



# Przewodnik

Systemy cyfrowych bliźniaków dla kształcenia i szkolenia zawodowego

**ROK:**

2026

**ZREALIZOWAŁ:**

Learnable (IT)

Digital Smart srl (IT)

ETN Training Vision Ireland (IE),

University of Malaga (ES)

Málaga TechPark (ES)

Innovation Frontiers IKE (GR)

University of the National Education

Commission, Krakow (PL)





Systemy DiTwin dla systemu kształcenia i szkolenia zawodowego

DiTwin – cyfrowy bliźniak dla szkolnictwa branżowego

Przewodnik DiTwin

Redakcja niniejszego dokumentu została zakończona w styczniu 2026 r.

Strona internetowa projektu: <https://www.ditwin.eu/>

DiTwin to projekt partnerstwa w zakresie współpracy w sektorze kształcenia i szkolenia zawodowego (KA220-VET) finansowany w ramach programu Erasmus+.

Numer projektu: 2023-1-IT01-KA220-VET-000154611

Projekt finansowany przez Unię Europejską. Poglądy i opinie wyrażone w niniejszym dokumencie są jednak wyłącznie poglądami i opiniami autora (autorów) i nie muszą odzwierciedlać stanowiska Unii Europejskiej ani Agencji Narodowej Erasmus+ INAPP. Ani Unia Europejska, ani organ przyznający finansowanie nie ponoszą za nie odpowiedzialności.

Niniejszy dokument powstał dzięki współpracy wszystkich partnerów projektu DiTwin: Learnable Società Cooperativa a r.l. (IT) – koordynator projektu, Digital Smart srl (IT), ETN Training Vision Ireland (IR), Uniwersytet w Maladze (ES), Málaga TechPark (ES), Innovation Frontiers IKE (GR), Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie (PL).

Dokument jest objęty licencją Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International



## Treść

Wprowadzenie.....	p. 4
1. Wprowadzenie do technologii cyfrowych bliźniaków.....	p. 5
2. Znaczenie cyfrowych bliźniaków w kształceniu i szkoleniu zawodowym.....	p. 11
3. Strategie pedagogiczne nauczania z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków.....	p. 20
4. Konfiguracja działań opartych na cyfrowych bliźniakach w ramach zajęć: przewodnik krok po kroku po modułach DiTwin.....	p. 26
5. Studia przypadków i najlepsze praktyki.....	p. 32
6. Przyszłe trendy i możliwości kariery w dziedzinie cyfrowych bliźniaków.....	p. 39
Wnioski.....	p. 46

# Wprowadzenie

## **Przyszłość kształcenia i szkolenia w szkołach branżowych z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków**

W dobie szybkiego postępu technologicznego i transformacji cyfrowej niezbędna stała się umiejętność dostosowywania modeli edukacyjnych do zmieniających się potrzeb przemysłu. Technologia cyfrowych bliźniaków (DT), niegdyś stosowana głównie w inżynierii i produkcji, zyskuje dziś na znaczeniu w kształceniu i szkoleniu zawodowym (VET). Niniejszy podręcznik to kompleksowy, praktyczny przewodnik dla nauczycieli, trenerów i dyrektorów szkół, którzy chcą zrozumieć i wdrożyć nauczanie oparte na DT.

Cyfrowy bliźniak to wirtualna reprezentacja obiektu, procesu lub systemu istniejącego w świecie rzeczywistym, umożliwiająca monitorowanie, analizę i symulację w czasie rzeczywistym. Łączy dane ze świata fizycznego z ich cyfrowym odpowiednikiem za pomocą czujników, modeli i interfejsów, oferując nowe sposoby optymalizacji operacji. Dla nauczycieli i dostawców VET technologia ta to okazja do tworzenia realistycznych, interaktywnych i bezpiecznych środowisk nauki odzwierciedlających współczesny przemysł.

Podręcznik zawiera podstawowe informacje: definicję DT, opis ich działania, składniki i technologie. Następnie omawia ich znaczenie w edukacji zawodowej, zwłaszcza w wypełnianiu luki między wiedzą szkolną a praktyką przemysłową. W części o strategiach dydaktycznych i projektowaniu programów nauczania czytelnicy poznają sposoby angażowania uczniów poprzez zadania praktyczne, symulacje cyfrowe, pracę zespołową i nauczanie interdyscyplinarne.

Na podstawie pracy partnerów projektu z całej Europy podręcznik prezentuje również studia przypadków i przykłady udanej współpracy instytucji VET z przedsiębiorstwami przemysłu 4.0, podkreślając znaczenie wspólnie tworzonych programów i infrastruktury cyfrowej. Na koniec przedstawia prognozy trendów, możliwości kariery i ścieżek kształcenia ustawicznego, które pomogą uczniom i nauczycielom nadążyć za zmianami w świecie cyfrowym.

Celem przewodnika jest nie tylko przekazanie informacji, ale też inspiracja. Dzięki DT systemy VET mogą stać się bardziej elastyczne, powiązane z przemysłem i przygotowane do kształcenia kompetencji przyszłości.

# 1. Wprowadzenie do technologii cyfrowych bliźniaków

## 1.1 Przemysł 4.0 i cyfrowe bliźniaki

Rewolucja przemysłowa, która rozpoczęła się w XVIII wieku w Anglii, zdecydowanie zmieniła gospodarkę opartą na rzemiośle na gospodarkę opartą na produkcji zmechanizowanej. Wprowadzenie silnika parowego Jamesa Watta, wraz z innowacjami takimi jak napędzana wodą przędzarka Richarda Arkwrighta, zwiększyło zdolności produkcyjne i ugruntowało pozycję węgla jako podstawowego źródła energii. Zmiana ta nie tylko zwiększyła wydajność i ilość produkowanych towarów, ale także na nowo zdefiniowała relacje między człowiekiem a technologią, pokazując, że siła mechaniczna może znacznie przewyższać siłę fizyczną. Okres ten jest dziś uważany za pierwszą rewolucję przemysłową.

Energia elektryczna była wykorzystywana w przemyśle już pod koniec XIX i na początku XX wieku. Zmiana ta umożliwiła reorganizację pracy w zakładach produkcyjnych – duże wały mechaniczne zastąpiono pojedynczymi silnikami – co zwiększyło elastyczność i bezpieczeństwo pracy oraz poprawiło warunki oświetlenia w warsztatach. Z drugiej strony, wraz z wprowadzeniem modelu produkcji masowej, zapoczątkowanego przez Henry'ego Forda w modelu samochodu T, nastąpił rozwój produkcji na dużą skalę. Spowodowało to przyjęcie nowych modeli organizacyjnych, takich jak naukowe zarządzanie pracą i linia montażowa, które wprowadziły ścisły podział zadań i znormalizowanie komponentów. Postępy te radykalnie skróciły czas produkcji i obniżyły koszty jednostkowe, dzięki czemu towary, które wcześniej były zarezerwowane tylko dla nielicznych, stały się dostępne dla szerszej grupy odbiorców. W ten sposób nastąpiła druga rewolucja przemysłowa.

Kolejny znaczący rozwój nastąpił w latach 60. i 70. XX wieku. W okresie po II wojnie światowej nastąpiła konsolidacja technologii komputerowych, sterowania elektronicznego oraz automatyki, co doprowadziło do pojawienia się robotyki przemysłowej. Wprowadzenie komputerowego sterowania numerycznego (ang. computer numerical control, CNC) i programowalnych sterowników logicznych (ang. programmable logic controllers, PLC), a także pierwszych robotów przemysłowych – w szczególności „Unimate”, zainstalowanego w fabryce General Motors w 1961 r. – przekształciło linie produkcyjne z sztywnych systemów jednoproduktowych w elastyczne konfiguracje oparte na ogniwach robotycznych.

W ten sposób, poprzez proste przeprogramowanie oprzyrządowania i czujników oraz standaryzację narzędzi, jedna linia produkcyjna mogła wytwarzać kilka wariantów produktu lub wprowadzać modyfikacje projektowe w ciągu zaledwie kilku dni. Ten nowy paradygmat, znany jako „trzecia rewolucja przemysłowa”, wprowadził koncepcję elastycznych systemów produkcyjnych (ang. flexible manufacturing systems, FMS), położył podwaliny pod projektowanie wspomagane komputerowo i produkcję wspomaganą komputerowo (ang. computer-aided design i computer-aided manufacturing, CAD/CAM) oraz promował strategię lean production, takie jak na czas (ang. just-in-time), zdecydowanie zwiększając zdolność przemysłu do reagowania na stale zmieniające się potrzeby rynku.

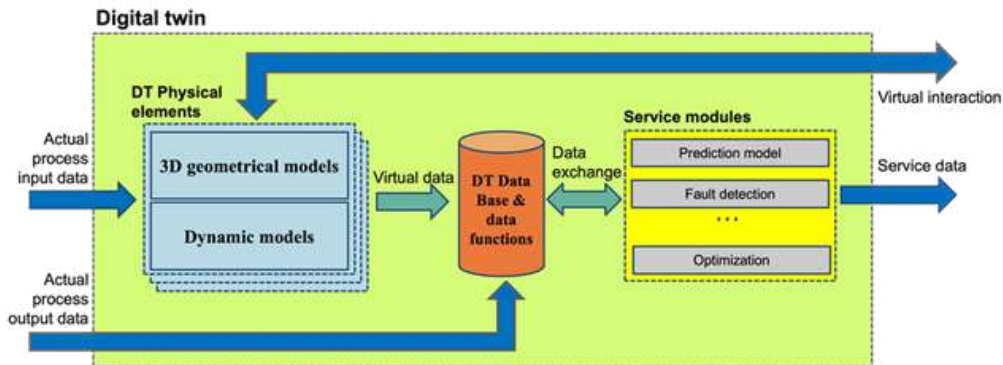
Obecnie jesteśmy świadkami tak zwanej „czwartej rewolucji przemysłowej” – lub „Przemysłu 4.0” – a niektórzy eksperci już nakreślają cechy zbliżającej się „piątej rewolucji przemysłowej”, która będzie charakteryzować się współpracą między ludźmi a maszynami oraz zrównoważonym rozwojem jako nadrzędną zasadą. Etap ten wyróżnia się kompleksową cyfryzacją całego łańcucha produkcji, od projektowania koncepcyjnego i inżynierii po produkcję, logistykę i obsługę posprzedażową. Należy zauważyć, że wszystkie te procesy są ze sobą powiązane i koordynowane przez jeden system zarządzania danymi. Konwergencja ta stała się możliwa dzięki takim technologiom, jak przetwarzanie w chmurze, sztuczna inteligencja, przemysłowy internet rzeczy (ang. industrial internet of things, IIoT), robotyka współpracująca i produkcja addytywna.

Oprócz tych technologii pojawia się również „cyfrowy bliźniak” – wirtualna replika elementów fizycznych, maszyn, robotów, linii produkcyjnych, a nawet całych fabryk. Dzięki danym przekazywanym w czasie rzeczywistym umożliwia on symulowanie scenariuszy, optymalizację wydajności oraz przewidywanie awarii, zanim jeszcze do nich dojdzie. Dzięki temu przemysł zyskuje nie tylko elastyczność i wydajność, ale także zamyka pętlę informacyjną między światem fizycznym a cyfrowym, tworząc podstawy dla odpornego, dostosowanego do potrzeb i w pełni zrównoważonego modelu produkcji.



## 1.2 Kluczowe komponenty cyfrowego bliźniaka.

Jak wspomniano wcześniej, cyfrowy bliźniak to wirtualna reprezentacja systemu fizycznego, zdolna do replikowania jego zachowania i dostarczania danych w czasie rzeczywistym, które odzwierciedlają jego aktualny stan. Te wirtualne dane wyjściowe są na bieżąco porównywane z danymi pochodzącymi z rzeczywistego obiektu będącego jego odpowiednikiem, co pozwala systemowi — za pomocą metod statystycznych lub sztucznej inteligencji — przewidywać przyszłą wydajność, wykrywać usterki i wspierać strategię konserwacji zapobiegawczej. Aby spełnić te funkcje, typowe funkcjonowanie cyfrowego bliźniaka zostało przedstawione na rysunku 1.



Rysunek 1. Funkcjonowanie cyfrowego bliźniaka.

