OPEN ACCESS

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

Arkadiusz DOMORACKI[1], Krzysztof BODZEK[2], Mateusz JASIŃSKI[3], Bartosz BARAN[4]
ORCID: [1]0000-0002-3963-0822; [2]0000-0001-5946-5396
DOI: 10.15199/48.2025.08.17

Laboratorium automatyki przemysłowej dostosowane do wyzwań przemysłu 4.0

Industrial Automation Laboratory tailored to Industry 4.0 challenges

[1] dr inż. Arkadiusz Domoracki, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, e-mail: Arkadiusz.Domoracki@polsl.pl
[2] dr inż. Krzysztof Bodzek, Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki, ul. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, e-mail: Krzysztof.Bodzek@polsl.pl
[3] inż. Mateusz Jasiński, Student kierunku Elektrotechnika na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach, e-mail: matejas209@student.polsl.pl
[4] mgr inż. Bartosz Baran, EATON Electric Sp. z o.o. ul. Roździeńskiego 188b, 40-203 Katowice, e-mail: BartoszBaran@eaton.com

Adres do korespondencji: Arkadiusz.Domoracki@polsl.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwości, jakie studentom oraz pracownikom Politechniki Śląskiej oferuje nowoczesne Laboratorium automatyki przemysłowej dostosowane do wyzwań Przemysłu 4.0. Powstanie laboratorium jest wynikiem owocnej współpracy pomiędzy uczelnią i partnerem przemysłowym. Laboratorium zapewnia dostęp do stanowisk w standardzie przemysłowym umożliwiających kompleksowe kształcenie w szerokim spektrum współczesnej automatyki: od programowania sterowników PLC i projektowania systemów wizualizacji HMI/SCADA, poprzez konfigurację napędów elektrycznych, sterowanie procesami technologicznymi, aż po praktyczną integrację przemysłowych sieci komunikacyjnych. Dzięki zastosowaniu komponentów odpowiadających aktualnym standardom przemysłowym laboratorium skutecznie przygotowuje przyszłych inżynierów do pracy w środowisku nowoczesnych, inteligentnych fabryk, odpowiadając tym samym na wyzwania transformacji cyfrowej związanej z Przemysłem 4.0.

Słowa kluczowe: automatyka, laboratorium, przemysł 4.0, współpraca nauki i przemysłu.

Abstract. The article presents the opportunities offered to students and staff of the Silesian University of Technology by a state-of-the-art Industrial Automation Laboratory tailored to meet the challenges of Industry 4.0. The laboratory was established through fruitful collaboration between the university and an industrial partner. It provides access to industry-standard workstations that enable comprehensive training across the full spectrum of modern automation from PLC programming and HMI/SCADA system design, through configuration of electric drives and process control, to the practical integration of industrial communication networks. By employing components that meet current industry standards, the laboratory effectively prepares future engineers to work in modern, intelligent factories, thereby addressing the digital transformation challenges with Industry 4.0.

Keywords: automation, laboratory, science-industry collaboration.

Wstęp

Laboratoria zawsze stanowiły ważny element zdobywania doświadczenia na uczelniach technicznych i są nieodłącznym elementem kształcenia przyszłej kadry inżynierskiej. Jednak zapewnienie studentom wysokiego poziomu pracy, wymaga laboratoriów wyposażonych w nowoczesne urządzenia, spełniające standardy przemysłowe. Coraz częściej zgodnych z założeniami Przemysłu 4.0. Potwierdza to Raport Word Economic Forum [1]. Według tego raportu transformacje technologiczne, a zwłaszcza szybka adaptacja sztucznej inteligencji, automatyzacji i rozwiązań cyfrowych, sprawią, że do 2030 r. 39 % aktualnych kompetencji inżynierów stanie się nieaktualnych, a 59 % pracowników będzie musiało się przebranżowić. Specjaliści w obszarze techniki i automatyki, tacy jak programiści systemów sterowania, integratorzy przemysłowych sieci komunikacyjnych oraz inżynierowie AI, tworzą jedną z najszybciej rosnących grup zawodowych w perspektywie nadchodzących lat. Dlatego, odpowiedzią na taką sytuacją jest zagwarantowanie dostępu studentom do takich technologii i rozwiązań, z którymi spotkają się oni w swojej przyszłej pracy zawodowej. Jest to jeden z warunków koniecznych do przygotowania absolwentów tak, aby po uzyskaniu tytułu inżyniera byli od razu gotowi do realizacji różnorakich zadań w dynamicznie rozwijającym się przemyśle. Wymóg ten dotyczy wszystkich dziedzin nauk technicznych, w tym również szeroko rozumianej automatyki przemysłowej. Raport [1] wska-

