po zapoznaniu się ze szczegółową budową oraz zrozumieniu istoty pracy danej linii technologicznej można w niej stosować zaproponowane rozwiązania. Wtedy nabierają one charakteru szczególnego.

W taki sposób autor case study wprowadza naukowe podejście do obsługi, eksploatacji, diagnostyki i serwisu zaawansowanych maszyn będących przedstawicielami Przemysłu 4.0. Należy po prostu wyjść od identyfikacji każdego elektromechanicznego komponentu w skomplikowanej maszynie mechatronicznej. Następnie zapoznać się z jej budową, działaniem oraz zastosowanymi technikami sterowania. Są one kluczem do gromadzenia i przetwarzania

danych z monitoringu poprawności działania maszyny. Dane te mogą być analizowane online lub gromadzone w chmurze i przetwarzane offline. Obsługa zaawansowanych platform internetowych lub aplikacji na urządzenia mobilne jest umiejętnością niezbędną dla każdego studenta kształcącego się na kierunku mechatronika. Nabycie wspomnianych w skrypcie i case study wiedzy, umiejętności i kompetencji pozwoli ubiegać się absolwentom o ciekawą i dobrze płatną pracę.

Bibliografia

[1] Cegielska, A., Olszewski, M. (2015), Nieinwazyjny interfejs mózg-komputer do zastosowań technicznych. *Pomiary Automatyka Robotyka,* 3(19), 5–14, DOI: 10.14313/, AR_217/5.

[2] Gracel, J. (2016). Industry 4.0 – kluczowe pytania i odpowiedzi. *Automatyka, Podzespoły, Aplikacje*, 6(10), 36–39.

[3] Helduser, S., Mednis, W., Olszewski, M. (2009). *Elementy i układy hydrauliczne*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

[4] Hoske, M.T. (2015). Internet Rzeczy w Fabryce 4.0. *Control Engineering Polska,* 6(116), 22–30.

[5] Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, Deloitte 2016.

[6] Jaworowska, M., Piątek, Z. (2016). Przemysł 4.0 – czwarta rewolucja przemysłowa na świecie. *Automatyka, Podzespoły, Aplikacje,* 6(10), 24–27.

[7] Kaliczyńska, M., Dąbek, P. (2015). Value of the Internet of Things for the Industry – An Overview. W: Mechatronics: Ideas for Industrial Applications, 51-63, DOI: 10.1007/978-3-319-10990-9_6.

[8] Olszewski, M. (2016). Mechatronizacja produktu i produkcji – Przemysł 4.0. *Pomiary Automatyka Robotyka*. ISSN 1427–9126, R. 20, nr 3, 13–28.

[9] RAPORT: Czwarta rewolucja przemysłowa: Elementarz dla producentów The 4th Industrial Revolution: A Primer for Manufacturers EEF The Manufacturers' Organization Oracle 2016.

[10] RAPORT: Inteligentna Fabryka Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Deloitte 2017.

[11] RAPORT: Przemysł 4.0 czyli wyzwania współczesnej produkcji. PwC. Kwiecień 2017.

[12] RAPORT: Przemysł 4.0, Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz? ASTOR. Październik 2016.

[13] RAPORT: Przemysł 4.0. Wyzwania i rozwiązania dla transformacji cyfrowej oraz rozwijających się wykładniczo technologii.

Czasopisma, strony internetowe:

[14] http://przemysl-40.pl/index.php/2017/03/22/czym-jest-przemysl-4-0/ [dostęp: 2021-04-29].

[15] https://lean.org.pl/przemysl-4-0-industry-4-0-dziala-a/ [dostęp: 2021-04-29].

[16] http://www.utrzymanieruchu.pl/menu-gorne/artykul/article/przemysl-40-z-perspektywy-polskiego-rynku/ [dostęp: 2021-05-15].

[17] https://www.pwc.pl/pl/publikacje/2017/przemysl-4-0.html [dostęp: 2021-05-15].

[18] http://www.controlengineering.pl/menu-gorne/kanaly-tematyczne/fabryka-40/ [dostęp: 2021-05-15].

[19] http://www.iofthings.pl/ [dostęp: 2021-05-15].

[20] https://leantrix.com/pl/ [dostęp: 2021-05-15].

[21] http://www.luqam.com/raport-a3-sekretna-bron-zarzadcza-w-przedsiebiorstwach [dostęp: 20121-05-15].

[22] http://leanactionplan.pl/slownik-pojec-lean-manufacturing/ [dostęp: 2021-05-15].

[23] http://www.leancenter.pl/bazawiedzy/wdrozenie-tpm-jak-oszczedzac [dostęp: 2021-05-15].

[24] https://pl.multivac.com/pl/ [dostęp: 2021-05-15].

[25] https://www.abit.com.pl/aktualnosci/24-integracja-opc-server-i-golem-oee-mes [dostęp: 2021-06-20].

[26] https://othello.predictail.com/ [dostęp: 2021-06-20].

[27] http://lpnt.pl/ [dostęp: 2021-06-20].

[28] https://www.focus.pl/artykul/wielka-granda-na-kanale-grande [dostęp: 2021-06-20].

