

# e-mentor

DWUMIESIĘCZNIK SZKOŁY GŁÓWNEJ HANDLOWEJ W WARSZAWIE  
WSPÓŁWYDAWCA: FUNDACJA PROMOCJI I AKREDYTACJI KIERUNKÓW EKONOMICZNYCH

2022, nr 1 (93)



Ostrowski, A. (2022). RAMI 4.0 w transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa – studium przypadku. *e-mentor*, 1(93), 54–63. <https://doi.org/10.15219/em93.1556>



Adam  
Ostrowski

## RAMI 4.0 w transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa – studium przypadku

### RAMI 4.0 in digital enterprise transformation – case study

#### Abstract

The implementation of the HMI (Human-Machine Interface) operator panel on the production line is a new stage of the digital transformation of a paints and varnishes manufacturer in the SMEs sector. As part of an innovation plan, the process of production data acquisition was restructured, by means of IT (Information Technology), into an ERP (Enterprise Resource Planning) system. The introduction of an HMI panel made it possible to digitalize data acquisition and operation reporting to the ERP system. The digital transformation of the SME 4.0 company was modelled on the Industry 4.0 trend solutions. The specialized model, developed according to RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry 4.0), effected change of a partial and local nature in the enterprise. The data is now entered directly into the production area by the employees on the technological line, once they have logged in to the ERP system. Access to digital production data obtained from a SSOT (single source of truth) benefited all those who used the ERP system. A post-implementation analysis of a two-year application of the restructured data acquisition process indicates the business areas which profit from digital operational data acquisition and higher quality production reporting.

**Keywords:** Digital transformation, RAMI 4.0, Industry 4.0, HMI (Human-Machine Interface) operator panel, data acquisition, SSOT

---

### Wprowadzenie

Transformacja cyfrowa w ujęciu praktycznym dotyczy nie tylko instalacji pojedynczego urządzenia elektronicznego, ale wpływa na całą załogę przedsiębiorstwa – stanowi reorganizację technologii, procesów oraz modeli biznesowych (Bindu i in., 2020, s. 1–2). Doskonalenie jednego procesu może wywierać znaczący wpływ na cyfryzację produkcji w skali całego przedsiębiorstwa, ponieważ zwiększa się jednocześnie sumaryczny, globalny poziom zaawansowania technologicznego. Obszar podatności na innowacje cechuje z jednej strony wzdochłonność a z drugiej uwidaczniające się w przedsiębiorstwie obawy przed niepowodzeniem. Wdrożenie innowacji technologicznych powoduje wzrost prestiżu firmy i pracowników. Zmienia się atmosfera wokół innowacji przełomowych (*disruptive technologies*) – wdrażane stopniowo mają szansę torować drogę następnym (Sandhu, 2021, s. 72–73). Wszystkie zmiany w przedsiębiorstwie powinny być przeprowadzane w sposób intuicyjny i dostosowany do potrzeb pracowników. Zachęca to załogę do innowacyjności, zobowiązuje do ciągłego doskonalenia. Zmiana przychodzi przez ludzi otwartych na innowacje. Należy zwracać uwagę na talenty (Karacay, 2018), potencjał nowych pracowników, wpływ stażystów czy studentów na innowacyjność firmy. Automatyzacja procesów wytwórczych powinna zyskać akceptację załogi. Taka postawa eliminuje opór przed zmianą, działa oddolnie i odgórnie (Wohlbe, 2021, s. 41–42). Kluczowym czynnikiem sukcesu wdrożenia innowacji są pracownicy – ich kompetencje, wiedza, doświadczenie i utożsamianie się z wizją przedsiębiorstwa, którego częścią stanowią. Systemy IT (Information Technology) przedsiębiorstwa, pomimo ich integracji, w przypadku nieprzewidywanych zdarzeń wymagają odpowiedniej i stanowczej reakcji. Niedociągnięcia rozwiązań algorytmicznych w tym obszarze niweluje człowiek. Wartość dodaną tworzy pracownik posiadający informacje,

# RAMI 4.0 w transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa...

sprzęt, materiały i technologie (Bücker i in., 2016). W perspektywie uczenia się i rozwoju doskonalenie procesów jest kluczowe i wywołuje reakcje łańcuchowe o silnym ładunku synergii – przedsiębiorstwo jest postrzegane jako organizacja ucząca się. Klienci odczuwają doskonalenie procesów wewnętrznych, a to buduje zaufanie, zwiększa rytmiczność i terminowość dostaw.

## Model referencyjny architektury przemysłu RAMI 4.0

Wdrażanie rozwiązań Przemysłu 4.0 (Industry 4.0) wymaga cyfrowej transformacji. Przemysł 4.0 łączy technologie, organizację i procesy. W tym sensie jest interpretowany jako nowy poziom organizacji i kontroli całego łańcucha cyklu życia produktów. W Przemysle 4.0 jednym z najważniejszych aspektów jest optymalizacja procesów produkcyjnych (Bednarek, 2020) oraz integracja z działaniami mającymi na celu pozyskanie i pogłębianie kompetencji ludzi w podejmowaniu odpowiednich decyzji w środowisku pracy (Lied i in., 2018). Podejście w nurcie Industry 4.0 wypiera konieczność obecności człowieka z powtarzalnych, ciężkich czy niebezpiecznych prac i przekształca w relacje M2M (Machine-to-Machine). Założenia Przemysłu 4.0 wymagają pełnej integracji przedsiębiorstwa z jego pracownikami w zakresie ludzkiej wiedzy, inteligencji, kreatywności i empatii. Ważny jest horyzontalny, a nie tylko hierarchiczny,

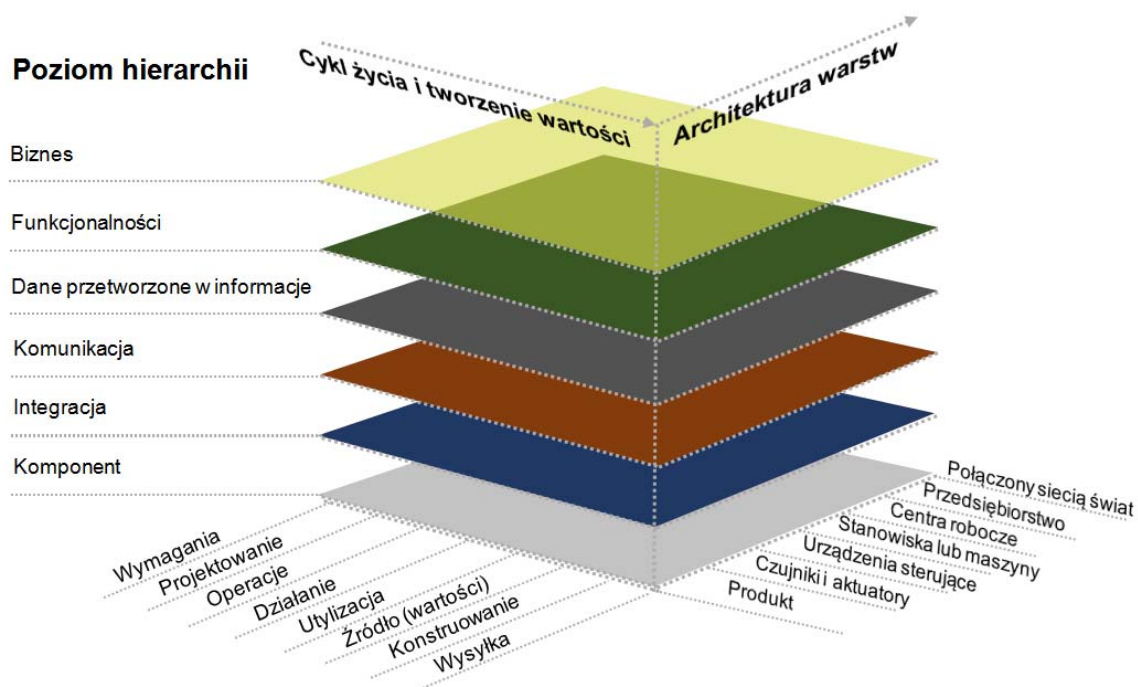
o kierunku *top-down*, przepływ informacji i wiedzy w organizacji.

Model referencyjny architektury przemysłu czwartej generacji RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industrie 4.0) reprezentuje spójną strukturę do określania i szczegółowego opisywania architektury systemu produkcyjnego i służy do komunikacji pomiędzy interesariuszami oraz przejrzystej klasyfikacji zastosowań innowacyjnych technologii IT w sektorze przemysłowym (IEC, 2017). Model RAMI 4.0 oparty jest na normach takich jak DIN i ISO (Heidel i in., 2019, s. 85). Standard RAMI 4.0 wprowadza uporządkowanie hierarchiczne komponentów IT, w tym technologii przepływu danych. Komponent (*asset*) można jednoznacznie identyfikować, posiada on powłokę administracyjną i jest obiektem rzeczywistym. Prezentacja informatyczna komponentów w modelu RAMI 4.0 modelowana jest w trójwymiarowej przestrzeni, którą wyznacza oś cyklu życia oraz tworzenia wartości, oś poziomu hierarchii i oś architektury warstw (rysunek 1).

Oś cyklu życia i tworzenia wartości (*life-cycle and value creation*) prezentuje ujęcie biznesowe. Modelowanie umożliwia wydobycie, sformułowanie i zobrazowanie wizji przekształcania zasobów w wartość dla przedsiębiorstwa i dla klienta. Modelowanie cyklu życia produktu i urządzeń obejmuje: projektowanie, operacje, działanie i użycie w fazie prototypu oraz instancji. Generowanie strumienia wartości przebiega poprzez zasoby, wytwarzanie i spedycję.

### Rysunek 1

Model referencyjny architektury przemysłu czwartej generacji RAMI 4.0



Źródło: opracowanie własne na podstawie *Analysis of manufacturing platforms in the context of zero-defect process establishment*, A. Nazarenko, J. Sarraipa, L. M. Camarinha-Matos, M. Dorchain i R. Jardim-Goncalves. W *Boosting collaborative networks 4.0. PRO-VE 2020. IFIP advances in information and communication technology* (s. 585), L. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh i A. Ortiz (red.), 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62412-5\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62412-5_48)

Modele biznesowe akcentują stopień zaangażowania klienta końcowego w proces tworzenia wartości (Urbach i Röglinger, 2019, s. 6). W łańcuchu wartości znajduje się klient, może nim być też inne przedsiębiorstwo. Docelowo w sieci wartości klientem ma być partycypujący w procesie produkcji indywidualny adresat spersonalizowanej produkcji. Tradycyjna koncepcja łańcucha wartości w ujęciu Portera ukazuje sekwencję tworzenia wartości w oparciu o produkt. Zredefiniowana koncepcja łańcucha wartości opiera się na technologiach IT. Model referencyjny RAMI 4.0 zamienia trzeciorzędne dotychczas procesy IT w kluczowe, oparte na cyfrowych danych w łańcuchu wartości (Blštáková i in., 2020, s. 1–4).

Na osi poziomu hierarchii (*hierarchy level*) modelowany jest przepływ surowców i materiałów tworzących produkt, czujniki i urządzenia wykonawcze, urządzenia sterujące, stanowiska bądź maszyny, centra robocze lub linie produkcyjne, przedsiębiorstwo i połączony sieciowo świat. Przedstawienie w ten sposób modelu RAMI 4.0 rozwiązuje problemy dotyczące semantyki, identyfikacji, funkcji, występujących standardów komunikacyjnych, współpracy i partnerstwa w inteligentnej produkcji (*smart factory*). Przedsiębiorstwo nie stanowi statycznego obrazu nałożonych na siebie warstw, ale dzięki architekturze RAMI 4.0 staje się siecią interakcji między inteligentnymi elementami produkcji a połączonym światem (*connected world*). Następnie modelowane są role (funkcje i odpowiedzialności) w porządku hierarchicznym. Funkcje są przydzielane wszystkim uczestnikom, umożliwiając elastyczność operacji pomiędzy systemami i maszy-

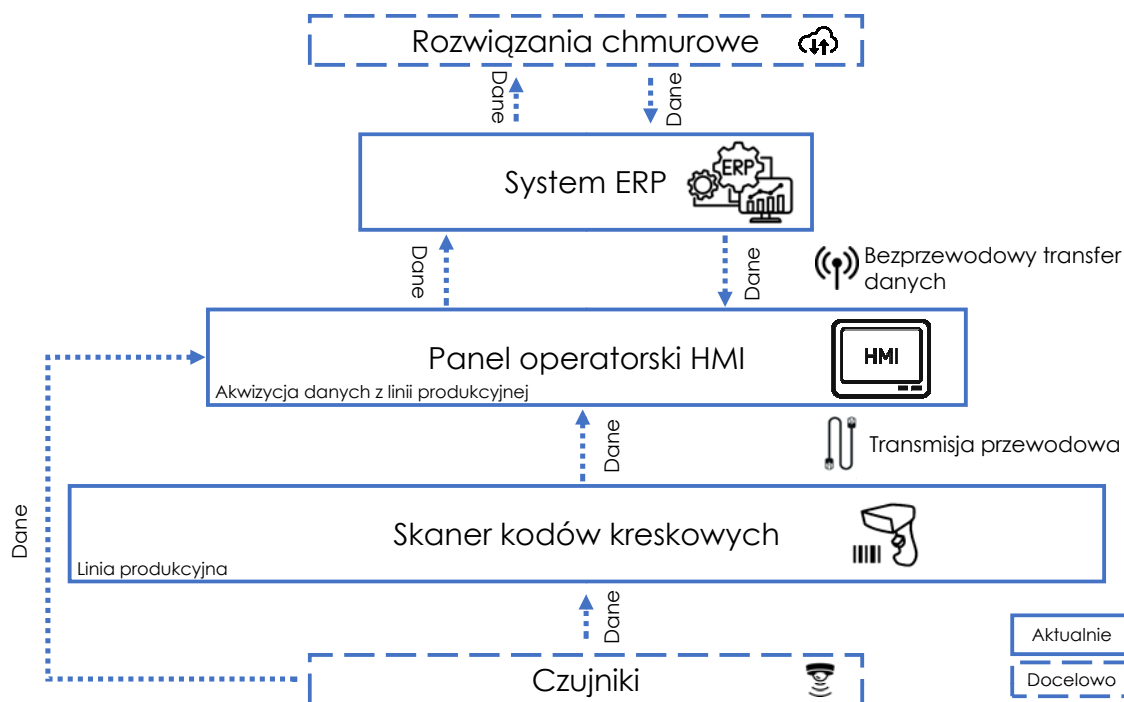
nami. Równolegle modeluje się poziomy hierarchii informacyjności (Badurek, 2015, s. 34–36). Hierarchia poziomu najniższego ujmuje sygnały ze źródeł ich generowania, następnym jest poziom akwizycji danych bezpośrednio z linii produkcyjnej, przetwarzanie ich i dostarczanie w zagregowanej formie na coraz wyższe hierarchicznie warstwy, gdzie są transformowane w wiedzę technologiczną i biznesową.

Oś architektury warstw (*layer architecture*) jest wzorowana na siedmiowarstwowym modelu ISO/OSI i służy do reprezentowania następujących warstw: komponent, integracja, komunikacja, dane przetworzone w informację, funkcjonalności oraz biznes (Lydon, 2021).

Model RAMI 4.0 pozwala zdekomponować złożone procesy na prostsze w zarządzaniu pakiety, czyniąc je łatwiejszymi do interpretacji, zapewniając jednocześnie ochronę danych i bezpieczeństwo informatyczne. Model RAMI 4.0 przedstawia komponenty aplikacji korzystających z Przemysłowego Internetu Rzeczy (Industrial Internet of Things – IIoT) do analizy dużych zbiorów danych w zautomatyzowanych i zrobotyzowanych procesach produkcyjnych. IIoT umożliwia komunikację internetową urządzeń zbierających i współdzielących dane, opierając się na połączeniu wielu technologii komunikacyjnych, tak przewodowych, jak i bezprzewodowych. Czujniki, aktuatory (urządzenia wykonawcze), urządzenia elektronicznej identyfikacji RFID (Radio-Frequency Identification) czy laserowe skanery do odczytu kodów kreskowych i dwuwymiarowych kodów QR (Quick Response) pozwalają na automatyczną identyfikację obiektów

**Rysunek 2**

Model specjalizacyjny dla przedsiębiorstwa produkcyjnego MŚP



Źródło: opracowanie własne.

i akwizycję danych. W inteligentnych fabrykach monitorują wybrane procesy, zbierając dane ze świata rzeczywistego.

## Model specjalizacyjny dla przedsiębiorstwa produkcyjnego farb i lakierów

Model przemysłu czwartej generacji dla sektora małych i średnich przedsiębiorstw (*small- and medium-sized enterprise*) zawarty jest w koncepcji SME 4.0 (Matt i Rauch, 2020, s. 3–5). Cyfrowa transformacja wymaga wydajnej i zoptymalizowanej do potrzeb przedsiębiorstwa infrastruktury IT, co potwierdza 97% uczestników badania zleconego przez czasopismo „Computerworld” wskazując, że sprawne przetwarzanie danych jest ważnym czynnikiem przyspieszającym transformację cyfrową (Polak, 2020, s. 19). Model specjalizacyjny infrastruktury IT, zbudowany na bazie modelu referencyjnego RAMI 4.0 dla przedsiębiorstwa produkcyjnego, przedstawia rysunek 2.

Piramida automatyzacji dotyczy poziomów hierarchii w modelu referencyjnym RAMI 4.0. Model ten wskazuje drogę absorpcji technologii w przedsiębiorstwie – automatyzacja procesów nie oznacza już wyłącznie zakupu komponentów, okablowania i przygotowania urządzeń, ale również połączenie danych produkcyjnych z chmurą obliczeniową. Rozwiązania chmurowe pozwalają na zdalny dostęp, kontrolę i zarządzanie maszynami, procesami oraz danymi w czasie rzeczywistym z dowolnej lokalizacji, umożliwiając bieżące gromadzenie, przetwarzanie, analizowanie i udostępnianie danych. Chmura obliczeniowa zapewnia użytkownikom elastyczność w dostępie do danych oraz pozwala na wybór dostawcy oprogramowania. Przedsiębiorstwa produkcyjne wykorzystują

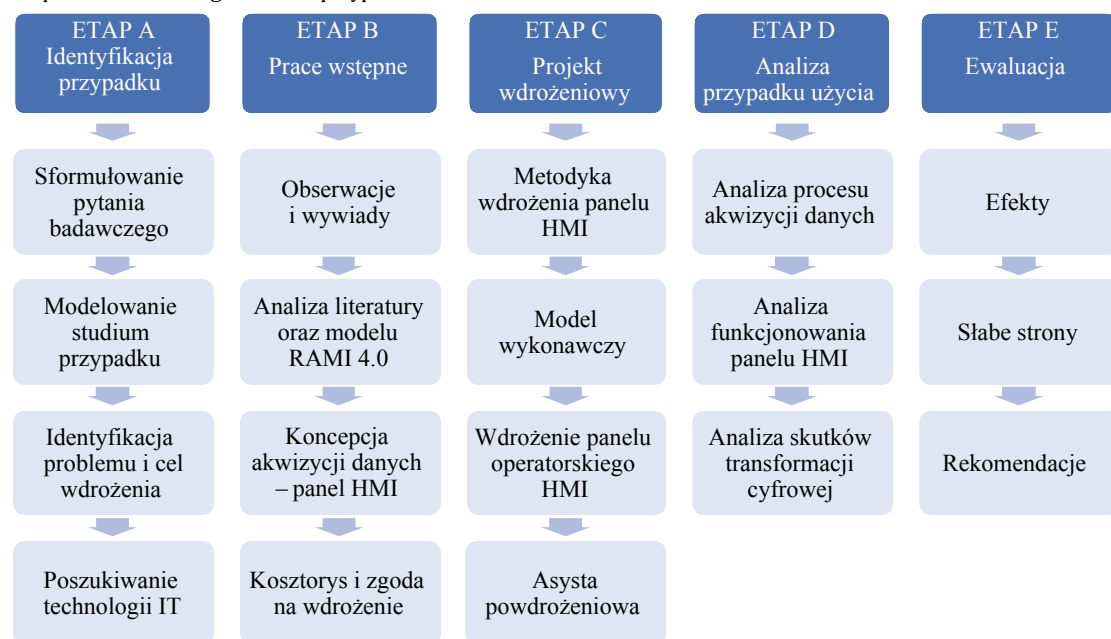
możliwości analityczne chmury obliczeniowej do obsługi dużych wolumenów danych generowanych m.in. przez zamontowane sensory. W wersji wdrożonej piramida automatyzacji przedsiębiorstwa produkcyjnego obejmuje: system ERP zawierający logikę biznesową oraz moduły zarządzania produkcją MES (Manufacturing Execution System), panel operatorski HMI (Human-Machine Interface) oraz skaner kodów kreskowych. Zastosowane technologie IT wyznaczają kierunek transferu danych, od źródła ich powstawania do kolejnych szczebli w hierarchii przedsiębiorstwa. System ERP i jego obecna struktura jest wynikiem ewolucji różnorodnych mniejszych systemów, które miały wspierać różne działy czy funkcje organizacyjne, takie jak np. sterowanie zapasami czy planowanie potrzeb materiałowych (Law, 2019, s. 1–3). Obecnie zarządzanie przedsiębiorstwem przy użyciu systemu ERP oznacza możliwość posiadania danych pochodzących ze wszystkich działów w jednej bazie danych i dostęp do informacji odzwierciedlającej stan bieżący z dokładnością do sekundy (Wrycza i Maślankowski, 2019, s. 414).

## Aspekty metodologiczne

W ramach strategii transformacji cyfrowej po wdrożeniu systemu ERP w następnym kroku należało wdrożyć proces akwizycji danych produkcyjnych zasilających system ERP – w tym celu zaimplementowany został panel operatorski HMI. Opisane wdrożenie jest przykładem studium przypadku (*case study*). Autor prezentuje pojedyncze wdrożenie panelu operatorskiego HMI wraz z opisem rezultatów, poddając refleksji zasadność oraz możliwość implementacji podobnych rozwiązań. Studium przypadku opiera

### Rysunek 3

Model procesu badawczego studium przypadku



Źródło: opracowanie własne.

się na pytaniu badawczym: Jak zorganizować proces akwizycji danych produkcyjnych zasilających system ERP? Konieczna jest cyfryzacja danych produkcyjnych. Analiza ukazuje rezultaty wdrożenia procesu akwizycji danych produkcyjnych z zastosowaniem panelu operatorskiego HMI w przedsiębiorstwie sektora MŚP. Ze względu na okoliczności autor przyjął eksplanacyjną (*explanation*) metodę studium przypadku (Budgen, 2021, s. 67–69). Na podstawie wskazówek metodologicznych Roberta K. Yina (2018) powstał model procesu badawczego studium przypadku (rysunek 3).

---

### Metodyka wdrożenia panelu operatorskiego HMI

---

Autor artykułu, przyjmując podejście zwinne wdrożenia panelu operatorskiego HMI, zaprojektował następujące fazy: analiza przedwdrożeniowa, przygotowanie organizacyjne oraz projektowanie wdrożenia, wdrożenie panelu operatorskiego i asysta powdrożeniowa (Fłasiński, 2013, s. 32–37).

Analiza przedwdrożeniowa obejmowała następujące kroki:

- Analiza poziomu absorpcji innowacji technologicznych w sektorze MŚP przemysłu chemicznego, ekspansja inicjatyw regulacyjnych (ustalenia Unii Europejskiej) i badawczych w przemyśle chemicznym. Z badania ankietowego „IDC Sentiment Study” z 2020 r. wynika, że 50% przedsiębiorstw produkcyjnych chce inwestować w technologie IT, aby wypełnić luki w cyfrowej transformacji. Celem przedstawicieli firm jest zapewnienie użytkownikom najlepszego doświadczenia z usług i produktów, integracja ekosystemów, zwinność i wydajność (Krakowiak, 2020). Panele operatorskie HMI wpisują się w każdy z trzech wymienionych wyżej motywatorów. Polska Izba Przemysłu Chemicznego w raporcie z 2020 roku podaje, że 79% polskich przedsiębiorstw z sektora chemicznego wdrożyło rozwiązania z zakresu Przemysłu 4.0 w okresie mijających 5 lat, a 43% badanych przedsiębiorstw deklarowało przyjęcie długoterminowej strategii transformacji cyfrowej (Polska Izba Przemysłu Chemicznego, 2020).
- Analiza aktualnej sytuacji ekonomicznej i technologicznej przedsiębiorstwa eksploatującego system ERP (podsystemów logistyki, finansów, magazynowania, aktualnej infrastruktury IT, kompetencji cyfrowych bezpośrednich użytkowników).
- Analiza możliwości wdrożenia panelu operatorskiego HMI, w tym: analiza ograniczeń i wymagań użytkowników w przedsiębiorstwie (strategia innowacyjności, limit środków finansowych, kadra, stopień przygotowania do wdrożenia nowych technologii IT – poprzednie udane wdrożenie systemu klasy ERP, analiza rynku paneli operatorskich HMI). Istotnym elementem analizy przedwdrożeniowej jest zdefi-

niowanie projektu wdrożeniowego. Projekt ma charakter niskobudżetowy, rzędu kilku tysięcy złotych. Kosztorys obejmuje elementy takie jak: zatrudnienie konsultanta (analiza przedwdrożeniowa, kustomizacja), zakup komponentów panelu operatorskiego i ich implementacja, koszt szkolenia pracowników z zakresu cyfryzacji procesu akwizycji danych.

Przygotowanie organizacyjne wdrożenia oraz projektowanie wdrożenia zawiera: sporządzenie i podpisanie oferty, analizę wdrażanego obszaru, znalezienie dostawców oraz skompletowanie infrastruktury sprzętowej. W procesie wdrożenia panelu HMI wykorzystano metody badawcze oparte na obserwacji linii produkcyjnej i wywiady po stronie klienta oraz z zespołem wdrożeniowym systemu ERP. Harmonogram wdrożenia obejmuje fazę przygotowawczą i jeden kilkudniowy sprint rozumiany jako pojedyncza i zaplanowana iteracja, mierzalna w czasie oraz zakresie, kończąca się przekazaniem zrealizowanej, zauważalnej funkcjonalności (Fowler, 2019, s. 77–79). Sprint kończy się uruchomieniem panelu operatorskiego na funkcjonującej linii technologicznej.

---

### Panel operatorski HMI

---

HMI (Human-Machine Interface) jest to przemysłowy interfejs między maszyną lub procesem (programem komputerowym lub systemem) a człowiekiem go obsługującym – operatorem (McMillan, 2019, s. 472). Przykładem interfejsu człowiek–maszyna jest panel dotykowy komputera pokładowego w samochodzie czy w windzie. Do interakcji człowieka z urządzeniem dawniej stosowane były przyciski, pokrętła czy przełączniki na pulpicie sterującym. Obecnie urządzenia HMI jest wyposażone w ekran dotykowy, podobnie jak instalacje typu POS (Point of Sale) w punktach sprzedaży czy infokioski POI (Point of Information). Panele operatorskie HMI stosowane są w różnych obszarach przedsiębiorstwa, takich jak magazynowanie czy logistyka. W zastosowaniach przemysłowych panel operatorski HMI umiejscowiony jest przy maszynie albo dostępny jako urządzenie mobilne typu tablet czy smartfon. Stopień złożoności panelu HMI zależy od specyfiki sektora produkcji i zakresu wykorzystania. Panele HMI oferują wiele funkcji, od logowania po integrację z systemem zewnętrznym, np. ERP. Główne funkcje panelu operatorskiego HMI dotyczą: wizualizacji, interakcji, komunikacji i alarmowania (Liptak, 2018, s. 801). Funkcja wizualizacji umożliwia wyświetlanie informacji o procesach, parametrach systemu i operacjach. Panele HMI korzystają z rozwiązań graficznego interfejsu użytkownika (Graphical User Interface – GUI). Funkcja interakcji pozwala na logowanie do panelu i sterowanie procesem lub maszyną, do której podłączony jest panel operatorski. Funkcja komunikacji z innymi urządzeniami czy systemem ERP pozwala na integrację panelu operatorskiego HMI z urządzeniami zewnętrznymi. Operatorzy mogą używać panelu HMI do sprawdzania, które taśmy przenośników są włączone lub do regu-

lowania temperatury w zbiorniku wody procesowej. Funkcja alarmowania tworzy przestrzeń komunikacji do przekazywania komunikatów i alertów z zakresu bezpieczeństwa. Funkcjonalność paneli operatorskich HMI można rozszerzyć za pomocą urządzeń zewnętrznych, takich jak skanery kodów kreskowych, czytniki RFID lub inne urządzenia podłączane metodą *hot plug* przez port USB. Panel HMI umożliwia zbieranie danych produkcyjnych oraz monitorowanie stanu maszyn. Panele operatorskie HMI pozwalają nie tylko na pasywny odczyt, ale i przesyłanie danych do systemów informatycznych, sprzyjając szybkiej i skutecznej integracji systemów oraz gromadzeniu i wizualizacji danych. Mogą one być agregowane, zapisywane lub pobierane z bazy danych.

Inicjatywa wdrożenia panelu operatorskiego HMI w przedsiębiorstwie sektora MŚP stanowi przełom w myśleniu o transformacji cyfrowej jako o dostępnym rozwiązaniu będącym w zasięgu ręki, również ze względu na relatywnie niski koszt tego panelu. W związku z niepewnością kadry menedżerskiej co do powodzenia wdrożenia panelu operatorskiego HMI i mitygacji ryzyka, przy założeniu minimalizacji nakładów finansowych, została opracowana koncepcja wdrożenia panelu operatorskiego HMI w przedsiębiorstwie. Panel operatorski HMI zaprojektowano na platformie jednopłytkowego komputera SBC (Single-Board Computer) z serii Raspberry Pi (Hosmer, 2018, s. 12–15). Implementacja panelu operatorskiego HMI obejmuje prace instalacyjne, programistyczne, kustomizację i konfigurację systemu. Po zainstalowaniu czytnika kodów kreskowych nastąpiła konfiguracja wykorzystanych komponentów sprzętowych oraz integracja panelu HMI z systemem ERP. Przeprowadzono testy uruchomieniowe w środowisku produkcyjnym. Zrealizowano testy akceptacyjne i przeszkolono użytkowników końcowych bezpośrednio na stanowisku operatora HMI. Nastąpił start produkcyjny.

Asysta powdrożeniowa prowadzona w modelu H2H (Human-to-Human) redukuje liczbę błędów i zmniejsza stres pojawiający się wśród załogi w pierwszych godzinach samodzielnej pracy w nowym trybie oraz w czasie stabilizacji systemu. Panel operatorski HMI został wdrożony według nowego paradygmatu biznesowego opartego na współpracy ludzi – H2H. Założenia H2H opierają się na dostrzeżeniu pojedynczej osoby (np. użytkownika, konsumenta) i zauważeniu jego problemów czy trudności. Model H2H (Cimini i in., 2020) koncentruje się na takich obszarach jak umiejętność słuchania, elastyczność pracy, dostrzeżenie potrzeb i rozwiązywanie problemów metodą *win-win* albo *win-win-win*. Zaangażowanie w wyzwania stojące przed konkretną osobą oraz poznawanie jej potrzeb jako indywidualna odpowiedź na realne problemy poprawiają atmosferę w zespole, spajają więzi i tym samym pokazują, jak ważny jest każdy pracownik. Słuchanie pociąga elastyczne podejście do rozwiązania danego zagadnienia, dopuszczające także popełnianie błędów, otwartą komunikację i wypracowanie empatycznego rozwiązania, które w przejrzysty i jednoznaczny sposób odpowiada na potrzeby drugiego człowieka. Możliwość wypowiadania odmiennego zdania czy sprzeciwu pozwala wypracować rozwiązanie najlepsze dla wszystkich, identyfikując ich potrzeby i głęboko ukryte oczekiwania. Zespół wdrożeniowy może dużo osiągnąć dzięki odpowiedniemu podejściu do załogi, którą cechuje niższy poziom akceptacji technologii informatycznych.

## Zastosowanie panelu HMI do rejestracji danych i raportowania produkcji

Dotychczasowy proces rejestracji danych produkcyjnych w systemie ERP scharakteryzowano w tabeli 1.

**Tabela 1**

*Dotychczasowy proces rejestracji danych produkcyjnych do systemu ERP*

Cecha	Dotychczasowy proces rejestracji danych
dokumentacja produkcji	w formie papierowej
tworzenie dokumentów PW i RW	ręcznie
dostarczanie danych	spedycja papierowych dokumentów PW i RW do biura
rejestracja danych produkcji w systemie ERP	przepisywanie danych z dokumentów PW i RW
dostęp do danych	po ich zarejestrowaniu w systemie ERP
opóźnienie czasowe w dostępie do danych w systemie ERP	duże
zaawansowana kontrola danych	utrudniona albo niemożliwa
spójność danych	rozmyta
jakość danych	możliwe błędy odczytu, zniekształcenia, zabrudzenia dokumentu
czas oczekiwania na dane z poziomu systemu ERP	zależny od rytmów spedycji dokumentów i wpisywania danych do systemu ERP
tworzenie raportu meldunkowego	ręcznie

Źródło: opracowanie własne.

W przedsiębiorstwie dane były zapisywane na linii produkcyjnej w dokumentach papierowych i eksportowane do rejestracji w systemie ERP. Jakość procesu dostarczania danych do systemu ERP jest taka, jak w najłabszym cyfrowo ogniwie. Akwizycja danych produkcyjnych (Production Data Acquisition – PDA) stanowi proces pozyskiwania sygnałów mierzących rzeczywiste zjawiska fizyczne i przekształcania ich w postać cyfrową (Abraham, 2020). Na początku niezbędne jest utworzenie elektronicznej wersji formularzy PW (Przychód Wewnętrzny) oraz RW (Rozchód Wewnętrzny). Proces raportowania produkcji za pomocą panelu operatorskiego HMI zaczyna się od zalogowania pracownika do systemu ERP. Dane do systemu ERP wprowadzane są w pobliżu linii produkcyjnej przez operatora panelu HMI za pomocą skanera kodów kreskowych. Po zeskanowaniu kodu kreskowego z karty operatora HMI system uwierzytelniania przesyła potwierdzenie tożsamości użytkownika systemu ERP. Po wykonaniu zlecenia produkcyjnego operator panelu HMI skanuje kod zlecenia oraz wpisuje liczbę wykonanych produktów w oknie rejestracji produktu (rysunek 4).

Dane są rejestrowane w miarach ilościowych, natomiast wyliczenia są realizowane algorytmicznie.

Użytkownik może wpisać dodatkowe informacje dotyczące produktu lub bezpośrednio zapisać operacje (rysunek 5).

Zastosowanie panelu operatorskiego HMI w procesie akwizycji danych spowodowało, że skanowane dane o zużyciu surowców, liczbie wyrobów gotowych oraz stratach rejestrowane są tuż po zakończeniu operacji (Selfbits, 2019). Dane o stopniu zaawansowania procesu produkcyjnego, nieplanowanych przestojach bądź awariach są przesyłane przez wewnętrzną sieć komunikacyjną. Raport z postępu prac produkcyjnych generowany jest automatycznie i udostępniany decydującym w formie elektronicznej w ramach systemu ERP. Raporty produkcyjne dostarczają informacji o zużyciu surowców, materiałów, wykorzystaniu zasobów, ilości odpadów oraz czasie wykonania poszczególnych operacji (Hwaiyu, 2015, s. 31). Profil produkcji podlega nadzorowi Krajowej Administracji Skarbowej i wynikającym z tego rygorystycznym wymaganiom sprawozdawczości produktów akcyzowych. Produkty akcyzowe wymagają obowiązkowej ewidencji i identyfikowalności partii (*traceability*), więc dane w postaci elektronicznej umożliwiły precyzyjne raportowanie strat i zużycia półproduktów chemicznych.

**Rysunek 4**

Okno rejestracji produktu

Gniazdo produkcyjne - opak: Male		
Aceton 1L	2 szt	21
Etykieta Aceton	2 szt =	25,0 %
Aceton	2l =	25,0 %
Butelka 1l	2 szt =	25,0 %
Zakrętka Kanister 5l	2 szt =	25,0 %

Źródło: opracowanie własne.

**Rysunek 5**

Meldowanie produktu

Podstawowe [ 1 ]

Dane operacji: 1

Operacja: Mieszanie

Kod operacji: 01

Zlecenie: [redacted]

Indeks meldowany: [redacted]

Ilość: 1000

Melduj

Źródło: opracowanie własne.



## Rezultaty wdrożenia procesu akwizycji danych produkcyjnych

Wdrożenie procesu akwizycji danych z zastosowaniem panelu operatorskiego HMI przyniosło efekty ilościowe i jakościowe o charakterze lokalnym, widoczne w tabeli 2.

Uzyskano w pełni cyfrowy przepływ danych od źródła poprzez panel operatorski HMI do miejsca ich gromadzenia w bazie danych, zastosowania w systemie ERP i wpływ na procesy tworzenia wartości. Wdrożenie panelu operatorskiego umożliwiło natychmiastowy dostęp do ponad 90% cyfrowych danych produkcyjnych w systemie ERP. Wprowadzone dane można analizować na bieżąco, usprawniając tym samym proces decyzyjny. Uprzednio zidentyfikowanymi barierami cyfrowej transformacji przedsiębiorstwa były: niewydolność systemu ERP wskutek opóźnień dostępu do danych produkcyjnych i brak jednego źródła danych produkcyjnych SSOT. Okazało się w praktyce, że zmiana skutkuje dostarczaniem danych produkcyjnych w ułamkach sekund (poprzednio od kilku godzin do kilku dni). Poprawiła się ich jakość i niezawodność rejestracji w systemie ERP bezpośrednio u źródła, na linii technologicznej. Według modelu *end-to-end* ostateczne zakończenie zlecenia produkcyjnego po ukończeniu operacji stanowi podstawę akwizycji danych cyfrowych przez skaner kodów kreskowych do formatki ekranowej dokumentu PW na panelu operatorskim HMI. Dane te stanowią aktualne, dostępne na bieżąco, jedno źródło prawdy SSOT o zaawansowaniu produkcji, realizacji wydań magazynowych i wykonaniu planu produkcji, co umożliwia kontrolę i weryfikację rejestracji danych źródłowych w procesie produkcyjnym. Dane są rzetelne, wiarygodne i budzą zaufanie, a przejrzystość procesów jest łatwo zauważalna przez klientów. Skanowanie danych i zastosowanie elektronicznego formularza rejestracji znacznie ogra-

niczyło pole błędów i skróciło łańcuch uczestników procesu ich rejestracji. Nastąpiło zintegrowanie niezależnych od platformy kanałów danych, co pozwala uniknąć ich dublowania czy zamknięcia dopływu danych do systemu ERP. Obecnie za ich jakość odpowiada jednoosobowo zalogowany do systemu ERP operator panelu HMI, wyposażony w skaner kodów kreskowych. Wysoka jakość danych wywiera znaczący wpływ na wiarygodność tworzonego obrazu przedsiębiorstwa.

Zaprojektowane i uruchomione środowisko operacyjne zrealizowano w granicach budżetu finansowego wdrożenia i w terminach zgodnych z harmonogramem. Rozmowy z przedstawicielami kadry zarządzającej przedsiębiorstwa potwierdziły, że zwrot z inwestycji jest niewspółmierny w stosunku do poniesionych kosztów. Przedsiębiorstwo dzięki skutecznej transformacji cyfrowej może konkurować na zmieniającym się rynku.

### Analiza powdrożeniowa – korzyści z wdrożenia

Analizę powdrożeniową przeprowadzono po kilkunastomiesięcznym okresie funkcjonowania akwizycji danych produkcyjnych. Refleksja powdrożeniowa dotyczy trybu i tempa wdrożenia cyfryzacji w przedsiębiorstwie przemysłowym. Akwizycja danych produkcyjnych do systemu ERP za pomocą panelu operatorskiego HMI umożliwiła:

- wprowadzanie danych identyfikacyjnych za pomocą skanera kodów kreskowych,
- automatyczne wyświetlanie danych opisowych na ekranie panelu operatorskiego HMI,
- wyliczanie pozycji PW i RW na podstawie danych z panelu HMI,
- automatyczną walidację danych.

Proces akwizycji danych zapewnia ich szybszą cyrkulację i oznacza: dostęp do aktualnych danych dla decydentów, większą elastyczność procesów zaopatrzeniowych, nową jakość sprzedaży i obsługi

**Tabela 2**

*Efekty wdrożenia procesu akwizycji danych z zastosowaniem panelu operatorskiego HMI*

Cecha	Miara	Efekt
proces akwizycji danych produkcyjnych	czy funkcjonuje	tak
ilość danych skanowanych z panelu operatorskiego HMI	%	ponad 90%
opóźnienie $\Delta t$ między zdarzeniem a dostępem do danych produkcyjnych	czas	dotychczas: powyżej kilku godzin, aktualnie: ułamki sekund
jakość danych produkcyjnych	Single Source of Truth (SSOT)	uzyskanie wiarygodnego obrazu przedsiębiorstwa na podstawie aktualnych danych
	zapewnienie jednoznaczności i spójności danych	tak
	eliminacja przepisywania, błędów odczytu, redundancji	tak

Źródło: opracowanie własne.

zamówień klientów. Automatyzacja procesu zasilania danymi o produkcji wpływa na realizację procesów biznesowych. Cyfrowe dane w systemie ERP umożliwiają doskonalenie procesów zarządczych, planowanie czy organizację procesów okołoprodukcyjnych. Wdrożenie panelu HMI zapewnia wysoką jakość obsługi procesów akwizycji danych produkcyjnych i zwiększa elastyczność przedsiębiorstwa w sytuacji dużych wahań zamówień. Cyfryzacja danych o stanie zaawansowania produkcji spowodowała przyspieszenie tempa ich obiegu i zmieniła tryb, zakres oraz precyzję raportowania. Raportowanie stanów produkcji dzięki technologii IT oznacza, iż obraz przedsiębiorstwa uzyskiwany jest na bieżąco na podstawie danych rzeczywistych, a nie dobowych czy uśrednionych. Łańcuch wartości tworzą wspólnie człowiek i maszyna produkcyjna, wykorzystując interfejs HMI do komunikacji i transferu danych o aktualnym stanie łańcucha wartości. Zauważalne jest usprawnienie przepływu informacji pomiędzy halą produkcyjną, służbami nadzorującymi produkcję i biurem. Mając na uwadze fakt, iż wydajność jest dla zakładów produkcyjnych jednym z najważniejszych czynników, system raportowania wykorzystano także do wyświetlania wskaźników KPI (Key Performance Indicators).

### Skutki transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa

Transformacja cyfrowa MŚP 4.0, prawidłowo przeprowadzona, rozprzestrzeniła się na całe przedsiębiorstwo:

- w obszarze operacji elektroniczna rejestracja danych bezpośrednio na linii produkcyjnej powoduje przyspieszenie meldowania produkcji, co usprawnia cykl produkcyjny, skraca czas oczekiwania na komponenty i przekazywanie półproduktów na linii produkcyjnej;
- w pracy działu księgowości meldunki produkcyjne przyspieszają proces rozliczania pracowników, co ma szczególne znaczenie w okresach zwiększonej absencji i na przełomie okresów rozliczeniowych. Wycena księgową wyrobu gotowego i wyliczenie ilości zużytego surowca oraz jego odpadów odbywa się z poziomu systemu ERP;
- w zakresie gospodarki magazynowej (sterowania zapasami) wykorzystano podejście *pull* zamiast *push*;
- zmieniła się kultura organizacyjna i zyskał wizerunek firmy.

Zastosowanie paradygmatu komunikacji biznesowej H2H umożliwiło sprawne i efektywne wdrożenie panelu HMI oraz przybliżenie przedsiębiorstwa do koncepcji Przemysłu 4.0. Specyfika przedsiębiorstwa produkcji farb i lakierów i jego podatność na wdrażanie technologii IT wskazuje, że model relacji H2H można zastosować w procesach produkcyjnych i wdrożeniowych. Wdrożenie procesu akwizycji danych produkcyjnych do systemu ERP jest działaniem w nurcie koncepcji Przemysłu 4.0.

### Elementy wymagające dalszych usprawnień

W ramach analizy powdrożeniowej zbadano zgłoszenia dotyczące awaryjności zasilania panelu operatorskiego HMI. Powoduje to zaburzenia w procesie akwizycji danych produkcyjnych. Rekomenduje się zainstalowanie dodatkowego zabezpieczenia bezpośredniego połączenia przewodu zasilającego. Zdarzają się także sporadyczne w skali miesiąca przypadki, kiedy niezbędne jest zrestartowanie panelu operatorskiego HMI.

### Podsumowanie

Artykuł ukazuje drogę transformacji cyfrowej przedsiębiorstwa produkcyjnego według modelu referencyjnego RAMI 4.0 w zakresie akwizycji danych produkcyjnych z wykorzystaniem panelu operatorskiego HMI. Zastosowanie referencyjnego modelu RAMI 4.0 umożliwiło harmonijną realizację przedsięwzięcia. Jego praktyczne wykorzystanie w przedsiębiorstwie sektora chemicznego przyniosło skutki takie jak: automatyzacja akwizycji danych produkcyjnych do systemu ERP, likwidacja opóźnień godzinowych w dostarczaniu danych produkcyjnych, cyfryzacja meldunków produkcyjnych, raportów i sprawozdań. Wśród osiągnięć wynikających z wdrożenia bazującego na modelu RAMI 4.0, wyszczególnić można:

- w zakresie strategii: ukierunkowanie na transformację cyfrową jako źródło przewagi konkurencyjnej poprzez harmonizację przepływu danych według modelu RAMI 4.0;
- na poziomie produkcji: dochodzenie do pełnej wydajności (*performance*) systemu ERP w obsłudze procesów biznesowych w nurcie Przemysłu 4.0;
- w ujęciu społecznościowym: większe zaangażowanie załogi w wykorzystywanie technologii IT na stanowisku pracy nie tylko bierne, ale i czynne w kierunku połączonego siecią świata (*connected world*).

Decyzja o wdrożeniu panelu operatorskiego HMI na linii produkcyjnej stanowi kolejny etap procesu transformacji cyfrowej o charakterze inkluzyjnym w strategii innowacyjności przedsiębiorstwa. Zrealizowane wdrożenie wpisuje się w cele transformacji cyfrowej takie jak: nakierowanie na klientów, zwinność, elastyczność, spełnienie wymogów ekologicznych, samodoskonalenie procesów oraz wzrost kompetencji cyfrowych załogi. Jednym z najważniejszych czynników sukcesu jest zaplanowana i systematyczna kontynuacja procesu transformacji cyfrowej w przedsiębiorstwie. Takie podejście wynika z założeń modelu referencyjnego architektury przemysłu czwartej generacji RAMI 4.0 i realizacji modelu wdrożeniowego. Istotne jest, aby w przedsiębiorstwie transformacja cyfrowa biznesu dokonywana była ewolucyjnie.

### Bibliografia

Abraham, S. (2020, 13 października). *Production Data Collection (PDA): Definition, characteristics, goals*. <https://>

forcam.com/en/operational-data-acquisition-de-definition-characteristics-goals

Badurek, J. (2015). *Przedsiębiorstwo informacyjne: systemy produkcyjne nowej generacji*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.

Bednarek, M. i Haiduk, T. (2020). *Przemysł 4.0 i niskokosztowe metody optymalizacji procesów produkcyjnych*. PARP Centrum Rozwoju MŚP. <https://bit.ly/3puiZFQ>

Bindu, H. P., Samuel, J. K. i Reddy, B. T. (2020). Digital transformation and its effects on various sectors: Indian perspective. W S. Goundar, S. Bhushan i V. R. Thakare (red.), *Impact of digital transformation on security policies and standards* (s. 1–12). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-2367-4.ch001>

Blišťáková, J., Joniaková, Z., Jankelová, N., Stachová, K. i Stacho, Z. (2020). Reflection of digitalization on business values: The results of examining values of people management in a digital age. *Sustainability*, 12(12), 5202. <https://doi.org/10.3390/su12125202>

Budgen, D. (2021). *Software design: Creating solutions for ill-structured problems* (wyd. 3). CRC Press.

Bücker, I., Hermann, H., Pentek, T. i Otto, B. (2016). Towards a methodology for Industrie 4.0 transformation. W W. Abramowicz, R. Alt i B. Franczyk (red.), *Business Information Systems* (s. 209–221). Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25425-4\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-25425-4_1)

Cimini, C., Pirolo, F., Pinto, R. i Cavalieri, S. (2020). A human-in-the-loop manufacturing control architecture for the next generation of production systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.01.002>

Flasiński, M. (2013). *Zarządzanie projektami informatycznymi*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Fowler, F. (2019). *Navigating hybrid Scrum environments: Understanding the essentials, avoiding the pitfalls*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4164-6>

Heidel, R., Hoffmeister, M., Hankel, M. i Döbrich, U. (2019). Industrie 4.0. The Reference Architecture Model RAMI 4.0 and the Industrie 4.0 component. VDE VERLAG.

Hosmer, Ch. (2018). *Defending IoT infrastructures with the Raspberry Pi: Monitoring and detecting nefarious behavior in real time*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3700-7>

Hwaiyu, G. (2015). *Manufacturing engineering handbook* (wyd. 2). McGraw-Hill Education.

IEC. (2017, marzec). *Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 (RAMI 4.0)*. <http://vde-verlag.de/iec-normen/224330/iec-pas-63088-2017.html>

Karacay, G. (2018). Talent development for Industry 4.0. W A. Ustundag i E. Cevikcan (red.), *Industry 4.0: Managing the digital transformation* (s. 123–136). Springer. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-57870-5\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-57870-5_7)

Krakowiak, L. (2020, 30 listopada). Przemysł 4.0 – w cieniu pandemii. *Computerworld*. <https://www.computerworld.pl/news/Przemysl-4-0-w-cieniu-pandemii,424050.html>

Law, Ch. C. H. (2019). *Managing enterprise resource planning adoption and business processes: A holistic approach*.

Cambridge Scholars Publishing.

Lied, L. H., Mogos, M. F. i Powell, D. J. (2020). Organizational enablers for digitalization in Norwegian industry. W B. Lalic, V. Majstorovic, U. Marjanovic, G. von Cieminski i D. Romero (red.), *Advances in production management systems. Towards smart and digital manufacturing* (s. 83–90). Springer.

Liptak, B. G. (2018). *Process control and optimization. Instrument engineers' handbook*. Tom 2 (wyd. 4). Taylor and Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781315219028>

Lydon, B. (2019). *RAMI 4.0 Reference architectural model for Industrie 4.0*. <https://www.isa.org/intech-home/2019/march-april/features/rami-4-0-reference-architectural-model-for-industr>

Matt, D. T. i Rauch, E. (2020). SME 4.0: The role of small- and medium-sized enterprises in the digital transformation. W D. T. Matt, V. Modrák i H. Zsifkovits (red.), *Industry 4.0 for SMEs: Challenges, opportunities and requirements* (s. 3–36). Palgrave Macmillan. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39426-8\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39426-8_17)

McMillan, G. K. i Vegas, P. H. (2019). *Process / industrial instruments and controls. Handbook* (wyd. 6). McGraw-Hill Education.

Nazarenko, A., Sarraipa, J., Camarinha-Matos, L. M., Dorchain, M. i Jardim-Goncalves, R. (2020). Analysis of manufacturing platforms in the context of zero-defect process establishment. W L. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh i A. Ortiz (red.), *Boosting collaborative networks 4.0. PRO-VE 2020. IFIP advances in information and communication technology*, tom 598 (s. 583–596). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-62412-5\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-62412-5_48)

Polak, J. (2020). *Cyfryzacja, chmura i nowe technologie. MŚP w drodze do cyfrowej transformacji. Badanie „Computerworld”*. <https://polcom.com.pl/wp-content/uploads/2020/12/Cyfryzacja-chmura-i-nowe-technologie.pdf>

Polska Izba Przemysłu Chemicznego. (2020). *Przemysł chemiczny w Polsce – pozycja, wyzwania i perspektywy*. <https://www.pipc.org.pl/aktualnosci/raport-przemysl-chemiczny-w-polsce-pozycja-wyzwania-i-perspektywy,p1708426971>

Sandhu, K. (red.). (2021). *Disruptive technologies and digital transformation for business and government*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8583-2>

Selfbits. (2019). *Operational data collection in production*. <https://selfbits.de/en/2019/09/11/operational-data-collection-in-production>

Urbach, N. i Röglinger, M. (2019). *Digitalization cases: How organizations rethink their business for the digital age*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-95273-4>

Wohllebe, A. (2021). Scrum as an agile method for strategic organizational learning in digital enterprise transformation: Applying the four elements of organizational learning. W K. Sandhu, *Disruptive technology and digital transformation for business and government* (s. 24–42). IGI Global.

Wrycza, S. i Maślankowski, J. (red.). (2019). *Informatyka ekonomiczna: Teoria i zastosowania*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (wyd. 6). SAGE Publications Inc.

Adam Ostrowski jest konsultantem wdrożeniowym rozwiązań Business Intelligence (międzynarodowe certyfikaty). Jego zainteresowania naukowe dotyczą konwergencji systemów ERP i procesów produkcyjnych oraz wdrożeń systemów analityki biznesowej w przedsiębiorstwie.