zuje, że programowanie, szczególnie w środowiskach przemysłowych (PLC, SCADA), integracja systemów i inżynieria danych stają się kluczowymi elementami pożądanymi na rynku pracy, a jednocześnie pracodawcy wymieniają luki kompetencyjne jako największą barierę transformacji (63 % firm).

Wychodząc naprzeciw wymienionym powyżej wymaganiom współczesnego rynku pracy na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej powstało nowoczesne laboratorium automatyki przemysłowej. Jest ono wyposażone w stanowiska umożliwiające wszechstronne kształcenie w zakresie systemów sterowania urządzeniami/procesami przemysłowymi oraz w zakresie systemów wizualizacji i komunikacji. Utworzenie «Patronackiego Laboratorium Automatyki Przemysłowej Eaton» jest wynikiem współpracy Politechniki Śląskiej z partnerem przemysłowym, który rozumie zmieniające się wymagania na rynku pracy.

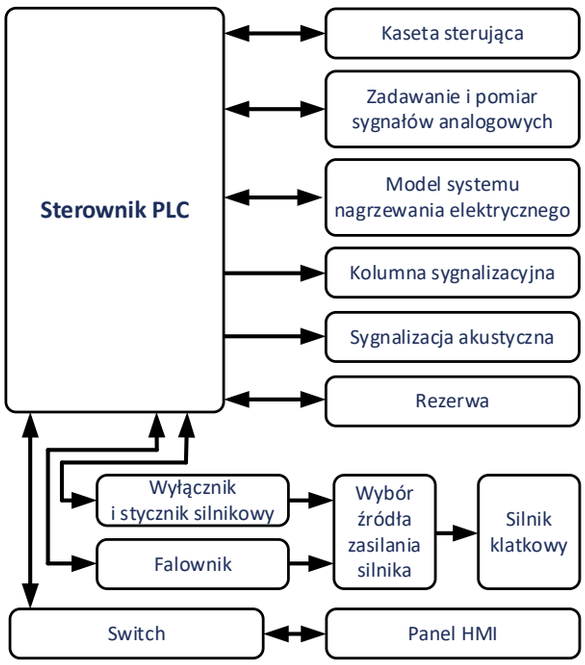
Partnerstwo to zapewnia wielostronne korzyści: studentom daje dostęp do najnowszych rozwiązań sprzętowych i programistycznych stosowanych w przemyśle, poszerza i uatrakcyjnia ofertę edukacyjną uczelni zwiększając jej potencjał, natomiast dla firmy jest to możliwość zapoznania nowych potencjalnych użytkowników ze swoją ofertą.

Koncepcja stanowisk laboratoryjnych

Na etapie projektowania laboratorium zostały określone kluczowe wymagania, które muszą spełniać stanowiska laboratoryjne. Z jednej strony muszą być przejrzyste, pozwalające na rozpoczęcie nauki programowania, ale jednocześnie nie ograniczające możliwości badawczych, w szczególności realizacji rozproszonych systemów. Taka idea przyczyniła się do opracowania ośmiu jednakowych, wielofunkcyjnych stanowisk laboratoryjnych, połączonych ze sobą siecią przemysłową, ale również otwartych na integrację komponentów innych firm. Stanowiska te umożliwiają naukę oraz doskonalenie umiejętności w zakresie:

- konfiguracji oraz programowania sterowników programowalnych w różnych językach zgodnych z normą IEC 61131–3,
- parametryzacji przemienników częstotliwości ich wykorzystania do sterowania napędami elektrycznymi, w tym również z poziomu nadrzędnych systemów sterowania,
- sterowania procesami technologicznymi na przykładzie nagrzewania i stabilizacji temperatury,
- tworzenia wizualizacji na panelach operatorskich HMI,
- przetwarzania i archiwizacji danych uzyskiwanych z czujników pomiarowych, sterowników PLC oraz z przemienników częstotliwości,
- konfiguracji i stosowania przemysłowych protokołów komunikacyjnych.

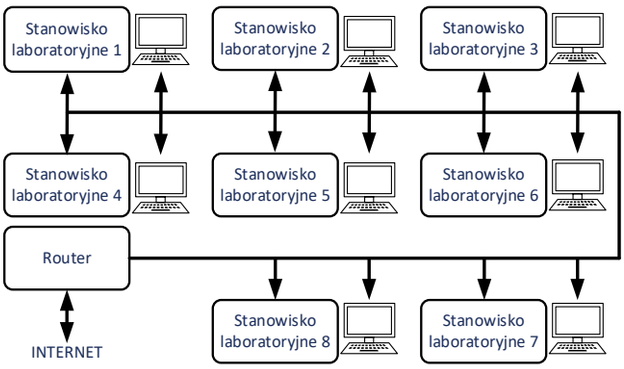
Na podstawie przedstawionych wytycznych, został opracowany schemat blokowy elementów stanowiska (rys. 1), na bazie którego opracowano koncepcję i zrealizowano stanowiska laboratoryjne.



Rys.1. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego

Dodatkowym wymaganiem postawionym opracowanym stanowiskom była elastyczna możliwość pracy każdego z nich w trzech trybach: jako samodzielne gniazdo technologiczne, jako element w zdecentralizowanym układzie sterowania, jako jednostka mogąca pełnić rolę nadrzędnego układu sterowania i zdolna zarządzać pracą pozostałych stanowisk. Z tego względu zdecydowano, że wszystkie stanowiska będą pracowały we wspólnej sieci komunikacyjnej (rys. 2).

Ponadto wszystkie stanowiska opracowano w taki sposób, aby istniała łatwa możliwość ich rozbudowy o dodatkowe komponenty, co zwiększa ich funkcjonalność i umożliwia przyszłą adaptację do zmieniających się potrzeb przemysłowych i dydaktycznych. Są to wymagania zgodne z założeniami koncepcji „Przemysł 4.0”, która znajduje zastosowanie we wszystkich sektorach nowoczesnej gospodarki i z którą absolwenci uczelni technicznych z pewnością zetkną się w swojej przyszłej pracy zawodowej [2], [3].



Rys. 2. Topologia laboratoryjnej sieci komunikacyjnej

Budowa stanowisk

Niezwykle ważne jest, żeby w budowie laboratoriów na uczelniach partycypowali partnerzy przemysłowi, którzy nie tylko mogą zapewnić sprzęt laboratoryjny, ale również swoje doświadczenie i wiedzę [4]. Tak było również w tym przypadku. Korzystając z bogatego doświadczenia inżynierów partnera przemysłowego dokonano wyboru elementów, które zapewniły spełnienie wszystkich wcześniej wymienionych wymagań, a jednocześnie odpowiadają aktualnym rozwiązaniom oferowanym partnerom przemysłowym. Takie podejście stanowi gwarancję, że stanowiska są wyposażone w nowoczesny sprzęt oraz w oprogramowanie, z którym studenci będą mieli styczność w swojej przyszłej pracy zawodowej.

Do realizacji zadań związanych ze sterowaniem wybrano sterownik programowalny serii EASY-E4 (EASY-E4-UC-12RC1) z ośmioma wejściami oraz z czterema wyjściami cyfrowymi. Sterownik PLC wyposażony jest w klawiaturę, wyświetlacz LCD, slot na dodatkową kartę pamięci. Obsługuje m.in komunikację MODBUS TCP/IP, szeroko stosowaną w urządzeniach automatyki przemysłowej. Sterownik rozbudowano o dodatkowy moduł z czterema wejściami i dwoma wyjściami analogowymi (EASY-E4-DC-6AE1) oraz o dodatkowy moduł z ośmioma wejściami i ośmioma wyjściami cyfrowymi (EASY-E4-UC-16RE1). Do konfiguracji, diagnostyki i programowania sterownika PLC wykorzystywane jest oprogramowanie EasySoft.

Elementem systemu wizualizacji jest kolorowy, dotykowy panel operatorski o przekątnej 3.5 cala (XV-102-L3–35TQR-10). Panel HMI pracuje z systemem operacyjnym Windows CE, wyposażony jest w slot na kartę pamięci SD oraz w port USB. Do komunikacji panel wykorzystuje protokół MODBUS TCP/IP. Konfiguracja sprzętowa i tworzenie wizualizacji realizowane jest w środowisku Galileo.

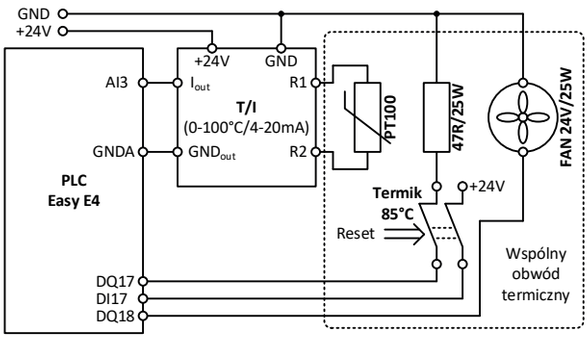
Układ napędowy bazuje na silniku klatkowym o mocy 0,37 kW, zasilanym z przemiennika częstotliwości serii DE1 lub z sieci elektroenergetycznej poprzez zestaw złożony z wyłącznika silnikowego oraz stycznika. Wybór źródła zasilania realizuje się za pomocą trójpozycyjnego łącznika krzywkowego (T0–3-8451/E). Łącznik skonfigurowano następująco: pozycja 0 – brak zasilania silnika, pozycja 1 – zasilanie z falownika, pozycja 2 – zasilanie silnika bezpośrednio z sieci. Zastosowano przemiennik (DE11–124D3FN-N20N) o mocy 0,75 kW, zasilany z jednofazowej sieci napięcia przemiennego 230 V. Falownik wyposażony jest w filtr przeciwzakłóceniowy oraz dodatkowy panel LCD (DX-KEY-LED2), umożliwiający konfigurację parametrów pracy falownika oraz monitoring ich bieżących wartości. W przypadku zasilania bezpośredniego, układ obejmuje wyłącznik silnikowy PKZM0–2,5 oraz stycznik DILM7–22. Uzupełniniem wyposażenia stanowisk laboratoryjnych są:

- zasilacze napięcia stałego 24 V o wydajności prądowej 5 A i mocy 100 W (PSG120E24RM),
- pięcioportowe switche przemysłowe Ethernet oferujące szybkość transmisji na poziomie10/100 Mbit/s (XN-332–5ETH-UMS),
- przemysłowe, trójkolorowe kolumny sygnalizacyjne (SL7–100-L-RYG-24LED),
- wyłączniki nadprądowe serii HHN, wyłączniki bezpieczeństwa oraz inny osprzęt sterujący i sygnalizacyjny serii M22.

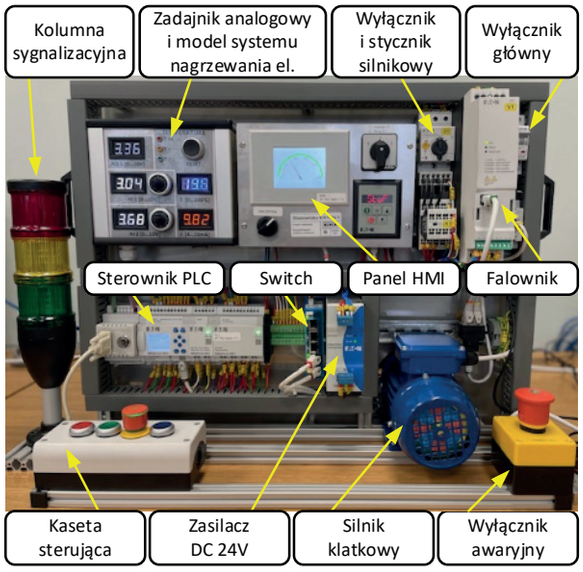
Stanowisko jest również wyposażone w model systemu nagrzewania elektrycznego. Zbudowany jest on z elementu grzejnego (umieszczonego w bloku metalowym zwiększającym termiczną stałą czasową), wentylatora, dwuobwodowego wyłącznika termicznego (o progu wyzwolenia 85 °C i wyposażonego w mechaniczny przycisk reset), czujnika temperatury PT100 z przetwornikiem pomiarowym temperatura/prąd (0–100 °C/4–20 mA). Schemat elektryczny modelu systemu nagrzewania zamieszczono na rysunku 3. System nagrzewania został uzupełniony o cyfrowy miernik temperatury, cyfrowy miliamperomierz do pomiaru prądu z przetwornika pomiarowego oraz wizualną sygnalizację stanu pracy (nagrzewanie, chłodzenie, zadziałanie zabezpieczenia termicznego). Dla zachowania czytelności schematu elementów tych nie zamieszczono na rysunku 3.

Stanowiska doposażono o dwa zadajniki sygnałów analogowych, cyfrowe woltomierze wskazujące wartości sygnałów analogowych na wejściu i wyjściu oraz sygnalizację dźwiękową. Przygotowano również złącze, do którego podłączono rezerwowe cyfrowe i analogowe sygnały wejściowe oraz wyjściowe. Daje to możliwość rozbudowy o dodatkowe podzespoły bez

konieczności ingerencji w istniejące okablowanie stanowiska. Fotografię stanowiska przygotowanego do pracy zamieszczono na rysunku 4.



Rys. 3. Schemat elektryczny modelu systemu nagrzewana i jego podłączenia do sterownika PLC

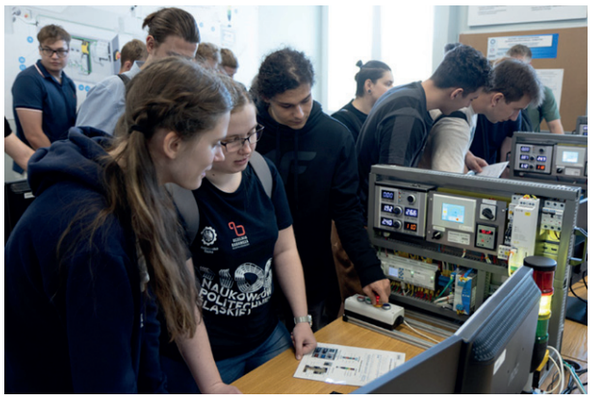


Rys. 4. Stanowisko laboratoryjne

Aktualne wykorzystanie laboratorium

W maju 2024 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach zainaugurowano działalność laboratorium. W ramach współpracy i oferowanego wsparcia partnera przemysłowego, przeprowadzono szkolenie techniczne z zakresu konfiguracji oraz programowania sterowników PLC serii EASY-E4 w środowisku EasySoft. Szkolenie obejmowało m.in. tworzenie struktury programu, konfigurację interfejsów komunikacyjnych oraz podstawy diagnostyki online. Uczestnicy uzyskali certyfikaty potwierdzające nabycie praktycznych umiejętności w zakresie uruchomienia i prostego programowania sterowników PLC oraz paneli HMI.

W nowym laboratorium (rys. 6) realizowane są obecnie zajęcia dydaktyczne dla studentów studiów



Rys. 5. Studenci zapoznają się z nowymi stanowiskami

pierwszego i drugiego stopnia na kierunkach Elektrotechnika, Informatyka w systemach i układach elektronicznych, Mechatronika oraz Mechanika i Budowa Maszyn. Zakres tematyczny prowadzonych zajęć obejmuje m.in.: programowanie sterowników przemysłowych, automatykę, programowanie sterowników PLC w językach wysokiego poziomu, systemy sterowania i wizualizacji, przemysłowe sieci komunikacyjne, przemysłowe bazy danych.

Oprócz poznania podstaw oraz doskonalenia umiejętności programowania sterowników PLC w różnych językach programowania, studenci mogą również praktycznie realizować regulację histerezową, implementować algorytmy regulacji PID, nauczyć się jak skutecznie obsługiwać sygnały pochodzące z systemów zabezpieczeń oraz w jaki sposób sygnalizować aktualny status sterowanej maszyny, urządzenia lub procesu. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że zastosowane w laboratorium sterowniki PLC oferują również funkcjonalność wbudowanego Web Serwera, co (po jego aktywacji oraz nadaniu użytkownikom konkretnych uprawnień) pozwala na dostęp do sterownika, odczyt i modyfikację wartości zmiennych, zmianę trybu pracy oraz inne funkcjonalności z poziomu przeglądarki internetowej.

Rys. 6. Laboratorium przygotowane do pracy

Nieodzowną funkcjonalnością współczesnych systemów sterowania jest również wizualizacja. Stanowiska laboratoryjne wyposażone w dotykowe panele HMI oraz oprogramowanie Galileo dają studentom możliwość samodzielnego tworzenia wizualizacji sterowanego obiektu, w tym odczytu i zadawania wielkości procesowych sterownika PLC, obrazowanie stanu zabezpieczeń, alarmowanie, tworzenie wykresów czasowych, czy w końcu realizację podstawowego raportowania. Dzięki integracji wszystkich stanowisk we wspólnej sieci komunikacyjnej zapewniono wysoką elastyczność całego systemu. Każdy panel HMI ma dostęp do dowolnego sterownika PLC, co umożliwia m.in. zdalne zarządzanie rozproszonymi strukturami sterowania i tworzenie układów nadrzędnych.

Ważnym uzupełnieniem kompetencji kształtowanych w laboratorium są zagadnienia komunikacji przemysłowej. Studenci mają możliwość praktycznej konfiguracji i testowania protokołów transmisji danych wykorzystywanych w systemach automatyki takich jak Modbus RTU, Modbus TCP-IP, easyProtocolV1, ProfiNet. Pozwala to na realizację ćwiczeń związanych z integracją urządzeń różnych producentów w ramach jednego układu sterowania lub linii technologicznej, co odzwierciedla realia współczesnych aplikacji przemysłowych. Szczególnie istotne są tu zagadnienia interoperacyjności, doboru odpowiednich warstw protokołów oraz diagnostyki błędów komunikacyjnych. Dzięki takiej infrastrukturze możliwe jest sterowanie oraz nadzór z dowolnego węzła sieciowego. Odzwierciedla to architekturę rozproszonych systemów sterowania stosowanych w układach Przemysłu 4.0.

W zakresie sterowania napędami elektrycznymi studenci zdobywają możliwość praktycznego przetestowania procedury parametryzacji przemiennika częstotliwości dla różnych trybów pracy. Możliwe jest także powielanie konfiguracji z użyciem dedykowanego modułu DXE-EXT-SET.

Infrastruktura laboratorium pozwala również na realizację zajęć dydaktycznych prowadzonych w formie projektów PBL (Project Based Learning) w ramach programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza prowadzonego na Politechnice Śląskiej. Taki sposób kształcenia studentów pozwala im na samodzielne rozwiązywanie aktualnych problemów technicznych, uczy krytycznego myślenia, współpracy w grupie z podziałem na zakresy odpowiedzialności za konkretne cele i zadania. Jest to metoda kształcenia, która cieszy się dużą popularnością wśród studentów. Jednym z przykładów projektu PBL zrealizowanego w oparciu o infrastrukturę laboratorium jest „Rozproszony system sterowania układami napędowymi dedykowany dla gniazd technologicznych w Przemyśle 4.0”. Wykorzystując środowisko TIA Portal i sterownik programowalny S7–1200. Studenci pod opieką pracowników uczelni opracowali bibliotekę, dzięki której możliwe jest zdalne sterowanie układem napędowym wyposażonym w falowniki serii DE1, synchronizowanie pracy kilku napędów oraz bogata diagnostyka, w tym również monitorowanie w czasie rzeczywistym stanu pracy całego układu napędowego oraz jego wizualizacja na panelu HMI [6].

Podsumowanie

Powstanie patronackiego laboratorium automatyki przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej stanowi modelowy przykład partnerskiej współpracy uczelni z przemysłem, ukierunkowanej na szybkie domykanie luki kompetencyjnej wskazanej w raporcie WEF 2025 [1] i przynoszącej wymierne korzyści wszystkim interesariuszom.

Najważniejszym beneficjentem są studenci, którzy dzięki pracy na nowoczesnych stanowiskach zdobywają umiejętności programowania sterowników PLC, integracji sieci przemysłowych, konfiguracji napędów oraz wizualizacji procesów, które są niezbędne w transformacji cyfrowej do Przemysłu 4.0. Dzięki szerokim możliwościom nowego laboratorium mogą oni łączyć wiedzę zdobytą na różnych przedmiotach i wykorzystywać ją do praktycznej realizacji szeroko rozumianego zautomatyzowanego sterowania obiektami o różnym stopniu złożoności.

Uczelnia zyskała zaawansowaną infrastrukturę dydaktyczno-badawczą, która zwiększyła atrakcyjność oferty dydaktycznej. Z kolei partner przemysłowy buduje swoją markę zapoznając przyszłych klientów i potencjalnych pracowników ze swoimi rozwiązaniami automatyki. Weryfikuje również swoje produkty w warunkach akademickich i pozyskuje eksperckie opinie kadry naukowej, wzmacniając tym samym przewagę technologiczną.

Podziękowania. Autorzy składają serdeczne podziękowania firmie Eaton Electric za nieocenione wsparcie merytoryczne i podzielenie się specjalistyczną wiedzą podczas tworzenia Laboratorium. Szczególną wdzięczność wyrażamy również za przekazanie nowoczesnego sprzętu, który znacząco podniósł jakość infrastruktury badawczej i dydaktycznej projektu.

Przyjęto: 13.08.2025, **zaakceptowano**: 19.08.2025,
opublikowano: 29.08.2025

LITERATURA

[1] The Future of Jobs Report 2025, Word Economic Forum, 7.01.2025. https://www.weforum.org/publications/the--future-of-jobs-report-2025/in-full/
[2] Dindorf R.: "Przemysł 4.0 – cyfrowa transformacja produkcji i jej implikacje", Zeszyty Naukowe Wydziału Ekonomii Uniwersytetu Rzeszowskiego 2020, nr 20 (4), pp. 48–56.
[3] Kościelniak B.: "Projektowanie stanowisk dydaktycznych w kontekście nauczania metodą PBL», Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrycznego 2022, nr 194, pp. 89–97.
[4] Stepan F., Marek J., Meyer D., Paanaen J., Hartner R.: «Poradnik projektanta. Zgodnie z normami IEC. Zakres niskonapięciowy», Eaton Industries GmbH, Wiedeń 2019.
[5] https://naszbiznes24.pl/nowoczesne-laboratorium--automatyki-przemyslowej-juz-otwarte.
[6] Bodzek K., Domoracki A., Papiernik P., Ponichtera J., Styra P., Brudny B., Jaros A.: «Rozproszony system sterowania bazujący na sterowniku Siemens S7–1200 i przemienniku częstotliwości Eaton DE1», Energetyka, problemy energetyki i gospodarki paliwowo-energetycznej, 2025, nr 4, s.269–275.