Po lewej stronie diagramu przedstawiono wirtualną reprezentację systemu fizycznego (elementy fizyczne cyfrowego bliźniaka). Składa się ona z zestawu modeli geometrycznych 3D, odpowiedzialnych za uchwycenie morfologii systemu, oraz modeli dynamicznych, które symulują jego zachowanie operacyjne. Modele te otrzymują te same dane wejściowe, co rzeczywisty system, a po uruchomieniu generują wirtualne dane wyjściowe, które są kierowane do platformy danych cyfrowego bliźniaka (baza danych cyfrowego bliźniaka). Tam dane wirtualne są integrowane z pomiarami w czasie rzeczywistym pochodzącymi z procesu fizycznego — wskazanymi niebieską strzałką wejściową — stając się dostępne do dwukierunkowej interakcji z różnymi modułami usługowymi (takimi jak prognozowanie, wykrywanie usterek i optymalizacja). Moduły te przetwarzają i udoskonalają dane, generując dane usługowe, które służą do podejmowania decyzji taktycznych i strategicznych. Ponadto cyfrowy bliźniak może współpracować z innymi bliźniakami poprzez warstwę interakcji wirtualnej na górze, umożliwiając wspólną symulację dużych i złożonych systemów.

Rozważmy na przykład opracowanie cyfrowego bliźniaka ramienia robota. Wymaga to zintegrowania szczegółowych modeli 3D każdego ogniwa — od podstawy po chwytak — wraz z równaniami dynamicznymi sterującymi jego ruchem. Pojedyncze polecenie trajektorii jest synchronicznie przesyłane zarówno do fizycznego robota, jak i jego wirtualnego bliźniaka. Ten ostatni przeprowadza symulację i generuje wirtualne dane dotyczące pozycji chwytaka, momentów obrotowych silników, prądów elektrycznych i innych istotnych zmiennych stanu. Dane te są rejestrowane w bazie danych cyfrowego bliźniaka wraz z ich rzeczywistymi odpowiednikami z systemu fizycznego. Moduły serwisowe przeprowadzają analizy porównawcze, umożliwiając realizację kluczowych funkcji, takich jak wczesne wykrywanie anomalii, planowanie konserwacji predykcyjnej i optymalizacja strategii sterowania, a także wszelkie dodatkowe usługi specyficzne dla danego zastosowania.



### 1.3 Cyfrowy bliźniak i jego zastosowania.

Cyfrowy bliźniak stał się kluczowym narzędziem redukcji kosztów w przemyśle dzięki swojej podwójnej funkcji. Z jednej strony pełni rolę wirtualnego stanowiska testowego: umożliwia „modelowanie i symulację” kompletnych linii produkcyjnych – w tym przepływu materiałów, parametrów procesów i zużycia energii – dzięki czemu błędy projektowe są wykrywane i korygowane przed zainwestowaniem w infrastrukturę fizyczną. Z drugiej strony, po połączeniu w czasie rzeczywistym z fizycznym odpowiednikiem w ramach „systemu cyber-fizycznego”, cyfrowy bliźniak okazuje się nieoceniony w zakresie wczesnego wykrywania usterek, optymalizacji procesów produkcyjnych i konserwacji predykcyjnej opartej na sztucznej inteligencji. W rezultacie minimalizuje się przestoje, poprawia jakość produktów i wydłuża żywotność maszyn. Ponadto dane historyczne zasilają algorytmy ciągłego doskonalenia, szkolenia operatorów w środowiskach wirtualnej rzeczywistości, a także umożliwiają ocenę emisji dwutlenku węgla w całym cyklu życia produktu.

Sukces cyfrowych bliźniaków w przemyśle wytwórczym spowodował, że zaczęto je wykorzystywać w obszarach, dla których nie były pierwotnie przeznaczone. Doskonałym przykładem jest rolnictwo precyzyjne, gdzie cyfrowe bliźniaki gleb, upraw i infrastruktury umożliwiają szczegółowe modelowanie zmian zachodzących na działkach – zarówno na otwartych polach, jak i w zaawansowanych technologicznie szklarniach – oraz pozwalają na bardzo dokładne przewidywanie ich potrzeb. Dzięki integracji danych w czasie rzeczywistym z czujników wilgotności, stacji pogodowych, kamer hiperspektralnych i mobilnych robotów kontrolnych, bliźniaki te mogą przewidywać tempo wzrostu, stres wodny lub ryzyko fitosanitarne. W rezultacie zasoby takie jak woda, nawozy i środki ochrony roślin są stosowane dokładnie tam, gdzie są potrzebne i kiedy są potrzebne, co zmniejsza koszty i minimalizuje wpływ na środowisko. Ponadto, poprzez symulację scenariuszy klimatycznych i rynkowych, cyfrowe bliźniaki wspierają decyzje dotyczące siewu, usprawniają logistykę po zbiorach i umożliwiają prognozowanie plonów z kilkutygodniowym wyprzedzeniem. To podejście oparte na danych przekształca rolnictwo w inteligentny ekosystem cyber-fizyczny, w którym każdy hektar ma swoją wirtualną postać, która pomaga w podejmowaniu decyzji i optymalizacji zarówno wydajności, jak i zrównoważonego rozwoju. W ten sposób powstała również koncepcja Rolnictwa 4.0.

Sektor turystyczny również wykorzystuje technologię cyfrowych bliźniaków do wirtualnej reprodukcji rzeczywistych środowisk, torując drogę dla „turystyki 4.0”. Za pomocą dronów wyposażonych w czujniki LiDAR i kamery o wysokiej rozdzielczości można dokładnie odtworzyć struktury i stanowiska archeologiczne, takie jak bazyliki i fora starożytnego Rzymu, w postaci szczegółowych modeli 3D. Modele te nie tylko chronią dziedzictwo kulturowe, ale także umożliwiają wirtualną eksplorację bez ograniczeń wynikających z ukształtowania terenu lub degradacji spowodowanej masową turystyką. Ponadto cyfrowe bliźniaki są wykorzystywane w aplikacjach rzeczywistości rozszerzonej, nakładając historyczne grafiki lub przewodniki multimedialne na rzeczywiste zabytki i krajobrazy, jednocześnie zapewniając odwiedzającym opisy kontekstowe w czasie rzeczywistym, które wzbogacają doświadczenia kulturowe. Aby zapewnić jeszcze bardziej wciągające wrażenia, modele te można wdrożyć w środowiskach metaverse, gdzie przyszli podróżnicy będą mogli spacerować po wirtualnych replikach, wchodzić w interakcje z obiektami i awatarami, planować spersonalizowane trasy i oceniać dostępność przed podjęciem decyzji o podróży. Ma to dwie konsekwencje: po pierwsze, dywersyfikuje ofertę turystyczną, zapewniając hybrydowe doświadczenia fizyczno-cyfrowe; po drugie, generuje cenne dane na temat przepływów odwiedzających i wzorców użytkowania, które mogą pomóc w lepszym planowaniu przepustowości, ochronie dziedzictwa i zrównoważonym rozwoju miejscowości turystycznych.

W dziedzinie opieki zdrowotnej dzięki wykorzystaniu cyfrowych bliźniaków pojawiła się koncepcja „medycyny 4.0”. Najwcześniej technologia ta została zastosowana w chirurgii ortopedycznej i neurochirurgii, gdzie systemy nawigacji chirurgicznej wykorzystują szczegółowe repliki pacjentów w 3D, umożliwiając chirurgom symulację zabiegów przed ich wykonaniem. Na przykład w ortopedii dotknięta chorobą kość jest skrupulatnie rekonstruowana, co pozwala chirurgowi wirtualnie zaplanować ścieżki frezowania i wiercenia, aby zapewnić dokładne dopasowanie protezy. W neurochirurgii model 3D mózgu pacjenta pomaga określić najlepszy sposób dotarcia do zmiany chorobowej przy minimalnym uszkodzeniu ważnych struktur. Oprócz tych pionierskich technik cyfrowe bliźniaki są również wykorzystywane do planowania wycięcia guza z zachowaniem odpowiednich marginesów bezpieczeństwa oraz do przewidywania reakcji hemodynamicznej w czasie rzeczywistym podczas zabiegów naczyniowych, takich jak operacja tętniaka aorty, oraz zabiegów onkologicznych, takich jak wycięcie guza wątroby lub nerki.

Poza salą operacyjną farmakologia wykorzystuje cyfrowe bliźniaki oparte na danych do przewidywania farmakokinetyki i skutków ubocznych leków u określonych grup pacjentów. Bliźniaki te opierają się na modelach statystycznych opracowanych na podstawie historii klinicznej, danych genomowych i biomarkerów, które pozwalają na kategoryzację pacjentów i dostosowanie dawek w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Jednocześnie opracowywane są wieloskalowe cyfrowe bliźniaki – łączące dynamikę molekularną, fizjologię na poziomie narządów i dane z urządzeń noszonych na ciele – które mają przewidywać napady padaczkowe, arytmie i zaburzenia metaboliczne, zanim jeszcze wystąpią. Rezultatem jest cyberfizyczny ekosystem, w którym sala operacyjna, laboratorium i pacjent są ze sobą połączone, umożliwiając proaktywną, minimalnie inwazyjną i zorientowaną na pacjenta medycynę.



#### 1.4 Cyfrowe bliźniaki w edukacji.

Instytucje szkolnictwa wyższego wykorzystały potencjał cyfrowych bliźniaków, integrując je jako aktywne, kontekstualizowane narzędzia edukacyjne. Wirtualna replika maszyny, pilotażowej instalacji, a nawet całego laboratorium umożliwia studentom wypróbowanie procedur w środowisku bezpiecznym, eliminując ryzyko operacyjne i koszty związane z fizycznym sprzętem. W ramach nauczania opartego na problemach studenci mogą diagnozować usterki, dostosowywać parametry i natychmiast obserwować skutki swoich decyzji. Podejście to przyczynia się do zamknięcia cyklu teorii i praktyki, zapewniając głębsze i bardziej motywujące doświadczenie nauki.

Podejście to okazało się skuteczne zarówno w przypadku studiów inżynierii chemicznej, gdzie połączenie symulacji komputerowej i elementów grywalizacji usprawnia szkolenia online, jak i w szkoleniu personelu obsługi technicznej samolotów z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków silników turboodrzutowych. Podobnie wirtualne symulatory chirurgii laparoskopowej pozwalają przyszłym specjalistom doskonalić umiejętności psychomotoryczne i strategiczne bez narażania bezpieczeństwa pacjentów, a cyfrowe repliki inteligentnych sieci elektrycznych ułatwiają szkolenie operatorów w zakresie zarządzania krytycznymi scenariuszami. Podsumowując, cyfrowe bliźniaki tworzą elastyczny, dostępny i skalowalny system edukacyjny, który może promować doskonałość akademicką i rozwój umiejętności zawodowych w rygorystyczny i zrównoważony sposób.

## 2. Znaczenie cyfrowych bliźniaków w kształceniu i szkoleniu zawodowym

### 2.1 Dlaczego to ma znaczenie: potencjalny wpływ cyfrowych bliźniaków na przemysł 4.0 i przyszłą kadre pracowniczą.

#### 2.1.1.1 W przemyśle 4.0: siła napędowa wydajności i innowacji

##### Optymalizacja procesów

Cyfrowe bliźniaki umożliwiają monitorowanie zakładów, maszyn i całych systemów produkcyjnych w czasie rzeczywistym. Ta funkcja zapewnia kilka konkretnych korzyści. Po pierwsze, wspiera konserwację predykcyjną, pomagając ograniczyć awarie maszyn i zminimalizować przestoje. Po drugie, dzięki zaawansowanym symulacjom możliwe jest testowanie modyfikacji lub nowych produktów bez ponoszenia rzeczywistego ryzyka. Ponadto cyfrowe bliźniaki przyczyniają się do redukcji kosztów: według badania (Oliver Wyman (2016), Digital Twins: Identical, But Different, Insight report) ich zastosowanie może skrócić czas projektowania i rozwoju nawet o 25%, co prowadzi do oszczędności rzędu 10–15% całkowitych kosztów.

##### Integracja z innymi technologiami

Cyfrowe bliźniaki są bardzo wszechstronne i można je integrować z różnymi najnowocześniejszymi technologiami. W połączeniu z Internetem rzeczy (IoT) umożliwiają gromadzenie danych w czasie rzeczywistym z systemów fizycznych. Dzięki integracji ze sztuczną inteligencją (AI) wspierają analitykę predykcyjną i zautomatyzowane procesy decyzyjne. W połączeniu z Big Data umożliwiają zarządzanie i interpretację dużych ilości złożonych informacji. Ponadto integracja z systemami serwerowymi SCADA (ang. Supervisory Control and Data Acquisition) pomaga wypełnić lukę między danymi zebranymi ze środowiska fizycznego a ich cyfrową reprezentacją.

##### Współpraca i transparentność

Cyfrowe bliźniaki zapewniają wspólny, stale aktualizowany obraz całego cyklu życia produktu lub procesu. Ta wizualizacja usprawnia współpracę między różnymi zespołami i działami oraz ułatwia komunikację między dostawcami, producentami i klientami. W rezultacie procesy stają się bardziej przejrzyste, skoordynowane i dostosowane do warunków panujących w czasie rzeczywistym.

## **2.1.2 Dla przyszłych pracowników: umiejętności i możliwość zatrudnienia**

### **Wymagane nowe umiejętności**

Włączenie cyfrowych bliźniaków do środowisk przemysłowych zmienia zakres kompetencji wymaganych od profesjonalistów. Dzisiejsi pracownicy muszą umieć odczytywać i interpretować dane cyfrowe, takie jak pulpity nawigacyjne, wykresy i kluczowe wskaźniki wydajności (KPI), a także rozumieć informacje z czujników i systemów monitorowania oraz interpretować symulacje i scenariusze prognostyczne. Na przykład operator linii produkcyjnej powinien analizować dane o wibracjach i temperaturze silnika, by rozpoznać, kiedy konieczna jest jego konserwacja.

Oprócz umiejętności korzystania z danych specjaliści muszą obsługiwać interfejsy cyfrowe i środowiska wirtualne: korzystać z interfejsów człowiek-maszyna (HMI), poruszać się po trójwymiarowych modelach zakładów i swobodnie używać narzędzi rzeczywistości rozszerzonej i wirtualnej (AR/VR). Przykładowo pracownik techniczny może przeglądać wirtualną replikę obiektu, by zaplanować konserwację bez fizycznego dotarcia na miejsce.

Kolejną kluczową kompetencją jest cyfrowe rozwiązywanie problemów. Pracownicy muszą wykrywać nieprawidłowości za pomocą narzędzi cyfrowych, przeprowadzać symulacje w celu diagnozy oraz współpracować z zespołami technicznymi przy wdrażaniu rozwiązań. Na przykład konserwator może przetestować wymianę komponentu w cyfrowym bliźniaku, by ocenić wynik przed działaniami rzeczywistymi.

Niezbędna jest też głębsza znajomość cyfrowych procesów przemysłowych: zautomatyzowanych przepływów pracy, procedur opartych na oprogramowaniu i elastyczności działania w ramach połączonych systemów produkcyjnych. Na przykład operator logistyczny powinien wiedzieć, jak zmiany w cyfrowym bliźniaku magazynu wpływają na zapasy i ich zarządzanie.

Wreszcie kluczowa jest skuteczna współpraca cyfrowa i kontrola techniczna. Od profesjonalistów oczekuje się udostępniania danych między działami za pośrednictwem platform cyfrowych, efektywnej komunikacji z inżynierami, analitykami i programistami oraz udziału w decyzjach opartych na analizie danych. Przykładowo zespół produkcyjny może używać cyfrowego bliźniaka do koordynowania zmian i zapewnienia spójności działań wszystkich stron.

### **Immersyjne i praktyczne szkolenia**

Cyfrowe bliźniaki stanowią również potężne narzędzie edukacyjne i szkoleniowe. Tworzą realistyczne, interaktywne i pozbawione ryzyka środowiska edukacyjne, w których uczniowie mogą korzystać z wirtualnych systemów i bezpiecznie analizować złożone scenariusze. Takie praktyczne podejście pomaga im rozwijać nie tylko umiejętności techniczne, ale także kompetencje ogólne, takie jak rozwiązywanie problemów, krytyczne myślenie i współpraca cyfrowa — umiejętności niezbędne w nowoczesnym środowisku przemysłowym.

### **Możliwości zatrudnienia i zdolność adaptacji**

Szkolenia z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków znacznie zwiększają szanse studentów na zatrudnienie. Przygotowują ich do pracy w wysoce zautomatyzowanych i zaawansowanych technologicznie środowiskach, a także wyposażają w umiejętności potrzebne do podjęcia nowych ról w takich dziedzinach, jak inteligentna konserwacja, projektowanie cyfrowe i zarządzanie danymi przemysłowymi. Ich zdolność do dostosowania się do szybko zmieniających się miejsc pracy staje się cennym atutem w kontekście Przemysłu 4.0.



## 2.2 Wpływ na programy kształcenia i szkolenia zawodowego – jak cyfrowe bliźniaki mogą wpływać na szkolenia techniczne

### Zmiana tradycyjnego nauczania

Włączenie cyfrowych bliźniaków do kształcenia i szkolenia zawodowego (VET) stanowi znaczącą zmianę w stosunku do tradycyjnego nauczania opartego na teorii na rzecz bardziej empirycznej, immersyjnej i interaktywnej formy uczenia się. Zamiast biernego przyswajania informacji, uczniowie aktywnie uczestniczą w symulacjach odzwierciedlających rzeczywiste warunki przemysłowe. Mogą wchodzić w interakcje z wirtualnymi modelami zakładów, maszyn lub procesów produkcyjnych oraz badać złożone procesy produkcyjne w bezpiecznym środowisku. Takie praktyczne podejście nie tylko zwiększa motywację i zaangażowanie, ale także sprzyja większej odpowiedzialności za wyniki nauki. Ponadto wspiera współpracę między rówieśnikami i umożliwia bardziej zróżnicowane formy oceny.

### Indywidualne ścieżki szkoleniowe

Jedną z kluczowych zalet cyfrowych bliźniaków jest ich elastyczność, która pozwala na wysoce spersonalizowane podejście do nauki. Treści szkoleniowe można dostosować do aktualnego poziomu umiejętności ucznia, uwzględniając jednocześnie różne cele zawodowe. Umożliwia to oferowanie zróżnicowanych ścieżek nauki i integrację modułów interdyscyplinarnych, co sprzyja bardziej ukierunkowanej i dostosowanej do potrzeb edukacyjnej ścieżce każdego ucznia.

### Rozwój umiejętności operacyjnych i cyfrowych

Dzięki wykorzystaniu cyfrowych bliźniaków studenci nabywają szeroki zakres umiejętności operacyjnych i cyfrowych. Uczą się, jak odczytywać i interpretować dane z systemów cyfrowych, obsługiwać panele HMI (interfejs człowiek-maszyna), poruszać się w środowiskach 3D oraz współpracować w zespołach cyfrowych. Podejmowanie decyzji staje się kluczową kompetencją, ponieważ uczniowie wykorzystują symulacje do testowania różnych podejść i strategii. Doświadczenia te przygotowują ich do pracy w nowoczesnych, wysoce zautomatyzowanych miejscach pracy, gdzie interakcja z systemami cyber-fizycznymi jest rutyną. Jednocześnie rozwijają oni niezbędne umiejętności miękkie, takie jak rozwiązywanie problemów, krytyczne myślenie i skuteczna komunikacja, a także zapoznają się z wirtualnym środowiskiem pracy.

### **Kształcenie kontekstowe**

Cyfrowe bliźniaki oferują możliwości uczenia się w kontekście, umożliwiając studentom kontakt z wirtualnymi środowiskami, które ściśle odzwierciedlają rzeczywiste systemy przemysłowe. Dzięki temu uczniowie mogą zrozumieć, jak w praktyce działają złożone maszyny i procesy. Mogą obserwować natychmiastowe skutki modyfikacji lub błędów i uzyskać szersze, systemowe zrozumienie wzajemnych powiązań między procesami produkcyjnymi. Na przykład student mechatroniki może zaprogramować ramię robota i obserwować jego interakcję z wirtualną linią montażową, zdobywając cenne informacje bez żadnego fizycznego ryzyka.

### **Rozwój umiejętności operacyjnych i proceduralnych**

Wykorzystanie cyfrowych bliźniaków wspomaga również rozwój konkretnych umiejętności technicznych i proceduralnych. Studenci mogą ćwiczyć diagnostykę i przeglądy konserwacyjne, analizując dane z czujników i przeprowadzając symulacje. Uczą się kontrolować procesy poprzez dostosowywanie parametrów w środowisku wirtualnym i zdobywają praktyczne doświadczenie w zarządzaniu bezpieczeństwem, reagując na symulowane scenariusze awaryjne. Tego rodzaju praktyka bez ryzyka pomaga utrwalić kompetencje przed wejściem do rzeczywistego środowiska pracy. Na przykład uczniowie mogą symulować awarie sprzętu i planować interwencje konserwacyjne w całkowicie wirtualnej przestrzeni.

### **Zintegrowane umiejętności cyfrowe**

Oprócz wiedzy technicznej, cyfrowe bliźniaki pomagają studentom w nabywaniu przekrojowych umiejętności cyfrowych, które można wykorzystać w różnych sektorach. Obejmują one poruszanie się po interfejsach 3D i HMI, interpretowanie danych technicznych oraz korzystanie z oprogramowania do modelowania i symulacji. W praktycznych zastosowaniach, takich jak rolnictwo precyzyjne, studenci mogą na przykład korzystać z cyfrowych pulpituów nawigacyjnych do monitorowania i zarządzania procesami nawadniania i nawożenia, ucząc się w ten sposób stosowania narzędzi cyfrowych w rzeczywistych warunkach.

### **Trening dostosowany do indywidualnych potrzeb**

Cyfrowe bliźniaki wspierają adaptacyjne uczenie się, umożliwiając dostosowywanie treści edukacyjnych i ćwiczeń w czasie rzeczywistym. Ta elastyczność gwarantuje, że każdy uczeń podąża ścieżką dostosowaną do swoich aktualnych kompetencji, aspiracji zawodowych i wymagań technicznych w danej dziedzinie. Początkujący mogą zacząć od ćwiczeń z przewodnikiem, krok po kroku, a bardziej zaawansowani uczniowie mogą zmierzyć się ze złożonymi, otwartymi scenariuszami, które sprawdzają ich umiejętności rozwiązywania problemów i podejmowania decyzji.

## Ocena faktycznych umiejętności

Kolejną zaletą technologii Digital Twin jest możliwość przeprowadzania realistycznych i opartych na danych ocen. Nauczyciele mogą śledzić działania i rezultaty uczniów w ramach symulacji, co zapewnia obiektywną podstawę do oceny umiejętności technicznych. Oceny mogą mieć charakter formacyjny, zapewniając natychmiastową informację zwrotną, która pomaga w doskonaleniu umiejętności, oraz mogą być autentyczne, ponieważ odbywają się w środowiskach ściśle odwzorowujących rzeczywiste warunki. Na przykład nauczyciel może ocenić umiejętność ucznia w zakresie rozwiązywania symulowanych problemów technicznych w wirtualnym obiekcie, uzyskując jasny obraz jego gotowości do wykonywania zadań w miejscu pracy.



## 2.3 Wypełnianie luki w zakresie umiejętności: jak technologia cyfrowych bliźniaków może poprawić szanse na zatrudnienie

### Tworzenie powiązań między edukacją a przemysłem

Jednym z największych wyzwań w kształceniu technicznym i zawodowym jest utrzymująca się rozbieżność między umiejętnościami wymaganymi przez przemysł a tymi faktycznie nabywanymi przez uczniów podczas kształcenia. Cyfrowe bliźniaki stanowią potężne narzędzie pozwalające zniwelować tę lukę. Dzięki wiernemu odwzorowaniu rzeczywistych środowisk przemysłowych, maszyn i procesów przenoszą one miejsce pracy bezpośrednio do sali lekcyjnej. Dzięki temu uczniowie mogą zmierzyć się z realistycznymi scenariuszami w wirtualnym otoczeniu, zdobywając praktyczne doświadczenie nawet wtedy, gdy dostęp do skomplikowanego lub kosztownego sprzętu fizycznego jest ograniczony. W rezultacie szkolenia stają się bardziej dostosowane do aktualnych praktyk i technologii stosowanych w branży.

### Rozwój zaawansowanych umiejętności technicznych

Dzięki cyfrowym bliźniakom studenci mają możliwość rozwijania zaawansowanych umiejętności technicznych, które są coraz bardziej przydatne w nowoczesnym przemyśle. Zapoznają się z narzędziami cyfrowymi i interfejsami człowiek-maszyna (HMI) oraz uczą się odczytywać i interpretować dane z czujników i systemów Internetu rzeczy (ang. IoT). Ponadto zdobywają doświadczenie operacyjne, pracując na wirtualnych instalacjach symulujących rzeczywiste zadania, takie jak konserwacja, wykonywanie procedur kontroli jakości lub zarządzanie procesami logistycznymi, co pomaga im zdobyć kompetencje i pewność siebie przed wejściem na rynek pracy.

### **Nauczanie oparte na problemach**

Cyfrowe bliźniaki wspierają również podejście oparte na problemach, w którym studenci aktywnie angażują się w rozwiązywanie rzeczywistych wyzwań. Szkolenia mogą być zorganizowane wokół zadań takich jak diagnozowanie awarii, optymalizacja procesów produkcyjnych lub podejmowanie decyzji operacyjnych w odpowiedzi na symulowane zdarzenia. Można symulować krytyczne scenariusze, takie jak awarie systemu, sytuacje awaryjne lub zmiany zapotrzebowania produkcyjnego, aby sprawdzić reakcje i sposób rozumowania studentów. Metodologia ta zachęca do współpracy międzydyscyplinarnej, łącząc wiedzę z zakresu mechaniki, elektroniki, informatyki i logistyki oraz lepiej odzwierciedlając zintegrowany charakter współczesnych środowisk przemysłowych.

### **Dostosowanie do wymagań biznesowych**

W miarę jak firmy coraz częściej wdrażają technologie Przemysłu 4.0, poszukują specjalistów, którzy rozumieją złożone systemy cyfrowe i potrafią z nimi współpracować, szybko dostosowują się do nowych narzędzi i procesów oraz skutecznie działają w środowiskach opartych na współpracy, często o charakterze wirtualnym. Szkolenia oparte na technologii cyfrowych bliźniaków pomagają spełnić te oczekiwania, wyposażając studentów w biegłość technologiczną i elastyczność wymaganą w nowoczesnym miejscu pracy. W ten sposób edukacja staje się bardziej dostosowana do rzeczywistych potrzeb pracodawców, zwiększając szanse studentów na zatrudnienie i skracając czas potrzebny na szkolenie w miejscu pracy.



## **2.4 Strategie rozwoju synergii między systemem kształcenia i szkolenia zawodowego a Przemysłem 4.0**

Nadrzędnym celem jest stworzenie solidnego środowiska szkolenia branżowego, które będzie w stanie skutecznie reagować na wyzwania związane z transformacją cyfrową, przygotowując jednocześnie pracowników wyposażonych w umiejętności niezbędne w przyszłości. Wymaga to ponownego zdefiniowania relacji między edukacją a przemysłem oraz zacieśnienia współpracy poprzez wspólne wykorzystanie zasobów, wspólnie opracowane ścieżki kształcenia i innowacyjne środowiska szkoleniowe.

### **Wspólne tworzenie kursów szkoleniowych**

Jedną z najbardziej skutecznych strategii dostosowania edukacji do potrzeb rynku pracy jest wspólne opracowywanie programów nauczania przez szkoły i przedsiębiorstwa. Takie podejście oparte na współpracy gwarantuje, że treści szkoleniowe odzwierciedlają aktualne wymagania branży i postęp technologiczny. Umożliwia ono włączenie modułów poświęconych nowym technologiom, takim jak cyfrowe bliźniaki, internet rzeczy i sztuczna inteligencja, oraz zachęca do aktywnego udziału przedstawicieli biznesu w procesie nauczania. Ich wiedza specjalistyczna wnosi do sal lekcyjnych perspektywę świata rzeczywistego, wzbogacając dotychczasowe doświadczenia uczniów w procesie edukacji.

### **Laboratoria i środowiska symulowane**

Stworzenie laboratoriów technologicznych dostępnych zarówno dla szkół, jak i przedsiębiorstw stanowi kolejny istotny krok w kierunku zacieśnienia współpracy między edukacją a przemysłem. Wspólne przestrzenie umożliwiają uczniom kontakt z zaawansowanymi technologiami, takimi jak cyfrowe bliźniaki, robotyka i rzeczywistość rozszerzona, oraz zdobycie praktycznego doświadczenia w środowiskach symulacyjnych, które bardzo przypominają rzeczywiste warunki panujące w zakładach produkcyjnych. Takie doświadczenia nie tylko podnoszą kompetencje techniczne, ale także budują pewność siebie w poruszaniu się po cyfrowych przestrzeniach produkcyjnych.

### **Staże, praktyki zawodowe i dualne kształcenie zawodowe**

Możliwości uczenia się w miejscu pracy odgrywają kluczową rolę w rozwoju zawodowym. Programy takie jak staże, praktyki zawodowe i podwójne praktyki zawodowe zapewniają studentom bezpośredni kontakt z miejscem pracy, gdzie mogą wykorzystać swoje umiejętności w praktyce i uczyć się od doświadczonych profesjonalistów. Doświadczenia te mają również kluczowe znaczenie dla rozwoju niezbędnych umiejętności miękkich, takich jak samodzielność, komunikatywność i zdolność adaptacji. Ponadto projekty związane z rozwiązywaniem problemów realizowane podczas praktyk pomagają studentom wzmocnić umiejętność krytycznego myślenia i podejmowania decyzji w rzeczywistych sytuacjach.

### **Sieci lokalne i partnerstwa strategiczne**

Aby zwiększyć swoją zdolność do innowacji i reagowania na zmiany, szkoły coraz częściej dołączają do lokalnych sieci i nawiązują strategiczne partnerstwa z innymi instytucjami edukacyjnymi, przedsiębiorstwami i organami publicznymi.

Współpraca ta ułatwia dzielenie się zasobami, doświadczeniami i najlepszymi praktykami. Pozwala również nawiązać zorganizowany dialog z lokalną społecznością biznesową, dzięki czemu szkoły mogą nadążać za zmieniającymi się potrzebami branży. Ponadto udział w krajowych i europejskich programach finansowania, takich jak Erasmus+, Plan Krajowy na Rzecz Odbudowy i Odporności lub Cyfrowa Europa, może wspierać rozwój wspólnych inicjatyw i upowszechnianie skutecznych modeli.

### **Cyfrowe platformy współpracy**

Platformy cyfrowe stanowią potężne narzędzia służące koordynacji i zarządzaniu projektami edukacyjnymi, w których uczestniczy wiele zainteresowanych stron. Umożliwiają one szkołom i przedsiębiorstwom bardziej efektywną współpracę, śledzenie postępów uczniów i nabywanych przez nich umiejętności oraz dopasowywanie osób uczących się do odpowiednich ofert pracy. Przykłady obejmują portale internetowe służące zarządzaniu stażami, platformy służące organizowaniu i monitorowaniu działań w ramach inicjatywy „cyfrowy bliźniak” oraz wirtualne środowiska służące zdalnej nauce. Technologie te przyczyniają się do powstania bardziej zintegrowanego i dynamicznego środowiska edukacyjnego, w którym edukacja i przemysł współpracują na rzecz kształtowania przyszłej kadry pracowniczej.



### 3. Strategie pedagogiczne nauczania z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków

Cyfrowe bliźniaki to wirtualne reprezentacje systemów fizycznych w czasie rzeczywistym, oferujące wciągające, interaktywne i oparte na danych doświadczenia, które mogą zmienić sposób nauczania i uczenia się. W niniejszym przewodniku przedstawiamy kilka skutecznych strategii pedagogicznych służących integracji cyfrowych bliźniaków w kształceniu zawodowym w różnych kontekstach.

Poniżej przedstawiamy ich listę:

- Nauka przez doświadczenie (gdy wykorzystujemy cyfrowe bliźniaki do praktycznych doświadczeń opartych na symulacjach. Studenci mogą wchodzić w interakcje z bliźniakiem realnego systemu, aby badać związki przyczynowo-skutkowe i ćwiczyć rozwiązywanie problemów w czasie rzeczywistym. Podstawą pedagogiczną jest tutaj cykl uczenia się przez doświadczenie Kolba (konkretne doświadczenie → refleksyjna obserwacja → abstrakcyjna konceptualizacja → aktywne eksperymentowanie).
- Nauka oparta na dociekaniu (prowadzimy lekcje oparte na otwartych pytaniach i problemach, które uczniowie badają za pomocą cyfrowego bliźniaka. Na przykład uczniowie mogą zbadać, w jaki sposób zmiany są wdrażane w cyfrowym bliźniaku systemu HVAC. Promujemy tutaj naukowe rozumowanie, krytyczne myślenie i pogłębione zrozumienie).
- Uczenie się oparte na projektach (ang. Project-Based Learning, PBL) (prosimy uczniów o projektowanie, przeprowadzanie testów i powtarzanie rozwiązań przy użyciu cyfrowych bliźniaków w długoterminowych, wspólnych projektach. Studenci weterynarii mogą opracować i zoptymalizować niektóre procesy przy użyciu cyfrowego bliźniaka dzielnicy. Do wielokrotnego opracowywania możemy wykorzystać platformy współpracy i kontrolę wersji. Uczenie się oparte na problemach (w tym przypadku moglibyśmy przedstawić rzeczywiste problemy zamodelowane w środowisku cyfrowego bliźniaka. Możemy wykorzystać cyfrowy bliźniak placówki weterynaryjnej, aby zająć się problemami związanymi z zanieczyszczeniem. W tym przypadku moglibyśmy zachęcić do stosowania wiedzy interdyscyplinarnej w autentycznych kontekstach).

- Wsparcie i adaptacyjne uczenie się (w tym przypadku można stopniowo wprowadzać złożoność, korzystając z cyfrowych bliźniaków z wbudowaną analityką lub informacją zwrotną w czasie rzeczywistym. Można zacząć od podstawowych funkcji, a następnie dodawać warstwy danych (np. IoT, analityka predykcyjna) w miarę postępów osób uczących się.
- Refleksyjne uczenie się (w tej metodzie można zachęcić uczniów do refleksji nad swoimi działaniami w ramach wykorzystania technologii cyfrowych bliźniaków, analizując, co się sprawdziło, a co nie i dlaczego. Pomocne może być prowadzenie dzienników postępów w nauce lub stosowanie zestandaryzowanych pytań do podjęcia refleksji po przeprowadzonych symulacjach.
- Wspólna nauka (Możemy wykorzystać technologię cyfrowego bliźniaka w grupach, aby usprawnić komunikację, negocjacje i wspólne rozwiązywanie problemów. W wirtualnej fabryce cyfrowego bliźniaka uczniowie mogą wcielić się w różne role (np. operatora, inżyniera, kierownika) i zmierzyć się z wyzwaniami produkcyjnymi.
- Grywalizacja i motywacja (możemy dodać elementy gry, takie jak wyzwania, odznaki i tabele wyników w środowisku cyfrowych bliźniaków. Nagradzajcie skuteczne projekty systemów lub innowacyjne rozwiązania przy użyciu rzeczywistych wskaźników danych. Musimy zapewnić, aby mechanizm gry wspierał cele edukacyjne, a nie odwracała od nich uwagę.
- Integracja metody „odwróconej klasy” (możemy przydzielić interakcje cyfrowych bliźniaków jako zadanie przed lub po zajęciach, aby zmaksymalizować dyskusję i analizę podczas trwania zajęć lekcyjnych. Uczniowie podczas lekcji zapoznają się z cyfrowym bliźniakiem przedstawiającym sieć energetyczną, a następnie dyskutują na temat strategii zrównoważonego rozwoju w warsztatowej części lekcji).
- Ocena i informacja zwrotna (możemy wykorzystać dane z interakcji DiTwin do oceny wyników nauczania w czasie rzeczywistym. Możemy stosować dwa rodzaje oceny:
  - Formatywne: śledzenie decyzyjności użytkowników i przekazywanie informacji zwrotnych w czasie rzeczywistym,
  - Podsumowujące: ocena końcowej wydajności systemu lub raportów sporządzonych przez kursantów.

Ponadto w DiTwin możemy znaleźć praktyczne zadania, w ramach których uczniowie tworzą cyfrowe bliźniaki i wchodzą z nimi w interakcję. Zadania te są podzielone według poziomu umiejętności i dziedziny wiedzy. Promują one dogłębną naukę, rozwiązywanie problemów i umiejętności cyfrowe, powierzając uczniom aktywne role projektantów, analityków lub operatorów systemów cyfrowych.

Głównym celem jest tutaj zrozumienie koncepcji cyfrowego bliźniaka i podstawowych zasad interakcji z nim. Ważne jest również rozpoczęcie projektowania lub częściowego tworzenia cyfrowego bliźniaka oraz przeprowadzenie analizy i iteracyjnych ulepszeń. W tym przypadku mogłyby to być następujące zadania:

- zapoznaj się z gotowym cyfrowym bliźniakiem,
- modyfikuj parametry w bliźniaku,
- utwórz cyfrowego bliźniaka prostego obiektu fizycznego,
- symuluj i optymalizuj system fizyczny,
- zbuduj cyfrowego bliźniaka inteligentnego pomieszczenia lub laboratorium,
- zaprojektuj system konserwacji predykcyjnej.

Chcielibyśmy również zwrócić uwagę na ulepszenia międzyzadaniowe

- Dzienniki przemysłu: Uczniowie dokumentują swoje obserwacje, zmiany i wnioski wyciągnięte z interakcji z cyfrowymi bliźniakami.
- Wzajemna ocena: Zespoły oceniają modele bliźniaków innych zespołów pod kątem realistycznego wyglądu, użyteczności i skuteczności.
- Mini-hackathony: Zadania z limitem czasowym, w których uczniowie muszą rozwiązać problemy, korzystając z modeli bliźniaków lub modyfikując je.

Wykorzystanie cyfrowych bliźniaków do testowania procesów w środowiskach wirtualnych przed zastosowaniem ich w rzeczywistości jest jednym z najpotężniejszych i najbardziej praktycznych zastosowań tej technologii, zwłaszcza w edukacji, inżynierii, biznesie i projektowaniu systemów. Oto zestawienie informacji o tym, dlaczego jest to skuteczne i jak można to wdrożyć w nauczaniu lub szkoleniach.

Testowanie procesów w cyfrowym bliźniaku oznacza symulację przepływów pracy, systemów lub zachowań w środowisku cyfrowym odzwierciedlającym rzeczywiste warunki, przed ich fizycznym wdrożeniem lub uruchomieniem.

- Umożliwia bezpieczne przeprowadzanie prób i błędów, optymalizację oraz prognozowanie wyników.
- Powszechnie stosowane w inżynierii, produkcji, służbie zdrowia, planowaniu urbanistycznym i logistyce.

Dostarczanie materiałów online, takich jak filmy, symulacje i moduły interaktywne, przed sesjami praktycznymi w środowisku cyfrowego bliźniaka jest bardzo skuteczną strategią odwróconej klasy. Przygotowuje to uczniów pod względem poznawczym, dzięki czemu mogą oni bardziej zaangażować się w praktyczną fazę pracy z cyfrowym bliźniakiem.

Dlaczego warto korzystać z materiałów przed zajęciami z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków?

<b>Korzyści</b>	<b>Zakres wpływu</b>
Lepsze przygotowanie	Studenci rozpoczynają naukę z podstawową wiedzą i są gotowi do zastosowania nowych zagadnień w praktyce.
Maksymalizacja czasu pracy praktycznej	Mniej czasu poświęconego na wyjaśnienia, więcej czasu na eksperymenty.
Obsługa różnych stylów uczenia się	Korzyści odnoszą zarówno osoby uczące się wzrokowo (filmy), ruchowo (symulacje), jak i słuchowo (nagrania)
Lepsze wyniki w nauce	Utrwała wiedzę przez przygotowanie przed zajęciami i aktywne ćwiczenia.

Materiały online zalecane przed rozpoczęciem działań opartych na cyfrowych bliźniakach:

#### A) Filmy wprowadzające do zagadnienia

- Zawartość: Krótkie (5–10 min) objaśnienia kluczowych pojęć i procesów związanych z zagadnieniem DT.
- Przykładowe tematy:
  - Jak działa cyfrowy bliźniak
  - Przepływ danych z czujników i ich interpretacja
  - Przegląd modelowanego systemu (np. HVAC, turbina wiatrowa)

#### B) Przewodniki po symulacjach

- Zawartość: Interaktywne moduły lub nagrania ekranowe pokazujące, jak poruszać się po interfejsie DiTwin, dostosowywać zmienne i analizować wyniki.
- Narzędzia do wykorzystania:
  - Integracja z systemem LMS (np. Moodle, Canvas): osadzanie symulacji wraz z quizami.
  - H5P: interaktywne quizy wideo lub scenariusze gałęziowe.

#### C) Zadania przed zajęciami laboratoryjnymi

- Zawartość: Quizy lub arkusze ćwiczeń o niskiej trudności, które pozwolą uczniom na:
  - Zdobyć wiedzę na temat tego, co może symulować DiTwin,
  - Zrozumienie kluczowych zmiennych i elementów sterujących,
  - Zdobyć umiejętność interpretacji prostych wskaźników wydajności.
- Cel: Wykorzystanie dotychczasowej wiedzy i sprawdzenie stopnia zrozumienia czym jest Di Twin.

#### D) Model systemowy z adnotacjami lub pulpity nawigacyjne

- Zawartość: Zrzuty ekranu lub interaktywne podglądy systemu DT wraz z objaśnieniami.
- Cel: Zapoznanie studentów z komponentami i ich właściwościami przed przystąpieniem do testów praktycznych.

#### E) Filmy przedstawiające studia przypadków

- Zawartość: Krótkie filmy pokazujące, jak wykorzystuje się cyfrowe bliźniaki w przemyśle (np. inteligentne sieci energetyczne, konserwacja samolotów).
- Wynik: Zwiększenie trafności doboru przypadków i motywacji uczniów do działania

Zachęcanie do pracy zespołowej przy rozwiązywaniu realnych problemów w branży z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków sprzyja współpracy, krytycznemu myśleniu oraz gotowości do działania w świecie rzeczywistym. Cyfrowe bliźniaki stanowią idealną platformę do tego celu, ponieważ odzwierciedlają złożone systemy, czyli dokładnie takie problemy, z jakimi zespoły spotykają się w branży.

Dlaczego warto zastosować pracę zespołową w nauczaniu opartym na cyfrowych bliźniakach?

<b>Korzyści</b>	<b>Zakres wpływu</b>
Symuluje warunki przemysłowe	Większość projektów DiTwin realizowanych w rzeczywistości angażuje zespoły multidyscyplinarne.
Wspiera komunikację i współpracę	Członkowie zespołu muszą wspólnie podejmować decyzje, wykonywać zadania i interpretować dane
Poprawia zdolność rozwiązywania problemów	Zróżnicowane perspektywy prowadzą do bardziej innowacyjnych i realnych rozwiązań.
Rozwija umiejętności miękkie	Przywództwo, negocjacje, podział odpowiedzialności - wszystkie te cechy mają kluczowe znaczenie w miejscu pracy.

## 4. Konfiguracja działań opartych na cyfrowych bliźniakach w ramach zajęć: przewodnik krok po kroku po modułach DiTwin

### 4.1 Jak działa system

System opracowany przez partnerstwo DiTwin umożliwia praktyczną naukę opartą na pracy (WBL) na odległość poprzez zapewnienie trójwymiarowej symulacji rzeczywistego obiektu podłączonego do systemu. Otwiera to wiele możliwości, takich jak prosta obserwacja działania maszyny w rzeczywistych warunkach lub interakcja z podłączonymi maszynami za pośrednictwem symulacji i uzyskiwanie bezpośredniej informacji zwrotnej. System DiTwin opiera się na 3 głównych laboratoriach:

**Zdalne laboratorium produkcji addytywnej:** Laboratorium to łączy drukarkę 3D podłączoną do sieci z platformą DiTwin w celu wsparcia produkcji addytywnej i projektowania wspomagane komputerowo (CAD). Umożliwia użytkownikom przeprowadzanie wirtualnych symulacji procesów drukowania 3D. Dzięki temu systemowi użytkownicy mogą wysłać wygenerowany kod bezpośrednio do drukarki 3D i monitorować proces produkcji addytywnej w czasie rzeczywistym za pomocą kamery internetowej.

**Laboratorium zdalnej komórki automatycznej:** Laboratorium to wyposażone jest w komórkę automatyczną zbudowaną wokół ramienia robota typu cobot, wyposażonego w czujniki zbliżeniowe i przenośnik taśmowy. Wszystkie elementy są zarządzane za pomocą jednostki sterującej ramienia robota. Cyfrowy bliźniak tej komórki automatycznej replikuje wszystkie jej funkcje, umożliwiając studentom programowanie zadań w środowisku cyfrowego bliźniaka. Zadania te mogą być następnie wysyłane do fizycznej komórki automatycznej, a ich wykonywanie monitorowane w czasie rzeczywistym za pomocą kamery internetowej.

**Zdalne laboratorium do zarządzania procesami produkcyjnymi w środowisku Przemysłu 4.0:** Laboratorium to jest cyberfizyczną fabryką, zaprojektowaną tak, aby odzwierciedlać nowy paradygmat produkcji Przemysłu 4.0. Oferuje modułowy system inteligentnej fabryki do celów dydaktycznych i badawczych, zdolny do odtwarzania różnych konfiguracji zautomatyzowanych systemów stosowanych w Przemysłu 4.0.

System DiTwin może być używany przez szkoły i uczniów bez konieczności instalowania jakiegokolwiek specjalistycznego oprogramowania. Choć mogą być wymagane niektóre popularne oprogramowania (np. aplikacje do zdalnego pulpitu i aplikacje do wideokonferencji), użytkownicy mogą łączyć się za pośrednictwem platformy i bezpośrednio rejestrować utworzone lekcje.



## 4.2 Moduły

Użytkownicy mogą wybierać spośród trzech modułów, z różnymi lekcjami dla każdego modułu.

Moduły, które już zostały opracowane, obejmują trzy profile ram kompetencji DiTwin:

- Profil 1. Technik produkcji addytywnej
- Profil 4. Technik automatyki dla Przemysłu 4.0
- Profil 10. Technik maszyn sterowanych programowo dla Przemysłu 4.0

### **Profil 1. Technik produkcji addytywnej**

Technik produkcji addytywnej jest odpowiedzialny za sprawne działanie drukarek 3D, w tym za konfigurację, konserwację i naprawy sprzętu. Rozumie podstawy produkcji addytywnej, działanie różnych systemów i zalety każdej technologii. Do kluczowych zadań należy przygotowywanie i zarządzanie plikami do druku, zapewnienie zgodności z normami jakości, diagnozowanie i wykonywanie konserwacji oraz dobór odpowiednich materiałów drukarskich do konkretnych zastosowań. Zapewniają kontrolę jakości w całym procesie, od przygotowania systemu do wykonywania podstawowych zadań na drukarce 3D.

### **Profil 4. Technik automatyki dla Przemysłu 4.0**

Technik automatyki dla Przemysłu 4.0 jest odpowiedzialny za tworzenie, naprawę i konserwację podstawowych systemów automatyki w środowisku przemysłowym. Posiada dogłębną wiedzę z zakresu mechatroniki, automatyki, robotyki, elektrotechniki, elektroniki, pneumatyki i hydrauliki. Do jego zadań należy obsługa sterowników programowalnych (PLC), monitorowanie zautomatyzowanych systemów produkcyjnych, wykonywanie podstawowych napraw i konserwacji oraz instalacja systemów automatycznych. Posiada również umiejętności w zakresie opisywania wskaźników konserwacji i technik diagnostycznych w celu zapewnienia prawidłowego działania procesów automatycznych.

## **Profil 10. Technik maszyn sterowanych programowo dla Przemysłu 4.0**

Technik maszyn robotycznych dla przemysłu 4.0 jest odpowiedzialny za konfigurację, obsługę i konserwację maszyn automatycznych w środowisku przemysłowym. Posiada wiedzę na temat komponentów robotów, ich właściwości i zastosowań oraz potrafi rozróżnić roboty zaawansowane i współpracujące, w tym ich typy i różnice w stosunku do tradycyjnych robotów przemysłowych. Potrafi programować, konfigurować i monitorować przemysłowe ramiona robotyczne, wykonywać podstawowe czynności konserwacyjne oraz identyfikować zagrożenia i problemy związane z bezpieczeństwem podczas pracy robotów. Rozumieją również wskazania dotyczące konserwacji i techniki diagnostycznej, aby zapewnić optymalną wydajność robotów. Opracowane moduły są zgodne z profilami wymaganymi przez Przemysł 4.0 w krajach partnerskich, w tym we Włoszech, Hiszpanii, Irlandii, Grecji i Polsce.

Moduły DiTwin są oparte na technologii Digital Twin i replikują różne systemy techniczne lub maszyny związane z opisanymi wcześniej profilami. Moduły te koncentrują się na konkretnych efektach uczenia się związanych z nauką praktyczną i empiryczną, natomiast szersze efekty uczenia się związane z profilami są osiągnięte poprzez standardowy program nauczania.

W wielu przypadkach teoretyczne lub ogólne pojęcia omawiane podczas standardowych lekcji stanowią warunek wstępny do pracy z modułami DiTwin. Moduły te, które oferują praktyczne umiejętności obsługi maszyn związanych z różnymi profilami, mogą stanowić zwieńczenie ścieżki edukacyjnej, umożliwiając uczniom zastosowanie zdobytej wiedzy.

Nie oznacza to jednak, że moduły ograniczają się wyłącznie do zastosowań praktycznych. Systemy cyfrowych bliźniaków ułatwiają również obserwacje i działania, które pomagają rozwijać i utrwalać zarówno wiedzę teoretyczną, jak i podstawową związaną z wybranymi profilami.



### 4.3 Etapy użycia systemu DiTwin

System jest przeznaczony do użytku przez użytkowników pod nadzorem doświadczonego nauczyciela, aby uniknąć uszkodzeń laboratoriów w wyniku nieprawidłowego użytkowania sprzętu. System można używać, wykonując następujące czynności:

1. Pierwszy krok to zalogowanie się na platformę DiTwin ([www.ditwin.eu/ditwin-platform-2/](http://www.ditwin.eu/ditwin-platform-2/)) dostępną na stronie internetowej DiTwin ([www.ditwin.eu](http://www.ditwin.eu)). Dostęp jest darmowy i otwarty.

2. Na platformie DiTwin użytkownik wybiera jeden z dostępnych modułów. Po kliknięciu przycisku „przejdź do modułu” wyświetla się krótki opis modułu oraz przygotowane scenariusze lekcji. Nauczyciele zapoznają się z możliwymi do wdrożenia działaniami edukacyjnymi, oceniając, w jakim stopniu można je dostosować do swoich celów nauczania i programów nauczania.

3. Na końcu strony modułu znajduje się formularz rezerwacji. Nauczyciel powinien wypełnić wymagane pola i wskazać konkretną lekcję oraz termin, w którym chciałby odbyć sesję edukacyjną. Po przesłaniu formularza wiadomość zostanie wysłana do konkretnego laboratorium, które zapewnia szkolenia z wybranego modułu, a użytkownik otrzyma automatyczną wiadomość e-mail z potwierdzeniem.

4. Następnie pracownicy laboratorium wysyłają wiadomość e-mail w celu zaplanowania działania i ustalenia dokładnej daty. Na tym etapie nauczyciele zostaną poinformowani o niezbędnych narzędziach służących do komunikacji, które będą wykorzystywane przez pracowników laboratorium i umożliwiają połączenie z systemem Di Twin. Narzędzia wykorzystywane w ramach projektu są bezpłatne.

5. Na tym etapie, odpowiedzialny personel przygotował laboratorium wraz z niezbędnymi materiałami i można przystąpić do sesji.

Aby uzyskać kompleksowy przegląd całego procesu, można skorzystać z instrukcji wideo opracowanej i opublikowanej przez partnerstwo DiTwin na stronie internetowej projektu DiTwin pod adresem [www.ditwin.eu](http://www.ditwin.eu).



#### 4.4 Strategie i polityki integracji działań opartych na technologii cyfrowych bliźniaków w szkole

Aby skutecznie wdrożyć działania oparte na technologii cyfrowych bliźniaków, szkoły branżowe powinny stosować wielowymiarową strategię opartą na następujących filarach:

##### **Włączenie do dotychczasowych programów nauczania**

Aby włączyć działania oparte na cyfrowych bliźniakach do programów kształcenia zawodowego, należy rozpocząć od efektów uczenia się.

Pierwszym krokiem jest określenie potencjalnych efektów uczenia się (kompetencji, wiedzy i umiejętności) zapewnianych przez system cyfrowego bliźniaka. Każdy cyfrowy bliźniak pozwala użytkownikom osiągnąć określone efekty uczenia się związane z symulowaną maszyną.

Po uzyskaniu ogólnego obrazu potencjalnych efektów uczenia się, które można osiągnąć, należy przyporządkować je do różnych przedmiotów szkolnych i programów nauczania. W ten sposób będzie można zrozumieć, który przedmiot mógłby potencjalnie skorzystać z cyfrowego bliźniaka i jakie mogą być związane z tym efekty uczenia się.

Teraz możesz zaplanować projekt oparty na cyfrowym bliźniaku dla jednego lub więcej przedmiotów, który pozwoli oddzielnie ocenić osiągnięcie określonych efektów kształcenia.

##### **Metodyka nauczania**

Wartością dodaną technologii cyfrowych bliźniaków jest możliwość opracowywania zajęć opartych na doświadczeniu bez konieczności posiadania prawdziwych maszyn w szkole. Biorąc pod uwagę, że nauka oparta na doświadczeniu stanowi podstawę działań edukacyjnych, które można wdrożyć w dziedzinie cyfrowych bliźniaków, skutecznym podejściem pedagogicznym jest nauczanie oparte na projektach (PBL). W tym modelu uczniowie pracują nad rzeczywistymi lub symulowanymi projektami, w ramach których projektują, testują i optymalizują cyfrowe repliki rzeczywistych systemów. Pozwala to nie tylko poszerzyć wiedzę techniczną, ale także rozwija umiejętności rozwiązywania problemów, kreatywność i pracę zespołową. Ponadto kluczowe znaczenie ma wprowadzanie innowacyjnych metod oceny. Tradycyjne testy mogą nie odzwierciedlać w pełni poziomu zrozumienia przez uczniów tych złożonych zagadnień. Zamiast tego, dzięki platformom cyfrowych bliźniaków, uczniowie mogą być oceniani na podstawie symulacji w czasie rzeczywistym i praktycznych zadań odzwierciedlających realne warunki pracy w przemyśle.

## Szkolenia dla nauczycieli i rozwój zawodowy

Nauczyciele odgrywają kluczową rolę w każdej innowacji edukacyjnej, a ich ciągły rozwój zawodowy musi być priorytetem. Szkoły powinny zapewnić programy podnoszenia kwalifikacji cyfrowych, które obejmują platformy Digital Twin, oprogramowanie symulacyjne oraz szerszy ekosystem technologii Przemysłu 4.0.

Aby utrzymać ten wzrost, warto wspierać sieci współpracy, w ramach których nauczyciele mogą dzielić się zasobami, wspólnie opracowywać scenariusze oparte na cyfrowych bliźniakach i uczyć się na podstawie swoich wzajemnych doświadczeń. Takie społeczności praktyków pomagają tworzyć kulturę innowacji i wzajemnego wsparcia. Ponadto zapewnienie nauczycielom możliwości odbycia stażu w branży, np. w formie krótkich praktyk lub projektów realizowanych we współpracy z firmami korzystającymi z systemów cyfrowych bliźniaków, pozwala im zdobyć wiedzę z pierwszej ręki i przełożyć ją na odpowiednie i aktualne strategie nauczania.

## Zarządzanie instytucjonalne i przywództwo

Pomyślne wdrożenie technologii cyfrowych bliźniaków zależy również od przyszłościowego zarządzania. Kierownictwo szkoły musi włączyć integrację DT do planowania strategicznego instytucji, dostosowując ją do szerszych celów transformacji cyfrowej i innowacji.

Obejmuje to staranne przydzielanie zasobów – zarówno budżetowych, jak i kadrowych. Do utrzymania infrastruktury, aktualizacji narzędzi i wsparcia nowych modeli nauczania potrzebne są dedykowane fundusze i personel.

Wreszcie, zarządzanie tą zmianą wymaga silnego przywództwa wewnątrz organizacji. Szkoły powinny wyznaczyć liderów cyfryzacji lub koordynatorów ds. innowacji, którzy będą odpowiedzialni za kierowanie procesem wdrażania, motywowanie pracowników oraz monitorowanie i ocenę postępów w czasie.

## 5. Studia przypadków i najlepsze praktyki

W niniejszym rozdziale przedstawiono konkretne przykłady skutecznego wdrażania technologii cyfrowych bliźniaków w kształceniu i szkoleniu zawodowym (VET) w całej Europie. Na podstawie studiów przypadków z krajów partnerskich i innych kontekstów europejskich wskazano innowacyjne podejścia do nauczania i uczenia się poprzez immersyjne symulacje oparte na danych. Szczególną uwagę poświęcono projektom współpracy między instytucjami VET a podmiotami zainteresowanymi przemysłem 4.0, w których kluczową rolę odegrały wspólnie opracowane ścieżki edukacyjne i wspólne platformy cyfrowe. Partnerstwa te nie tylko zwiększają znaczenie kształcenia zawodowego, ale także zapewniają uczniom nabycie praktycznych i cyfrowych umiejętności wymaganych na dzisiejszym rynku pracy. Poprzez analizę różnych modeli wdrożenia, niniejszy rozdział ma na celu zidentyfikowanie skutecznych strategii, wskazanie praktyk, które można przenieść na inne obszary, oraz przedstawienie inspirujących przykładów dalszych innowacji w wykorzystaniu cyfrowych bliźniaków w edukacji i rozwoju kadr.

### 5.1 Cyfrowy bliźniak w kształceniu i szkoleniu zawodowym

#### **Cyfrowy bliźniak w inteligentnej produkcji**

W trakcie realizacji (2023–2026)

Kompleksowy program szkoleniowy dotyczący technologii cyfrowych bliźniaków, obejmujący laboratoria i praktyczne narzędzia dla uczniów szkół zawodowych w Bułgarii, Grecji, Włoszech, Hiszpanii i Szwecji.

**Region:** Europa

**Typ finansowania:** Fundusze EU

**Link:** <https://digitaltwinproject.eu>

#### **Główne wyniki:**

- 450-godzinny kurs poświęcony technologiom cyfrowych bliźniaków.
- Wskaźnik umiejętności w zakresie cyfrowych bliźniaków i narzędzie do samooceny.
- Laboratoria Digital Twin do praktycznej nauki.

**Cyfrowe bliźniaki na rzecz zrównoważonego rozwoju**

Zakończone (2021–2023)

Inicjatywa skupiająca się na wykorzystaniu technologii Digital Twin do promowania zrównoważonego rozwoju, obejmująca studia przypadków dotyczące oczyszczania ścieków i drukowania 3D w kilku krajach europejskich, w tym w Irlandii, Włoszech i Hiszpanii.

**Region:** Europa**Typ finansowania:** Fundusze EU**Link:** <https://digital4sustainability.eu>**Główne wyniki:**

- Krótki kurs na temat zastosowań cyfrowych bliźniaków w zrównoważonym rozwoju.
- Wielojęzyczne treści online dla małych i średnich przedsiębiorstw oraz osób uczących się.

**Śródziemnomorska sieć cyfrowych bliźniaków dla ekstremalnych zjawisk klimatycznych**

W trakcie realizacji (2023–2026)

Projekt MeDiTwin koncentruje się na tworzeniu modeli cyfrowych bliźniaków dla ekstremalnych warunków klimatycznych w regionie Morza Śródziemnego, promując wymianę naukową i letnie szkoły.

**Region:** Europa**Typ finansowania:** Fundusze EU**Link:** <https://meditwin-project.eu>**Główne wyniki:**

- Opracowanie modeli klimatycznych dla regionu Morza Śródziemnego. Organizacja letnich szkół i wymian naukowych.

**Cyfrowe bliźniaki: budowa własnego wirtualnego laboratorium**

W trakcie realizacji (od 2022)

Projekt umożliwiający studentom z Kraju Basków projektowanie i symulowanie systemów sterowania oraz automatyki przemysłowej z wykorzystaniem technologii Digital Twin.

**Państwo:** Hiszpania

**Typ finansowania:** Publiczny

**Link:** <https://arrivet.org/index.php/arrivet/article/view/18>

**Główne wyniki:**

- Wirtualne uruchomienie w celu skrócenia czasu wdrożenia.
- Szkolenie nauczycieli w zakresie wirtualnych systemów przemysłowych.

**Projekt „Cyfrowy bliźniak bioróżnorodności” (BioDT)**

W trakcie realizacji (od 2022)

Projekt mający na celu badanie złożonej dynamiki różnorodności biologicznej poprzez praktyczne zastosowania, dostarczając ważnych informacji i narzędzi dla działań związanych z ochroną i odbudową przyrody.

**Region:** Europa

**Typ finansowania:** fundusze UE

**Link:** <https://biodt.eu/>

**Główne wyniki:**

- Szkoła BioDT
- Prototyp cyfrowego bliźniaka bioróżnorodności

**Polski projekt „Cyfrowy bliźniak w edukacji”**

W trakcie realizacji (2023–2025)

Project aimed at creating Digital Twin training modules and integrating them into Polish VET curricula.

**Państwo:** Polska

**Typ finansowania:** Publiczne

**Link:** [www.digitaleducation.pl](http://www.digitaleducation.pl)

**Główne wyniki:**

- Opracowanie modułów szkoleniowych dotyczących cyfrowych bliźniaków.
- Włączenie symulacji w czasie rzeczywistym do edukacji.

**Symulator oparty na kształceniu i szkoleniu zawodowym**

W trakcie realizacji (2024–2026)

Projekt badawczy analizuje, w jaki sposób kształcenie zawodowe na poziomie szkoły średniej II stopnia może przygotować uczniów do przyszłego zawodu charakteryzującego się szybkim rozwojem technologicznym, wymogami zrównoważonego rozwoju i innowacyjnością.

**Państwo:** Szwecja

**Typ :** Publiczny

**Link:** <https://www.gu.se/en/research/simulator-based-teaching-and-learning-in-vocational-education>

**Główne wyniki:**

- Cyfrowe symulatory jazdy
- Rozwój metod nauczania w branży kształtowanej przez wymagania dotyczące zrównoważonego rozwoju, innowacji i szybkiego rozwoju technologicznego.



## 5.2 Współpraca branżowa

Przykłady współpracy między przemysłem 4.0 a szkołami kształcenia i szkolenia zawodowego w zakresie opracowywania ścieżek szkoleniowych obejmują wspólne opracowywanie projektów dotyczących cyfrowych bliźniaków.

Włączenie technologii cyfrowych bliźniaków (DT) do kształcenia zawodowego stanowi kluczowy krok w dostosowaniu edukacji do wymagań Przemysłu 4.0. W całej Europie instytucje kształcenia i szkolenia zawodowego (VET) rozpoczynają współpracę z podmiotami przemysłowymi w celu wspólnego opracowania ścieżek szkoleniowych, które uwzględniają rzeczywiste zastosowania DT w programach nauczania. Współpraca ta pomaga rozwiązać problem niedopasowania umiejętności, sprzyja uczeniu się w miejscu pracy i zapewnia adekwatność kształcenia zawodowego w szybko cyfryzującym się środowisku przemysłowym.

### Siemens i inicjatywa dydaktyczna

**Państwo:** Niemcy

**Projekt:** Partnerstwo Siemens w zakresie edukacji technicznej z ośrodkami kształcenia i szkolenia zawodowego

Siemens AG współpracuje z kilkoma niemieckimi szkołami zawodowymi poprzez swoją Siemens Technik Akademie, żeby wprowadzić technologie Digital Twin do szkoleń technicznych. Ta inicjatywa łączy wirtualne symulacje z prawdziwymi liniami produkcyjnymi, korzystając z platform firmy Siemens (np. NX, Teamcenter).

**Link:** [https://www.imove-germany.de/en/all\\_providers\\_from\\_a\\_z.htm?&p=/output/detail/pid/482](https://www.imove-germany.de/en/all_providers_from_a_z.htm?&p=/output/detail/pid/482)

#### Wyniki:

- Uczniowie symulują cykl życia maszyny przed przystąpieniem do pracy z fizycznymi komponentami.
- Włączenie DT do szkolenia techników mechatroniki i automatyki.
- Silny nacisk na konserwację predykcyjną i systemy cyber-fizyczne.

**Tknika i lokalny przemysł w Kraju Basków****Państwo:** Hiszpania**Projekt:** Zaawansowane laboratorium produkcyjne Tknika

Tknika, baskijskie centrum innowacji w dziedzinie kształcenia i szkolenia zawodowego, współpracuje z regionalnymi producentami (np. Danobat Group) w celu opracowania modułów szkoleniowych, w ramach których studenci pracują nad modelami cyfrowych bliźniaków obrabiarek. Inicjatywa obejmuje gromadzenie i analizę danych w czasie rzeczywistym, wspieranych przez platformy IoT.

**Link:** <https://tknika.eus/en/cont/lcamp-the-centre-of-vocational-excellence-in-advanced-manufacturing-kicks-off/>**Wyniki:**

- Szkolenie interdyscyplinarne łączące umiejętności z zakresu mechaniki, elektryki i informatyki.
- Szkolenie DT powiązane z rzeczywistymi danymi produkcyjnymi i zachowaniem maszyn.
- Dostosowanie do regionalnych strategii inteligentnej specjalizacji.

**Centrum Kompetencji MADE i ITS Lombardia Meccatronica****Państwo:** Włochy**Projekt:** Cyfrowy bliźniak w inteligentnych ścieżkach produkcji

MADE, krajowe centrum kompetencji Przemysłu 4.0 w Mediolanie, współpracuje z ITS Lombardia Meccatronica w celu wspólnego tworzenia doświadczeń edukacyjnych opartych na symulacjach Digital Twin. Szkolenia obejmują cyfrowe modelowanie procesów inteligentnej fabryki, wirtualne uruchomienie i integrację z systemami ERP.

**Link:** <https://www.made-cc.eu/en/>**Wyniki:**

- Wspólne opracowywanie programów nauczania przez inżynierów przemysłowych i trenerów kształcenia i szkolenia zawodowego.
- Wykorzystanie DT do planowania powierzchni produkcyjnej i systemów robotyki.
- Studenci realizują moduły podwójnego kształcenia we współpracy z partnerami biznesowymi.

**VET-Keskus i Laboratoria Przemysł 4.0**

Panstwo: Finlandia

**Projekt:** Nauczanie oparte na symulacjach w kształceniu i szkoleniu zawodowym w zakresie przemysłowego Internetu rzeczy

Centrum kształcenia zawodowego VET-Keskus w mieście Tampere współpracuje z twórcami oprogramowania i fabrykami w celu wdrożenia platform Digital Twin w swoich laboratoriach szkoleniowych. Główny nacisk kładziony jest na przemysł przetwórczy i przemysłowy Internet rzeczy (IoT).

**Wyniki:**

- Modułowe kursy dotyczące cyfrowego sterowania procesami, symulacji i diagnostyki.
- Udział w projektach UE, takich jak Digital VET 4.0 i DigiPro.
- Nauczyciele przeszkoleni w zakresie sprawnego wdrażania oprogramowania do zastosowań przemysłowych.

**Brainport Eindhoven: Cyfrowa fabryka szkoleniowa Digital Twin**

Państwo: Holandia

**Projekt:** Kampus jest miejscem współpracy między firmami z branży zaawansowanych technologii a Summa College (szkołą zawodową), działając skutecznie jako „fabryka edukacyjna”.

**Link:** <https://www.brainportindustriescampus.com/en/>

**Wynik:**

- Zintegrowane środowisko szkoleniowe dotyczące rozwiązań opartych na cyfrowych bliźniakach.
- Współpraca między instytucjami kształcenia i szkolenia zawodowego a przemysłem w obszarach Internetu rzeczy, robotyki i analizy danych, z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków łączących te tematy w praktyczne projekty.

Przykłady te pokazują, w jaki sposób wspólne opracowywanie ścieżek szkoleniowych przez instytucje kształcenia i szkolenia zawodowego oraz podmioty branżowe zwiększa znaczenie i skuteczność kształcenia zawodowego w Europie. Dzięki włączeniu technologii cyfrowych bliźniaków do programów nauczania uczniowie zdobywają praktyczne doświadczenie w zakresie narzędzi i metod kształtujących przyszłość pracy. Takie partnerstwa sprzyjają elastycznej edukacji opartej na umiejętnościach, dostosowanej do regionalnych ekosystemów innowacji.

## 6. Przyszłe trendy i możliwości kariery w dziedzinie cyfrowych bliźniaków

### 6.1 Najnowsze trendy w technologii cyfrowych bliźniaków

Wdrażanie technologii cyfrowych bliźniaków (DT) dynamicznie rozwija się w sektorach takich jak produkcja, opieka zdrowotna, inteligentne miasta i motoryzacja. Firmy inwestują w DT, by optymalizować procesy, przewidywać awarie, usprawniać konserwację i podejmować trafniejsze decyzje. Zastosowanie DT umożliwia analizę danych w czasie rzeczywistym, co poprawia zarządzanie zasobami i przewidywanie problemów.

#### Kluczowe trendy

- Integracja ze sztuczną inteligencją (AI): DT stają się bardziej autonomiczne dzięki modelom predykcyjnym i inteligentnym symulacjom, co umożliwia precyzyjne zarządzanie i szybsze reagowanie.
- Zrównoważony rozwój i inteligentne fabryki: ok. 57% organizacji inwestuje w DT, by zwiększać zrównoważenie działań. Monitorując zużycie energii, redukując odpady i minimalizując wpływ środowiskowy, DT wspierają ekologiczniejszą produkcję.
- Rozwój Internetu rzeczy (IoT) i zdalnego monitorowania: Integracja DT z czujnikami i urządzeniami IoT umożliwia zaawansowane zdalne monitorowanie i zarządzanie w czasie rzeczywistym.
- Przetwarzanie w chmurze i na obrzeżach sieci: Platformy chmurowe, takie jak AWS IoT TwinMaker i Azure Digital Twins, pozwalają efektywnie zarządzać danymi i skalować działalność. Architektura ta wspiera elastyczne zarządzanie złożonymi systemami DT.
- W kierunku rozszerzonej rzeczywistości (XR): DT coraz częściej łączą się z Wirtualną rzeczywistością (VR) i Rzeczywistością rozszerzoną (AR), tworząc immersyjne doświadczenia dla projektowania, symulacji i szkoleń.
- Digital Twin as a Service (DTaaS): Ten model udostępnia DT także MŚP, eliminując potrzebę kosztownej infrastruktury i ułatwiając wdrożenie technologii.

- Interoperacyjność i standardy: Rosnąca popularność DT sprzyja tworzeniu sojuszy (np. Digital Twin Consortium, OPC Foundation, inicjatywy Industry 4.0) mających na celu wspólne standardy i integrację systemów DT.

Wraz z rosnącą popularnością cyfrowych bliźniaków (DT) pojawiają się nie tylko nowe role zawodowe, ale także te istniejące przechodzą znaczącą transformację. Zarządzanie i wdrażanie DT wymaga coraz szerszego i multidyscyplinarnego zestawu umiejętności skupionych na systemach wirtualnych, zaawansowanych symulacjach, analizie danych i sztucznej inteligencji. W tym kontekście nowe zawody stają się kluczowe dla sprostania wyzwaniom technologicznym i wspierania firm we wdrażaniu tych innowacyjnych technologii.



## 6.2 Przyszłe zawody

- Inżynier ds. cyfrowych bliźniaków: Osoba na tym stanowisku jest odpowiedzialna za projektowanie, opracowywanie i utrzymywanie złożonych modeli cyfrowych reprezentujących zakłady lub procesy. Dba o to, aby modele były dokładne i aktualizowane w czasie rzeczywistym, wiernie odzwierciedlając warunki panujące w systemach fizycznych.
- Specjalista ds. Internetu rzeczy (IoT): Specjalista ten zarządza czujnikami, gromadzi i analizuje dane z podłączonych urządzeń oraz łączy obiekty fizyczne z ich cyfrowymi odpowiednikami. Jego praca ma kluczowe znaczenie dla utrzymania integralności przepływu informacji między światem fizycznym a cyfrowym, zapewniając dokładność i aktualność danych.
- Inżynier AI/ML: Inżynierowie ci wykorzystują modele sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego do analizowania i przewidywania dynamicznych zachowań zarówno w środowiskach wirtualnych, jak i fizycznych. Korzystając z zaawansowanych algorytmów, optymalizują procesy poprzez dokładne prognozy i zautomatyzowane reakcje w czasie rzeczywistym.

- Ekspert ds. cyberbezpieczeństwa: Wraz z rosnącą wzajemną zależnością między systemami fizycznymi i wirtualnymi bezpieczeństwo danych i komunikacji ma kluczowe znaczenie. Ekspert ds. cyberbezpieczeństwa chroni infrastrukturę przed cyberatakami, monitorując podatności systemu i opracowując strategię obronne, w tym symulacje ataków w celu przetestowania odporności systemu.
- Programista symulacji i analityk danych: Specjaliści ci zajmują się tworzeniem zaawansowanych symulacji i pozyskiwaniem wniosków na podstawie danych. Analizują dane zebrane z systemów DT, tworzą modele predykcyjne i generują rozwiązania, które pozwalają na ciągłe ulepszanie produktów, procesów i usług.



### 6.3 Wymagane kluczowe umiejętności

Aby skutecznie sprostać tym wyzwaniom i zaspokoić potrzeby szybko zmieniającego się rynku, specjaliści muszą posiadać solidną podstawę umiejętności technicznych, w tym:

- Programowanie (Python, Java, C++): Umiejętność pisania kodu do tworzenia aplikacji, modeli symulacyjnych oraz interfejsów między systemami wirtualnymi i fizycznymi jest niezbędna w przypadku stanowisk związanych z DT.
- Modelowanie i symulacja systemów: Zaawansowana wiedza na temat modelowania złożonych systemów i tworzenia wirtualnych symulacji odzwierciedlających rzeczywiste zachowania ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia skuteczności rozwiązań DT.
- Nauka o danych i wizualizacja danych: Umiejętność gromadzenia, analizowania i interpretowania dużych ilości danych oraz jasnego przekazywania wyników ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji procesów i tworzenia strategii opartych na danych.
- Technologie chmurowe (AWS, Azure): Znajomość platform chmurowych ma kluczowe znaczenie dla zarządzania danymi w czasie rzeczywistym, skalowalności operacyjnej oraz wdrażania rozwiązań DT wymagających zaawansowanej mocy obliczeniowej.
- Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe: Znajomość algorytmów i technik AI/ML jest niezbędna do analizy predykcyjnej i ciągłego ulepszania systemów poprzez inteligentną automatyzację.
- Sieci czujników i Internet rzeczy (IoT): Dogłębne zrozumienie technologii IoT i zarządzania sieciami czujników ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia płynnej integracji między urządzeniami fizycznymi a cyfrowymi bliźniakami.

- Wiedza z zakresu cyberbezpieczeństwa: Ochrona systemów i danych staje się coraz ważniejsza, a umiejętności w zakresie cyberbezpieczeństwa są niezbędne do zapobiegania zagrożeniom oraz zapewnienia bezpieczeństwa i odporności systemów na potencjalne ataki.
- Wraz z rozwojem technologii cyfrowych bliźniaków i ich coraz szerszym zastosowaniem w różnych sektorach, umiejętności te będą coraz bardziej poszukiwane, tworząc środowisko zawodowe, w którym interdyscyplinarna współpraca i zdolność dostosowania się do nowych technologii będą miały kluczowe znaczenie dla sukcesu biznesowego.

## 6.4 Jakie umiejętności powinni nabyć uczniowie, aby zdobyć pracę w przyszłości

Aby przygotować uczniów do pracy z cyfrowymi bliźniakami (DT) w środowisku Przemysłu 4.0, programy kształcenia i szkolenia zawodowego (VET) muszą zapewniać połączenie zaawansowanych umiejętności technicznych i umiejętności miękkich. Włączenie nowych technologii, takich jak DT, do praktyk biznesowych wymaga głębokiej wiedzy technicznej oraz krytycznego i elastycznego sposobu myślenia. Szkoły zawodowe odgrywają kluczową rolę we wdrażaniu modułów szkoleniowych poświęconych tym zagadnieniom, umożliwiając młodym ludziom przygotowanie się do coraz bardziej poszukiwanych i dobrze płatnych zawodów w nieustannie zmieniającym się kontekście przemysłowym.

### Umiejętności techniczne, które należy rozwinąć

- **Programowanie (Python, R, Java):** Uczniowie muszą zdobyć rzetelną wiedzę na temat powszechnie używanych języków programowania w dziedzinach technicznych, takich jak Python, R i Java, które są niezbędne do tworzenia aplikacji, zarządzania danymi i interakcji z modelami cyfrowymi.
- **Analiza danych, sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe:** Umiejętność analizowania dużych zbiorów danych i stosowania technik sztucznej inteligencji/uczenia maszynowego ma kluczowe znaczenie dla analizy predykcyjnej i efektywnego zarządzania systemami opartymi na DT. Studenci muszą nauczyć się przetwarzać i interpretować dane, aby optymalizować procesy i podejmować decyzje oparte na danych.
- **Przetwarzanie w chmurze:** Ponieważ platformy chmurowe stają się kluczowe dla przechowywania danych i zarządzania nimi w czasie rzeczywistym, umiejętności w zakresie przetwarzania w chmurze są niezbędne do pracy z technologiami takimi jak AWS, Microsoft Azure i innymi rozwiązaniami chmurowymi wykorzystywanymi w projektach DT.

- **Automatyka i robotyka:** Uczniowie muszą być przeszkoleni w zakresie automatyki przemysłowej i robotyki, ponieważ technologie te są ściśle związane z integracją DT z codziennymi operacjami biznesowymi. Zrozumienie systemów automatycznych i technik sterowania ma kluczowe znaczenie dla optymalizacji produkcji.
- **IoT, sieci i przemysłowe protokoły komunikacyjne:** Znajomość sieci IoT, przemysłowych protokołów komunikacyjnych i podłączonych urządzeń jest niezbędna, aby zapewnić, że DT mogą gromadzić dane w czasie rzeczywistym i skutecznie współdziałać z systemami fizycznymi. Umiejętności w zakresie sieci i łączności są zatem niezbędne do zarządzania interoperacyjnością urządzeń i systemów.
- **Symulacja i modelowanie procesów:** Umiejętność modelowania i symulowania procesów przemysłowych przy użyciu specjalistycznego oprogramowania ma fundamentalne znaczenie dla projektowania, testowania i optymalizacji modeli cyfrowych. Studenci powinni zdobyć praktyczne doświadczenie w korzystaniu z narzędzi symulacyjnych w celu tworzenia dokładnych reprezentacji systemów fizycznych.

## Umiejętności miękkie

Oprócz umiejętności technicznych, równie ważne są umiejętności miękkie, które pomagają studentom stawić czoła wyzwaniom rynku pracy i szybko dostosować się do nowych sytuacji. Należą do nich:

- Krytyczne myślenie i rozwiązywanie problemów: Umiejętność logicznego analizowania problemów, krytycznego myślenia i opracowywania innowacyjnych rozwiązań jest niezbędna, szczególnie w przypadku złożonych systemów, takich jak DT.
- Współpraca i komunikacja: Umiejętność pracy w zespole i jasnego komunikowania się ma fundamentalne znaczenie w coraz bardziej wielofunkcyjnych środowiskach pracy. Studenci powinni być przygotowani do skutecznej współpracy z kolegami, inżynierami i specjalistami z innych dziedzin.
- Postawa wobec uczenia się przez całe życie: Ponieważ technologie i metody związane z DT nieustannie ewoluują, uczniowie muszą rozwinąć postawę nastawioną na ciągłe uczenie się, gotowość do adaptacji i regularnego uzupełniania swojej wiedzy.
- Inicjatywa i kreatywność: Należy zachęcać uczniów do podejmowania inicjatyw i proponowania nowatorskich pomysłów. Kreatywne, proaktywne podejście jest niezbędne, aby sprostać nowym wyzwaniom technologicznym i opracować oryginalne rozwiązania w zakresie technologii cyfrowych.
- Umiejętność dostosowania się do wymogów nowych narzędzi i kontekstów cyfrowych: W związku z szybkim rozwojem technologii cyfrowych uczniowie muszą być gotowi do szybkiego dostosowania się do nowych narzędzi, oprogramowania i środowisk cyfrowych. Elastyczność i umiejętność przyswajania nowych technologii są niezbędne we współczesnym środowisku przemysłowym.

### Inicjatywy wspierające kształcenie ustawiczne:

Szkoły zawodowe mogą również promować ciągłe uczenie się i rozwój umiejętności poprzez różne inicjatywy, w tym

- Certyfikaty zawodowe: Międzynarodowe programy certyfikacyjne, takie jak te oferowane przez AWS, Microsoft i Siemens, są przydatne, bo pomagają uczniom potwierdzić umiejętności potrzebne na rynku pracy. Certyfikaty te mogą też zwiększyć szanse na zatrudnienie, bo dają profesjonalne kwalifikacje.
- Kursy online za pośrednictwem platform takich jak Coursera, edX i Udacity: Dostępność kursów online daje uczniom możliwość pogłębienia wiedzy na temat konkretnych zagadnień związanych z DT i nowymi technologiami. Platformy te oferują wysokiej jakości kursy we współpracy z najlepszymi uniwersytetami i firmami.

- Partnerstwa między szkołami a przemysłem: Szkoły zawodowe mogą nawiązywać współpracę z przedsiębiorstwami, aby oferować uczniom możliwość pracy nad rzeczywistymi projektami z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków. To praktyczne doświadczenie ma kluczowe znaczenie dla zastosowania wiedzy teoretycznej w środowisku zawodowym i nawiązania kontaktów na rynku pracy.
  - Wirtualne laboratoria i środowiska symulacyjne: Aby wesprzeć praktyczną naukę, szkoły mogą korzystać z wirtualnych laboratoriów i środowisk symulacyjnych, w których uczniowie mogą badać i eksperymentować z technologiami cyfrowymi w bezpiecznych, kontrolowanych warunkach. Narzędzia te zapewniają doświadczenie immersyjne, które pomaga uczniom zapoznać się z technologią przed wejściem na rynek pracy.
1. Dzięki połączeniu umiejętności technicznych i miękkich oraz możliwości ciągłego doskonalenia zawodowego, szkoły branżowe przygotowują młodych ludzi do rozwoju własnej kariery na coraz bardziej cyfrowym i opartym na innowacjach rynku pracy.



## Wnioski

Jak pokazuje niniejszy podręcznik, włączenie technologii cyfrowych bliźniaków do kształcenia i szkolenia zawodowego nie jest trendem, ale konieczną ewolucją. Zapotrzebowanie na pracowników posiadających umiejętności cyfrowe stale rośnie. Natomiast zdolność instytucji szkoleniowych do reagowania na nie przez oferowanie innowacyjnych, dostosowanych do potrzeb branży rozwiązań edukacyjnych będzie miała kluczowe znaczenie dla sukcesu uczniów, jak i pracodawców.

Cyfrowe bliźniaki to znacznie więcej niż wirtualne repliki — są one bramą do immersyjnej, praktycznej nauki. Dzięki symulacjom uczniowie mogą zmierzyć się z rzeczywistymi wyzwaniami, przetestować rozwiązania w bezpiecznym środowisku oraz rozwinąć zarówno wiedzę techniczną, jak i umiejętności miękkie, takie jak rozwiązywanie problemów, współpraca i krytyczne myślenie. Umiejętności te stanowią sedno Przemysłu 4.0 i są niezbędne do poruszania się w środowisku przyszłych miejsc pracy.

W niniejszym podręczniku omówiliśmy, w jaki sposób technologia cyfrowych bliźniaków może zmienić programy nauczania, wzmocnić powiązania między edukacją a przemysłem oraz wspierać nowe modele edukacyjne. Pokazaliśmy, jak wspólne projektowanie ścieżek szkoleniowych z przedsiębiorstwami prowadzi do bardziej adekwatnego i skutecznego uczenia się. Przedstawione tu studia przypadków i najlepsze praktyki pokazują korzyści płynące ze współpracy, w ramach której przedsiębiorstwa oferują wiedzę i narzędzia, a szkoły – talenty i wizję edukacyjną.

Zdajemy sobie również sprawę, że wdrożenie cyfrowych bliźniaków w kształceniu i szkoleniu zawodowym jest procesem stopniowym, wymagającym planowania, inwestycji i stałego wsparcia. Jednak korzyści są znaczące: większe zaangażowanie uczniów, większe szanse na zatrudnienie i lepsze dostosowanie do umiejętności wymaganych w nowoczesnych branżach. Dzięki przyjęciu takiego podejścia szkoły mogą stać się aktywnymi uczestnikami regionalnych systemów innowacji, pomagając w kształtowaniu kadry pracowniczej, która jest elastyczna, nastawiona na innowacyjne rozwiązania i biegła w zakresie technologii cyfrowych.

Patrząc w przyszłość, oczywistym jest, że technologia cyfrowych bliźniaków będzie nadal ewoluować, stwarzając nowe możliwości w takich obszarach, jak integracja sztucznej inteligencji, zdalne operacje, zrównoważony rozwój i inteligentna produkcja. Dla uczniów oznacza to dostęp do nowych ścieżek kariery i możliwości uczenia się przez całe życie. Dla nauczycieli i instytucji oznacza to ciągłe zaangażowanie w eksperymenty, rozwój zawodowy i współpracę między sektorami.

Podsumowując, niniejszy podręcznik stanowi zarówno plan działania, jak i wezwanie do działania. Dzięki współpracy szkół, przedsiębiorstw, decydentów politycznych i nauczycieli możemy zapewnić, że kształcenie zawodowe pozostanie nie tylko aktualne, ale i przyszłościowe. Cyfrowe bliźniaki oferują nam narzędzia; to od nas zależy, czy wykorzystamy ich pełen potencjał z korzyścią dla przyszłych pokoleń.

[www.ditwin.eu](http://www.ditwin.eu)

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the Agenzia nazionale Erasmus+ INAPP. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Project Number: 2023-1-IT01-KA220-VET-000154611



Co-funded by  
the European Union