Spis rysunków

Rys. 1.1. Przykład wykończenia wnętrza sklepu. 198
Rys. 1.2. Przykład realizacji recepcji. 198
Rys. 1.3. Linia Szybkiego Prototypowania Systemów Ekspozycyjnych JBM. 202
Rys. 1.4. Współpraca BOK z biurem konstrukcyjnym i prototypownią. 203
Rys. 1.5. Prototypowanie uwzględniające badanie rynku. 204
Rys. 1.6. Linia obróbki drewna i tworzyw sztucznych..... 205
Rys. 1.7. Linia obróbki metali. 205
Rys. 1.8. Linia obróbki metali powiększona o spawalnię..... 205
Rys. 1.9. Dwie linie pracujące w *Just in Time. 206*
Rys. 1.10. Ostatnie działy LSPSE. 206

Rys. 2.1. Format opakowań..... 211
Rys. 2.2. Wygląd pojedynczego opakowania. 212
Rys. 2.3. Architektura biznesowa rozwiązania [25]. 212
Rys. 2.4. Zrzut ekranu z aplikacji VizOPC. 213
Rys. 2.5. Wizualizacja wskaźnika OEE. 217
Rys. 2.6. Wizualizacja wskaźników pomocniczych. 217
Rys. 2.7. Wskaźnik OEE po wprowadzeniu metody usprawniającej. 218
Rys. 2.8. Wskaźniki pomocnicze po wprowadzeniu usprawnień. 219

Rys. 3.1. Kompletny system zarządczy mobilnej linii przetwarzania odpadów budowlanych. 224
Rys. 3.2. Innowacyjna kruszarka szczękowa. 227
Rys. 3.3. Innowacyjny przesiewacz. 228
Rys. 3.4. Panel sterujący kruszarki. 228
Rys. 3.5. Panel sterujący kruszarki – wygląd wnętrza 228

Rys. 4.1. Zastosowanie szkła w budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego [27]. 232
Rys. 4.2. Zastosowanie szkła w budynku Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego [27]. 232
Rys. 4.3. Szklany most Konstytucji w Wenecji. 236
Rys. 4.4. Wygląd linii technologicznej. 237
Rys. 4.5. Wygląd linii technologicznej podczas przenoszenia szkła. 238
Rys. 4.6. Wygląd linii technologicznej podczas przenoszenia szkła. 238
Rys. 4.7. Produkt w postaci szkła laminowanego na wyjściu z linii technologicznej. 239
Rys. 4.8. Produkty w postaci szkła laminowanego na wyjściu z linii technologicznej. 244
Rys. 4.9. Ocena jakości wypływki szkła laminowanego. 245
Rys. 4.10. Ocena cech wizualnych szkła laminowanego na wyjściu z linii technologicznej. 245

Rys. 5.1. Wygląd badanego pojazdu. 252
Rys. 5.2. Montaż wtryskiwaczy LPG. 252
Rys. 5.3. Montaż zbiornika LPG. 252
Rys. 5.4. Montaż zaworu tankowania LPG 252
Rys. 5.5. Okno Mapa-> Mapa 2D software. 254
Rys. 5.6. Okno Mapa-> Mapa 2D software. 255

Rys. 5.7. Okno Mapa-> Mapa 3D software. 255

Rys. 5.8. Odchyłki w składzie mieszanki paliwowo-gazowej w stosunku do paliwowo-benzynowej. 256

Rys. 5.9. Interface OBD z wtyczką USB..... 258

Rys. 5.10. Interface OBD komunikujący się za pomocą Bluetooth. 258

Rys. 5.11. Okno *Emissions Readiness*..... 259

Spis tabel

Tabela 2.1 *Narzędzia Lean zorientowane na eliminację 6 wielkich strat w pracy maszyny* *214*

Tabela 4.1 *Ocena poprawności wdrożenia poszczególnych etapów linii technologicznej* *246*

Grafika użyta do rozdzielania poszczególnych rozdziałów:

1. Ad. 1 – geralt/Pixabay.com
2. Ad. 2 – bedneyimages/Freepik.com
3. Ad. 3 – CaptainAnonymous/Pixabay.com
4. Ad. 4 – marcin049/Pixabay.com
5. Ad. 5 - bedneyimages/Freepik.com

Z recenzji:

Mechatronika ma wiele punktów stycznych z elektromechaniką, ale wykracza poza nią. Jest to dziedzina interdyscyplinarna, która łączy w sobie trzy obszary: inżynierię maszyn, elektrotechnikę i informatykę oraz wykorzystuje ich metody do rozwiązywania problemów technicznych. W mechatronice systemy pracują mechanicznie w swoim rdzeniu, ale są wspierane przez najnowocześniejszą technologię (technologie komputerowe i systemy elektroniczne).
Autor już we wstępie trafnie zauważa, że urządzeniami mechatronicznymi są wszystkie obecnie produkowane pojazdy i maszyny obróbcze i przetwórcze. Elektromechanikę tworzą wspólnie dwa obszary: systemy elektroniczne i systemy mechaniczne. W podręczniku przedstawiono i dokładnie opisano dużo przykładów systemów elektromechanicznych w innowacyjnych maszynach produkcyjnych i przemysłowych.
Podręcznik uzupełnia lukę rynkową w obszarze elementów elektromechanicznych będących podstawą maszyn Przemysłu 4.0. W bezpośredni sposób odpowiada na trendy rynkowe w obszarze Przemysłu 4.0 coraz bardziej widoczne i w naszym kraju. Szybki rozwój i wprowadzanie na rynek maszyn z funkcjami Przemysłu 4.0 wymaga kształcenia inżynierów, którzy będą mogli za kilka lat pracować w serwisie, diagnostyce, naprawie oraz projektowaniu takich innowacyjnych maszyn.

dr inż. Łukasz Wojciechowski

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie
20-209 Lublin, ul. Projektowa 4
tel.: +48 81 749 17 77
www.wsei.lublin.pl

ISBN – wersja elektroniczna: 978-83-66159-91-4

WSEI LUBLIN
WYDAWNICTWO NAUKOWE
INNOVATIO PRESS

KOMPETENCJE WIEDZA INNOWACJE
Zintegrowany program rozwoju WSEI III ETAP
Fundusze Europejskie Program Regionalny
Rzeczpospolita Polska
Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny