

# Dojrzałość cyfrowa w mapowaniu usług Europejskiego Hubu Innowacji Cyfrowych

Emilia Mazgajczyk

Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław

Krzysztof Pietrusewicz

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Elektryczny, Katedra Automatyki i Robotyki, Al. Piastów 17, 70-310 Szczecin

Krzysztof Kujawski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Koordynator Informatyzacji Procesów, Al. Piastów 17, 70-310 Szczecin

**Streszczenie:** Europejskie Huby Innowacji Cyfrowej stanowią punkt kompleksowej obsługi przedsiębiorców, wspierający ich transformację cyfrową. Kluczowym wyzwaniem pozostaje sformułowanie spójnej wizji i planu działania, które wyznaczą kierunek transformacji. Narzędziem identyfikacji wiedzy na temat kondycji przedsiębiorstwa oraz wyznaczenia ścieżki lub mapy drogowej wdrożenia cyfrowych technologii są modele dojrzałości cyfrowej. Ustalenie strategii rozwoju przedsiębiorstwa jest przeprowadzenie oceny dojrzałości cyfrowej dokonanej zgodnie z modelem Digital Maturity Assessment Tool. Strategicznym etapem jest dopasowanie odpowiedniego pakietu usług dla badanego przedsiębiorstwa. W artykule wykazano wpływ wyników analizy DMAT na pakiet usług oferowanych przez EDIH. Zaprezentowano przykład mapowania pakietu usług dla wybranego przedsiębiorstwa produkcyjnego z sektora MŚP. Omówiono metamodel narzędzia do symulacji pakietów usług świadczonych przez sieć EDIH. Praca składa się z pięciu części, wprowadzenia i podsumowania. Części 2. i 3. poświęcone są hubom EDIH oraz oferowanym przez nie usługom, skierowanym do MŚP. W części 4. omówiono modele dojrzałości charakterystyczne dla referencyjnych modeli architektury oraz przydatności ich stosowania do oceny dojrzałości. W części 5. przedstawiono metamodel S(d)MART, a w części 6. przykład praktycznego powiązania oceny dojrzałości z oferowanymi przez EDIH usługami lub pakietami usług. Część ostatnia zawiera podsumowanie pracy.

**Słowa kluczowe:** dojrzałość cyfrowa, cyfrowa transformacja, Europejski Hub Innowacji Cyfrowych, portfolio usług, MŚP, automatyzacja procesów, S(d)MART, dojrzałość cyfrowa, zarządzanie relacjami, metamodelowanie, modelowanie

## 1. Wprowadzenie

Transformacja cyfrowa stanowi wyzwanie dla konkurencyjności i innowacyjności mikro-, małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) [1]. Ma ogromne znaczenie dla przedsiębiorstw we wszystkich sektorach na całym świecie [2]. Wiele przedsiębiorstw we wszystkich rejonach Unii Europejskiej zмага się z wyzwaniami związanymi z adaptacją do dynamicznie rozwijających się nowych technologii, które stają się dominu-

jącymi źródłami zmian [3]. Są to m.in. Sztuczna Inteligencja, Obliczenia w chmurze, Big Data, Analiza danych, czy Internet Rzeczy (IoT) [3].

Podmioty gospodarcze sektora MŚP w znacznym stopniu przyczyniają się do rozwoju gospodarczego wielu krajów, a zarówno rozwinięte, jak i rozwijające się regiony mają przewagę tego typu działalności na rynku. Zwłaszcza w krajach rozwijających się, oprócz funkcji gospodarczej, MŚP mają znaczenie społeczne. Bezpośrednio wpływają na zaangażowanie w pracy znacznej liczby pracowników, rozwój regionów wiejskich, zachęcanie do przedsiębiorczości. Z uwagi na to, że MŚP przyczyniają się do stabilnego i zrównoważonego wzrostu gospodarczego, będąc fundamentem dla długoterminowego rozwoju w krajach rozwijających się, szczególnie ważne jest ich wsparcie w dostawianiu się do ery cyfrowej [22].

Adaptacja do cyfrowej rewolucji wymaga holistycznego zarządzania w celu przeprowadzenia przedsiębiorstwa przez wielowymiarową zmianę – począwszy od wpływu na relację z klientami, przez procesy wewnętrzne, na zmianach kulturowych, zarząd-

### Autor korespondujący:

Krzysztof Pietrusewicz, krzysztof.pietrusewicz@zut.edu.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 23.10.2024 r., przyjęty do druku 06.12.2024 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

czych i technologicznych skończywszy [4, 5]. Wszystko to obejmuje wdrożenie środków, które znacznie wykraczają poza aspekty techniczne [23]. MŚP mają ograniczone zasoby do planowania i wdrażania cyfrowych projektów [6]. Głównym wyzwaniem jest zdefiniowanie wizji i planu działania, które określają kierunek zmian [2].

Przedsiębiorstwa, by pozostać konkurencyjnymi, są zmuszone do ciągłego aktualizowania swojego modelu biznesowego i strategii organizacyjnej. Skuteczne wdrożenie innowacyjnych, cyfrowych technologii wymaga sformułowania strategii cyfrowej i planu wdrożenia. W jaki jednak sposób MŚP może dokonać oceny swojej gotowości do zmian? Ugruntowanym podejściem do oceny potrzeb MŚP w zakresie cyfryzacji są modele dojrzałości cyfrowej [7].

W kwietniu 2016 r. Komisja Europejska uruchomiła strategię „Digitalizacja Europejskiego Przemysłu” DEI (ang. *Digitalising European Industry*), aby wzmocnić konkurencyjność Unii Europejskiej w dziedzinie technologii cyfrowych, zapewniając dostęp każdemu przedsiębiorcy z sektora MŚP w Europie do pobliskiego centrum innowacji cyfrowych DIH (ang. *Digital Innovation Hub*) [8, 24]. Centra innowacji cyfrowych, które z definicji mają za zadanie wspierać MŚP w poruszaniu się w świecie zaawansowanym cyfrowo (w tym korzystaniu ze sztucznej inteligencji, dbaniu o cyberbezpieczeństwo i rozwoju umiejętności cyfrowych), stały się potężnymi narzędziami dla krajowych oraz regionalnych decydentów politycznych, którzy szukają sposobów na ożywienie swoich gospodarek [25]. Centra innowacji cyfrowych mają za zadanie wprowadzić nowe innowacyjne sposoby pracy, nowe modele biznesowe i bardziej innowacyjne produkty w sektorze MŚP.

Polskie Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii ustanowiło Program Ministra na lata 2019–2021 „Przemysł 4.0”, którego celem było wyłonienie, rozbudowa i uzupełnienie potencjału ośrodków, które mają zdolność pełnienia roli Hubów Innowacji Cyfrowych, wypracowanie dobrych praktyk i standaryzacja świadczonych przez nie usług, oraz wsparcie przedsiębiorców w zakresie produktowej, usługowej oraz organizacyjnej transformacji, przy wykorzystaniu najnowocześniejszych rozwiązań technologicznych, takich jak:

- a) łączność w technologii 5G,
- b) algorytmy uczące się (Sztuczna Inteligencja), w tym systemy autonomiczne,
- c) Internet Rzeczy (IoT),
- d) BIM (Building Information Modelling),
- e) chmura obliczeniowa,
- f) technologie kwantowe (Quantum Computing),
- g) rozszerzona i wirtualna rzeczywistość (AR i VR),
- h) automatyka i robotyka (Computer Integrated Manufacturing),
- i) cyberbezpieczeństwo,
- j) technologie przyrostowe (druku 3D),
- k) mikroelektronika [26].

Program „Przemysł 4.0” nie wykluczał żadnych regionów ze wsparcia. Z inicjatyw opisanych w programie skorzystać mogły chętne przedsiębiorstwa ze wszystkich sektorów gospodarki. Priorytetowe były przedsiębiorstwa produkcyjne oraz świadczące usługi na ich potrzeby.

Konsorcja realizujące program miały wesprzeć Ministerstwo w zdobyciu doświadczenia oraz w budowie potencjału polskich ośrodków innowacji cyfrowych. Celem ich działalności była również standaryzacja usług przed nową perspektywą finansową 2021–2027, kiedy to miała zostać powołana europejska sieć hubów innowacji cyfrowych EDIH (ang. *European Digital Innovation Hub*). Program wpisywał się w ustalone kierunki polityki gospodarczej kraju opisanej w Strategii Innowacyjności i Efektywności Gospodarki. „Przemysł 4.0” koncentrując się na promocji transformacji cyfrowej polskich podmiotów

gospodarczych przez ułatwienie dostępu do wiedzy i technologii, zapewnienie doradztwa technologicznego oraz umożliwienie testowania aplikacji i technologii, wspierał innowacyjność polskiej gospodarki doskonaląc technologie produkcyjne, automatyzację, robotyzację i cyfryzację przedsiębiorstw. Swoim zakresem program wspierał przedsiębiorstwa w przewyżczeniu zidentyfikowanych wyzwań, takich jak ograniczone zasoby finansowe i czasowe, a także niedostatek specjalistycznej wiedzy i know-how, niezbędnych do pełnej realizacji zamierzonych celów [9].

W kontekście regionalnym huby EDIH pełnią istotną rolę w budowaniu innowacyjności i konkurencyjności regionów przez integrację regionalnych ekosystemów innowacji, w tym przedsiębiorstw, uczelni wyższych, instytutów badawczych czy jednostek administracji publicznej. Ułatwiają dostęp do zasobów, takich jak laboratoria, infrastruktura testowa oraz specjalistyczne know-how. Wspierają realizację regionalnych strategii inteligentnej specjalizacji (RIS3). Ważnym jest też fakt, że huby EDIH są platformą współpracy, łączą lokalnych partnerów z europejską siecią innowacji. Współpraca między hubami z różnych regionów UE wzmacnia wymianę doświadczeń i najlepszych praktyk wspierających transformację cyfrową w Europie, jednocześnie integrując lokalne ekosystemy z rynkiem europejskim i zmniejszając dysproporcje w rozwoju cyfrowym między regionami.

## 2. Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych (EDIH)

Dostosowanie strategii inteligentnej specjalizacji do ogólnej polityki Unii Europejskiej ma kluczowe znaczenie dla rozwoju regionalnego. Uruchomiona przez Komisję Europejską inicjatywa DEI pozwoliła na koordynację działań państw członkowskich i ich regionów w celu osiągnięcia wspólnych celów. Jednym z kluczowych elementów strategii DEI są Centra Innowacji Cyfrowych (DIH) [27]. Podczas gdy rozwój cyfrowy jest priorytetem i powtarzającym się celem większości regionalnych Strategii Inteligentnych Specjalizacji S3 (ang. *Smart Specialisation Strategies*) w Europie, Centra Innowacji Cyfrowych (DIH) są instrumentem polityki, który może przyczynić się do osiągnięcia tego celu przez zwiększenie digitalizacji przemysłu w każdym kraju lub regionie europejskim.

DIH to kompleksowy punkt obsługi, będący strukturą typu „one-stop shop”, która pomaga organizacjom ulepszać procesy, przez wprowadzanie innowacji w produktach i usługach przy użyciu technologii cyfrowych [8]. Pomaga zainteresowanym stać się bardziej konkurencyjnymi w zakresie procesów biznesowych/produkcyjnych, produktów lub usług wykorzystujących technologie cyfrowe, zapewniając dostęp do wiedzy technicznej i eksperymentów, dzięki czemu mogą „testować przed zainwestowaniem” [10]. Centra innowacji cyfrowych, głęboko osadzone w swoich regionalnych ekosystemach, mogą pełnić rolę koordynatorów transformacji cyfrowej. Równocześnie jednak, kluczowe znaczenie ma współpraca oraz budowanie relacji między różnymi centrami, co umożliwia wymianę najlepszych praktyk między różnymi regionami oraz zdobywanie niezbędnej wiedzy specjalistycznej. Taka wymiana sprzyja tworzeniu bardziej wydajnego i zintegrowanego ekosystemu innowacji [27].

Europejskie DIH integrują zalety wynikające z lokalnej obecności z możliwościami oferowanymi przez paneuropejską sieć współpracy. Ich strategiczne rozmieszczenie w regionach umożliwia efektywne świadczenie usług dostosowanych do specyficznych potrzeb lokalnych przedsiębiorstw, z uwzględnieniem charakterystyki regionalnych ekosystemów językowych i innowacyjnych. Jednocześnie, dzięki międzynarodowemu zasięgowi sieci DIH, możliwa jest intensywna wymiana dobrych praktyk

między ośrodkami w różnych państwach, a także zapewnienie dostępu do wysoko wyspecjalizowanych kompetencji i usług w regionach, w których lokalnie brakuje odpowiednich zasobów. Taka struktura wzmacnia potencjał innowacyjny regionów oraz wspiera równomierny rozwój technologiczny w całej Europie [28].

Transformacja cyfrowa przedsiębiorstw (oraz sektora administracji publicznej) została jednym z nadrzędnych priorytetów UE. W ramach programu Cyfrowa Europa DEP (ang. *Digital Europe Programme*) przeznaczono na ten cel blisko 7,6 mld euro [28]. Program przyczynia się do zwiększenia liczby centrów innowacji cyfrowych, ze szczególnym uwzględnieniem rozwoju sztucznej inteligencji. Będzie również finansował działania współpracy w zakresie wykorzystania superkomputerów, rozwoju zaawansowanych umiejętności cyfrowych, sieci cyfrowych o dużej przepustowości czy działań zwiększających odporność na cyberatak [29]. Zrealizowany przez Polskę Program Ministra „Przemysł 4.0” wspomógł decyzję ministerstwa w wyłonieniu kandydatów do starania się o miano Europejskiego Hubu Innowacji Cyfrowej. W 2021 r. ogłoszono listę 25 ośrodków, które otrzymały nominację do wystartowania w konkursie europejskim [30]. Ostatecznie finansowanie otrzymało 11 ośrodków. W listopadzie 2024 r. w Polsce operacyjnie działa 10 konsorcjów finansowanych z DEP oraz trzy o statusie „*Seal of Excellence*” („Pieczęć doskonałości”, tj. zostały ocenione pozytywnie w europejskim konkursie, ale są finansowane wyłącznie ze środków krajowych lub regionalnych).

Kluczowe dla sukcesu inicjatywy, jaką jest zbudowanie paneuropejskiej sieci hubów innowacji cyfrowych, są inwestycje w rozwój kompetencji cyfrowych, budowa infrastruktury wspierającej współpracę oraz wypracowanie spójnych procedur i standardów, które ułatwią transfer wiedzy i technologii w całej Unii Europejskiej. Nawiązywanie partnerstw z hubami w innych krajach, np. w celu realizacji wspólnych szkoleń, webinarów, projektów badawczych czy aktywności pozwalających na testowanie nowoczesnych technologii, pozwoli uzyskać wymierne korzyści. Wspólne wydarzenia i konferencje umożliwiają nawiązywanie relacji między hubami, przedsiębiorstwami i innymi interesariuszami w Europie. Z drugiej strony współpraca międzynarodowa stanowi swego rodzaju wyzwanie. Różnice w regulacjach prawnych, standardach technicznych czy infrastrukturze mogą utrudniać transfer rozwiązań technologicznych między krajami. Regiony o mniejszym zaawansowaniu technologicznym mogą mieć trudności z nawiązaniem równorzędnej współpracy z bardziej rozwiniętymi hubami, a bariera językowa może spowodować dodatkowe ograniczenia w komunikacji. Należy jednak podkreślić kilka korzyści, jakie wynikają z paneuropejskiego zasięgu sieci EDIH: dostęp do unikalnych innowacyjnych technologii oraz infrastruktury, możliwość skorzystania z ofert na specjalistyczne szkolenia, które nie są dostępne lokalnie, czy w końcu kontakty z partnerami z sąsiednich krajów, które otwierają możliwość ekspansji na nowe rynki i pozyskiwanie międzynarodowych inwestorów.

### 3. Portfolio usług EDIH

Komisja Europejska przewidziała cztery główne kategorie charakteryzujące portfele usług DIH [11]:

1. „Ekosystem innowacji i tworzenie sieci” dający możliwości nawiązywania kontaktów przez rynki i działalność brokerską;
2. „Umiejętności i szkolenia” w celu jak najlepszego wykorzystania innowacji cyfrowych: programy „szkolenia trenerów”, bootcampy, staże, wymiana programów nauczania i materiałów szkoleniowych;
3. „Test przed inwestycją” czyli eksperymentowanie z nowymi technologiami cyfrowymi – oprogramowaniem i sprzętem –

w celu zrozumienia nowych możliwości i zwrotu z inwestycji, w tym również obiekty demonstracyjne i pilotaże;

4. „Wsparcie w znajdowaniu inwestycji”, tj. dostęp do instytucji finansowych i inwestorów, w celu uzyskania dostępu do finansowania następczego w celu przeniesienia wyników testowania i eksperymentowania do następnej fazy, dostęp do programów inkubacyjnych i akceleracyjnych.

Usługi wsparcia, które mogą być oferowane przez DIH, obejmują budowanie świadomości technologii digitalizacji, eksploatację innowacji, rozwój wizji i strategii dla przedsiębiorstw, szkolenia, dostęp do funduszy i inwestycji, badania możliwości podjęcia współpracy, wydarzenia promocyjne i sieciowe itp. Poprzez DIH organizacja może nawiązać kontakt z inwestorami, uzyskać dostęp do wiedzy na temat transformacji cyfrowej, połączyć użytkowników i potencjalnych partnerów, a także udoskonalić swoje strategie rozwoju biznesu i marketingu.

DIH zostały zidentyfikowane jako strategiczny ośrodek wspierania cyfrowej transformacji firm, zwłaszcza MŚP, a także promowania wdrażania technologii cyfrowych w ich działalności. Zestaw usług świadczonych przez DIH i składający się na ich portfolio usług musi być jasno zdefiniowany i odpowiednio pogrupowany, aby można było go dostosować do potrzeb przedsiębiorstwa [12]. Niezbędnym krokiem do przygotowania dopasowanego pakietu usług jest przeprowadzenie analizy dojrzałości cyfrowej przedsiębiorstwa. Podejście takie ma strategiczny charakter i pozwala na uchwycenie wielowymiarowego zasięgu transformacji cyfrowej [2].

Model dojrzałości cyfrowej może być narzędziem używanym do identyfikacji szerokiej skali wiedzy o obecnym stanie przedsiębiorstwa i wytyczenia ścieżki/mapy drogowej do wdrożenia technologii cyfrowych. Ponadto umożliwi firmom audyt, analizę porównawczą, śledzenie postępów, ocenę mocnych i słabych stron oraz możliwości w odniesieniu do wyników oceny [13]. Analizując wyniki mamy możliwość przedstawienia wskazówek dla MŚP mających wizję transformacji cyfrowej w odniesieniu do wdrożonych procesów i praktyk, dając pole do udoskonalenia swojego przedsiębiorstwa na kilku etapach i w różnych zakresach [14].

Skuteczność usług EDIH można zmierzyć przez regularną ewaluację jakości i wpływu tych usług na przedsiębiorców. Ocena taka mogłaby badać aspekt, w jakim stopniu firmy w konkretnej branży zdecydowały się na wdrożenie testowanej technologii, jaka była oszczędność wdrożenia dzięki przeprowadzeniu testów z wykorzystaniem know-how i infrastruktury sieci EDIH w porównaniu z komercyjnymi wdrożeniami. Istotnym elementem oceny powinno być również określenie wpływu usług EDIH na rozwój innowacji produktowej i procesowej danego przedsiębiorstwa. Jednym ze sposobów określenia skuteczności usług z zakresu „wsparcia w znajdowaniu inwestycji” jest z pewnością suma środków finansowych pozyskanych przez MŚP, dzięki współpracy z siecią EDIH lub mierzenie wzrostu zatrudnienia po udanej inwestycji. Narzędziem, z którego huby EDIH są zobligowane korzystać jest właśnie systematyczna ocena dojrzałości cyfrowej DMAT (ang. *Digital Maturity Assessment Tool*) w trzech punktach czasowych: T0 – przed skorzystaniem z usług, T1 – po roku i T2 – po dwóch latach.

### 4. Modele dojrzałości cyfrowej dla Przemysłu 4.0

Złożoność projektów adresujących wdrażanie technologii Przemysłu 4.0 w MŚP doprowadziła do sytuacji, w której niezbędne jest wprowadzenie określonych standardów opisu przedsiębiorstwa produkcyjnego [31]. Najważniejszym obecnie referencyjnym modelem architektury rekomendowanym dla MŚP produkcyjnych w Europie jest RAMI 4.0 (ang. *Refe-*



rence Architecture Model Industry 4.0) [15, 16, 32]. Model ten jest stosowany zarówno do oceny, jak i planowania projektów związanych z wdrażaniem technologii Przemysłu 4.0. Stanowi holistyczny sposób opisu architektury przedsiębiorstwa. Popularność i ugruntowaną pozycję jako standardu podkreśla dostępność darmowego przybornika (narzędzia modelowania w technologii MDG) dla oprogramowania Enterprise Architect [33], dzięki któremu możliwe jest dokumentowanie procesów zachodzących w przedsiębiorstwach produkcyjnych w ustrukturyzowany sposób. Dokumentacja techniczna RAMI 4.0 Toolbox w przystępny sposób prezentuje kroki projektowania przedsiębiorstwa zgodnie z metamodeliem RAMI 4.0.

Zupełnie innym celem opisu dojrzałości, lub szerzej – gotowości do transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 było opracowanie podejścia ADMA (ang. *ADvanced MANufacturing*) [34]. Koncepcja ta została opracowana dla potrzeb definiowania strategicznych kierunków rozwoju MŚP o profilu produkcyjnym. Model ten składa się z siedmiu obszarów transformacji, w ramach których 51 szczegółowych zagadnień rozwoju przedsiębiorstwa pogrupowanych jest w 18 kategorii. Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości opublikowała całkowicie darmowe narzędzie, dzięki któremu firmy samodzielnie mogą przeprowadzić tzw. „skan ADMA” [35].

Najprostszym z przywołanych tutaj modeli dojrzałości jest zaproponowany na potrzeby optymalnego doboru usług oferowanych przez konsorcja EDIH w całej Europie Digital Maturity Assessment Tool for SME [36], dostępny aktualnie w wersji otwartej, w postaci narzędzia analitycznego do darmowego użytku [37]. Pełna dokumentacja narzędzia DMAT [38] zawiera, poza samymi pytaniami kontrolnymi, kompletny algorytm obliczania poziomów dojrzałości w poszczególnych obszarach, jak również rekomendacje dla przedziałów poziomów dojrzałości.

Poza wskazanymi modelami, w literaturze znanych jest o wiele więcej tzw. referencyjnych modeli architektury, modeli dojrzałości czy inaczej modeli gotowości do transformacji – zarówno cyfrowej, jak i bardziej ogólnej – w kierunku Przemysłu 4.0. Jednym z bardziej zaawansowanych i kompleksowych modeli jest ten, opracowany przez Acatech [23].

Ogólnym celem badania jest zapewnienie możliwości ustalenia aktualnego etapu dojrzałości firm oraz zidentyfikowania konkretnych działań, które pomogą im osiągnąć wyższy etap dojrzałości w celu osiągnięcia maksymalnych korzyści ekonomicznych płynących z Przemysłu 4.0 i cyfryzacji. Różne modele realizują ten cel według różnych, niekiedy bardzo zawilonych wytycznych.

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono trzy modele, z czego pierwszy – RAMI 4.0 – jest modelem opisu procesów zachodzących w przedsiębiorstwie produkcyjnym, podczas gdy dwa kolejne: ADMA oraz DMAT są modelami odpowiednio: gotowości do transformacji w kierunku przyjęcia statusu Fabryki Przyszłości oraz analizy dojrzałości do transformacji cyfrowej w drodze do uzyskania wsparcia w ramach projektu EDIH.

Audyt z zastosowaniem wybranego modelu prowadzi się po to, by w pierwszej kolejności ocenić aktualny stan gotowości firmy do podjęcia kroków zmierzających do transformacji. Najpopularniejszym i najbardziej oczywistym sposobem monitorowania zmiany jest cykliczne powtarzanie audytu z zastosowaniem tego samego modelu. Próba analizy na podstawie stosowania różnych modeli w odstępach czasowych nie prowadzi do wartościowych wniosków, chyba że istnieje możliwość powiązania modeli audytu między sobą.

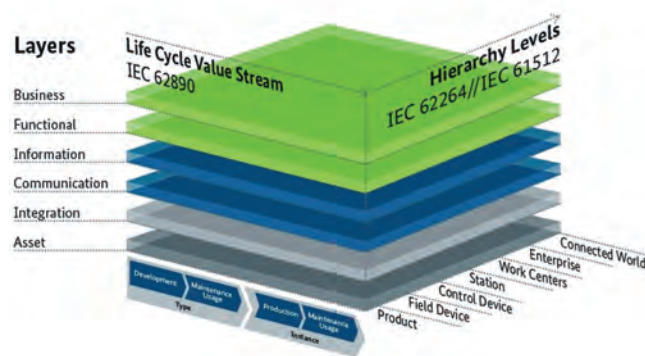
Istotnym powodem stosowania przedstawionych tutaj modeli audytu jest zapewnienie czytelności mapowania proponowanych do realizacji (po przeprowadzeniu analizy dojrzałości) działań: zakupów, świadczonych usług, planowanych do dofinansowania projektów, szkoleń dla kadry na różnych

poziomach zarządzania, opracowywania strategii sprzedażowych.

#### 4.1. RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry 4.0)

RAMI 4.0 ang jest jednym z kilkunastu aktualnie dostępnych tzw. referencyjnych modeli architektury, adresujących liczne zagadnienia projektowania systemów – w tym systemów technicznych wspierających zastosowanie technologii Przemysłu 4.0. Do najbardziej popularnych zaliczamy: Administration Shell, Industrial Internet Reference Architecture, IICF, BDVA SIRA, FIWARE Architecture, Edgex Architecture, x-Tee, Data Transfer Project Architecture, IoT-A Reference Architecture, Industrial Value Chain Reference Architecture, Ocean Protocol, OpenFog Reference Architecture, IDS RAM, OCF Framework oraz AII Industrial Internet Architecture.

Na rys. 1 zaprezentowano trzy wymiary modelu RAMI 4.0. Pierwszy z nich to „Life Cycle and Value Stream”, zgodnie z normą IEC 62890 „Industrial-process measurement, control and automation – Life-cycle-management for systems and components” definiuje fazy rozwoju produktu: od jednostkowego prototypu poszczególnych elementów systemu, przez prototyp maszyny (systemu) po ostateczny produkt, składający się z uprzednio zweryfikowanych i gotowych do użycia komponentów. W drugim wymiarze analizujemy przedsiębiorstwo produkcyjne z perspektywy hierarchii poszczególnych systemów sterowania w przedsiębiorstwie i ich integracji, zgodnie z międzynarodowym standardem IEC 62264/IEC 61512 („Hierarchy Levels”). Istotną nowością w stosunku do architektury charakterystycznej dla trzeciej rewolucji przemysłowej jest pojawienie się w hierarchii elementu „Connected World” – związanego nie tylko z wymianą informacją między fabryką a klientami, ale również między oddziałami (fabrykami) tego samego właściciela.



Rys. 1. Graficzna interpretacja metamodelu RAMI 4.0 [32]

Fig. 1. Graphical interpretation of the RAMI 4.0 metamodel [32]

Trzeci wymiar modelu RAMI 4.0 związany jest z perspektywą, z jakiej dyskutujemy na temat projektowania systemu (fabryki). Im wyższa warstwa, tym analiza jest bardziej związana z aspektami biznesowymi działania przedsiębiorstwa. W warstwach modelu RAMI 4.0 wyróżniamy: zasoby, rzeczy w świecie fizycznym (Asset); włączenie zasobów do świata cyfryzacji, cyfrowa reprezentacja fizycznych zasobów (Integration); dostęp do informacji, warstwa fizyczna komunikacji (Communication); zapewnienie niezbędnych dla funkcjonowania systemu danych (Information); określenie funkcji zasobów, wymieniających się danymi w ramach projektowanego systemu (Functional); organizacja procesów biznesowych w ramach całego przedsiębiorstwa produkcyjnego (Business).

Model RAMI 4.0 ma zastosowanie w zagadnieniach projektowych, w których: niezbędna jest analiza szeroko rozumianej zgodności z normami i standardami [39]; konieczne jest wyja-

śnianie idei Przemysłu 4.0 oraz uporządkowane poszerzenie wiedzy w tym zakresie [40, 41]; prowadzona jest holistyczna analiza przedsiębiorstwa produkcyjnego z zastosowaniem inżynierii systemów [33]; definiowane są założenia dla rozwoju przedsiębiorstwa produkcyjnego w kierunku tzw. Fabryki Przyszłości [31].

## 4.2. ADMA (ADvanced MANufacturing)

Model ADMA opracowano w ramach projektu finansowanego ze środków Agencji EASME Komisji Europejskiej w ramach umowy GRO-SME-17-C-063 [42]. Celem metodyki ADMA jest określenie poziomu dojrzałości przedsiębiorstw produkcyjnych (szczególnie MŚP) w zakresie transformacji niezbędnych do uruchomienia tzw. Fabryk Przyszłości [43].

W ramach podejścia ADMA zdefiniowano siedem obszarów transformacji:

- Zaawansowane technologie produkcyjne (T1);
- Fabryka cyfrowa (T2);
- Fabryka ekologiczna (T3);
- Kompleksowa inżynieria zorientowana na klienta (T4);
- Organizacja skupiona na człowieku (T5);
- Inteligentna produkcja (T6);
- Otwarta fabryka skoncentrowana na łańcuchu wartości (T7).

Model ADMA jest przedmiotem szczegółowego opisu w wielu publikacjach [17, 43–45].

## 4.3. Model Digital Maturity Assessment Tool for SME

Model DMAT opracowano w ramach działań JRC (ang. *Joint Research Centre*). JRC we współpracy z DG CNCT (ang. *Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology*) opracowało nowy model oceny dojrzałości cyfrowej DMAT w celu pomiaru przyrostu dojrzałości cyfrowej klientów EDIH. W raporcie [38] przedstawiono główne elementy metodologii, która doprowadziła do stworzenia nowych ram i dwóch kwestionariuszy, które zostały opracowane i są obecnie używane przez EDIH. Raport miał na celu dostarczenie EDIH oraz innym zainteresowanym stronom uzasadnienia, zarysu zastosowanej metodologii i praktycznych wskazówek dotyczących korzystania z ram dojrzałości cyfrowej.

Model DMAT składa się z sześciu obszarów (WYMIARÓW) dojrzałości cyfrowej [38]:

- (W1) Strategia biznesowa w zakresie cyfryzacji,
- (W2) Gotowość cyfrowa,

- (W3) Cyfryzacja ukierunkowana na wsparcie człowieka,
- (W4) Zarządzanie danymi i łączność,
- (W5) Automatyzacja i sztuczna inteligencja,
- (W6) Ekologiczne aspekty cyfryzacji (tzw. zielona cyfryzacja).

### 4.3.1. Strategia biznesowa w zakresie cyfryzacji

W ramach wymiaru W1 wyróżniono dwie KATEGORIE:

- (W1.K1) Inwestycje w cyfryzację w poszczególnych obszarach biznesowych (zrealizowane i planowane),
- (W1.K2) Gotowość przedsiębiorstwa do cyfryzacji.

W ramach kategorii W1.K1 jest 10 ZAGADNIENIŃ związanych ze zrealizowanymi i planowanymi w firmie inwestycjami związanymi z cyfryzacją. W ramach kategorii W1.K2 – 10 zagadnień związanych z różnymi obszarami gotowości przedsiębiorstwa produkcyjnego do podjęcia trudu cyfryzacji.

### 4.3.2. Gotowość cyfrowa

W ramach wymiaru W2 wyróżniamy dwie kategorie:

- (W2.K3) Technologie i rozwiązania cyfrowe,
- (W2.K4) Zaawansowane technologie cyfrowe.

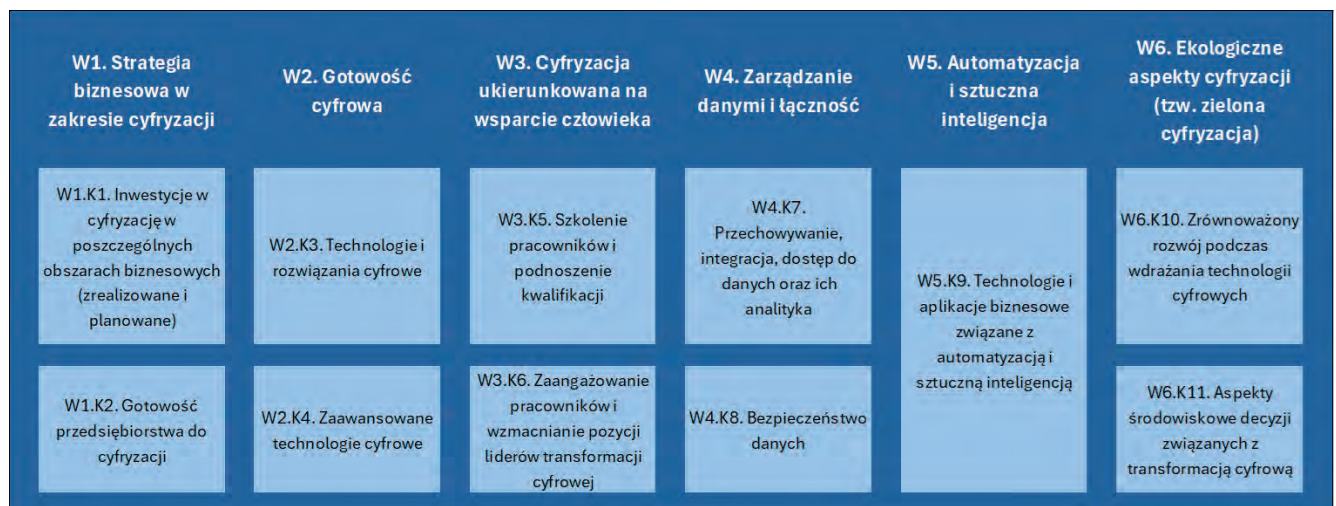
Kategoria W2.K3 zawiera 10 zagadnień związanych z wykorzystaniem technologii cyfrowych w analizowanym przedsiębiorstwie. W ramach kategorii W2.K4 wyróżniamy siedem zagadnień związanych z analizą stopnia wykorzystania w firmie zaawansowanych technologii cyfrowych, takich jak cyfrowe bliźniaki, rzeczywistość wirtualna i rozszerzona, systemy klasy MES, przemysłowy Internet Rzeczy czy produkcja z zastosowaniem technologii przyrostowych.

### 4.3.3. Cyfryzacja ukierunkowana na wsparcie człowieka

W ramach wymiaru W3 wyróżniamy dwie kategorie:

- (W3.K5) Szkolenie pracowników i podnoszenie kwalifikacji,
- (W3.K6) Zaangażowanie pracowników i wzmacnianie pozycji liderów transformacji cyfrowej.

Kategoria W3.K5 zawiera siedem zagadnień związanych z aktywnością przedsiębiorstwa w zakresie systemowego podnoszenia kompetencji pracowników. W ramach kategorii W3.K6 zdefiniowano osiem zagadnień, związanych z działaniami firmy, wzmacniającymi pozycję pracowników, będących liderami cyfrowej transformacji oraz ogólnego podejścia do wsparcia kadry podczas wdrażania technologii cyfrowych.



Rys. 2. Podsumowanie modelu DMAT [38]

Fig. 2. Summary of the DMAT model [38]

### 4.3.4. Zarządzanie danymi i łączność

W ramach wymiaru W4 wyróżniamy dwie kategorie:

- (W4.K7) Przechowywanie, integracja, dostęp do danych oraz ich analityka,
- (W4.K8) Bezpieczeństwo danych.

W ramach kategorii W4.K7 wyróżniamy osiem zagadnień związanych ze stosowaniem narzędzi cyfrowych do pracy z danymi. W ramach kategorii W4.K8 wyróżniono sześć najistotniejszych zagadnień związanych z bezpieczeństwem danych oraz tego, jak kompetencje w zakresie bezpieczeństwa danych są podnoszone wśród kadry badanego przedsiębiorstwa.

### 4.3.5. Automatyzacja i sztuczna inteligencja

W wymiarze W5 zawarto jedną kategorię (W5.K9) Technologie i aplikacje biznesowe związane z automatyzacją i sztuczną inteligencją, która składa się z pięciu zagadnień związanych z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji do przetwarzania języka naturalnego, rozpoznawania obrazów czy robotyzacji i zautomatyzowanej analityki danych.

### 4.3.6. Ekologiczne aspekty cyfryzacji (tzw. zielona cyfryzacja)

W ramach ostatniego z sześciu wymiarów – W6 wyróżniono dwie kategorie:

- (W6.K10) Zrównoważony rozwój podczas wdrażania technologii cyfrowych,
- (W6.K11) Aspekty środowiskowe decyzji związanych z transformacją cyfrową.

W ramach kategorii W6.K10 wyróżniamy 10 zagadnień związanych z podnoszeniem dojrzałości ekologicznej wskutek wdrażania technologii cyfrowych, od narzędzi do zarząd-

zania emisjami, zanieczyszczeniami przez optymalizację zużycia zasobów po redukcję kosztów transportu i pakowania. W ramach kategorii W6.K11 analizowanych jest pięć zagadnień związanych z uwzględnianiem aspektów środowiskowych w podejmowaniu decyzji podczas realizacji zakupów jak i codziennej aktywności operacyjnej, m.in. w zakresie recyklingu sprzętu elektronicznego i/lub jego ponownego użycia.

Jak widać, model DMAT swoją rozpiętością obejmuje wszystkie aspekty wdrażania technologii cyfrowych do praktyki przedsiębiorstw produkcyjnych. Dzięki temu stanowi rekomendowane na poziomie europejskim narzędzie oceny dojrzałości cyfrowej, przyjęte jako obligatoryjne w programie Digital Europe.

## 4.4. DMAT, ADMA, RAMI 4.0 – podsumowanie

DMAT, ADMA oraz RAMI 4.0 są trzema różnymi metamodelami, opracowanymi dla różnych potrzeb (tab. 1).

DMAT jest metamodeliem oceny dojrzałości MŚP produkcyjnego w zakresie zielonej oraz cyfrowej transformacji. Ocena DMAT [36] została opracowana dla potrzeb działalności konsorcjów EDIH, by identyfikować potrzeby, dopasować na tej podstawie oferowane przez EDIH usługi. Narzędzie bazujące na metamodelu DMAT jest również obligatoryjnym sposobem monitorowania dla programu Digital Europe [37].

ADMA jest znacznie szerszym od DMAT metamodeliem [34, 35], obejmującym kompleksowy audyt wszystkich obszarów funkcjonowania przedsiębiorstw produkcyjnych: T1: Zaawansowane technologie produkcyjne; T2: Fabryka cyfrowa; T3: Fabryka ekologiczna; T4: Kompleksowa inżynieria zorientowana na klienta; T5: Organizacja skupiona na człowieku; T6: Inteligentna produkcja/fabryka oraz T7: Otwarta fabryka skoncentrowana na łańcuchu wartości.

Tab. 1. Porównanie modeli opracowanych z zastosowaniem DMAT, ADMA oraz RAMI 4.0

Tab. 1. Comparison of models developed using DMAT, ADMA and RAMI 4.0

Kategoria kryterium	Kryterium	DMAT	ADMA	RAMI 4.0
Struktura modelu	Liczba wymiarów/ obszarów analizy	6	7	3
	Liczba kategorii	11 (2, 2, 2, 2, 1, 2)	18 (4, 2, 2, 2, 4, 2, 2)	17 (4, 7, 6)
	Liczba podkategorii/ zagadnień w ramach wymiarów	86 (20, 17, 15, 14, 5, 15)	51 (10, 7, 7, 7, 19, 5, 5)	168 (4 × 7 × 6)
	Liczba możliwych do wyboru odpowiedzi w audycie	225 (40, 62, 30, 28, 30, 35)	255 (każde z zagadnień oceniane w skali 1..5)	nie dotyczy
Obszary zastosowania	Audyt dojrzałości/gotowości	++	++	-
	Dobór usług do potrzeb MŚP	++	+	-
	Analiza i dokumentowanie procesów zarządzania	-	+	++
	Dokumentacja w standardzie Model-Based Design	-	-	++
Dostępność narzędzi	Narzędzia	Dostępne dla EDIH [36, 37]	Opublikowane przez Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości [35]	Dostępny przybornik dla Enterprise Architect [33]
	Proces użycia metamodelu	Uporządkowany w programie Digital Europe	Dostępny na stronach Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości	Opisany w dokumentacji przybornika
	Proces Model-Based Design	Niedostępny	Niedostępny	Dostępny
		++ Całkowicie spełnia	+ Częściowo spełnia	- Nie spełnia



RAMI 4.0 nie jest metamodelem opracowanym na potrzeby audytu. Jest referencyjnym modelem architektury przedsiębiorstwa produkcyjnego, umożliwiającym zarówno analizę, jak również projektowanie i dokumentowanie wszystkich procesów i procedur: od aspektów biznesowych, przez funkcjonalne, wymiany informacji, narzędziami komunikacji po integrację i warstwę zasobów. Dzięki RAMI 4.0 możliwe jest ujęcie problemów związanych z rozwojem produktów oraz nowych procesów badawczo-rozwojowych w przedsiębiorstwie produkcyjnym. RAMI 4.0 to łącznie 168 ( $4 \times 7 \times 6$ ) różnych możliwości analizy przedsiębiorstwa produkcyjnego w trzech wymiarach. Dzięki dostępności przybornika RAMI 4.0 Toolbox [33] możliwe jest użycie metamodelu RAMI 4.0 w oprogramowaniu Enterprise Architect. RAMI 4.0 umożliwia analizę dojrzałości w zakresie modelowanych procesów, nie przez bezpośredni audyt, ale przez szczegółową analizę spójności projektu, np. w aspektach cyberbezpieczeństwa.

## 5. Ocena dojrzałości cyfrowej zgodnie z modelem Digital Maturity Assessment Tool for SME

Ocena dojrzałości cyfrowej – zgodnie z modelem DMAT – ma, jak każde tego typu narzędzie analityczne, określoną strukturę danych, zdefiniowaną w ramach swojego metamodelu [18].

W prezentowanej pracy wykorzystano wycinek (wybrane obiekty, relacje, role oraz funkcje incydencji) dziedzinowego języka modelowania (metamodelu), łączącego perspektywy opisujące: rozwiązywane przez wsparcie sieci EDIH problemy; organizację przedsiębiorstw z perspektywy kadrowej; zasoby, jakimi dysponują MŚP oraz EDIH w tym oferowane przez nie usługi; strukturę audytu typu DMAT; mapowanie zasobów oraz oferowanych przez EDIH usług do wyników ocen uzyskiwanych w audycie; wreszcie dokumentujące zdarzenia, podczas których następowały kolejne kroki wsparcia ze strony EDIH.

### 5.1. Metamodel S(d)MART

Metamodel DMAT jest w trakcie opracowania w formie technologii MDG dla oprogramowania Enterprise Architect. Zostanie w pełni opublikowany i udostępniony w otwartym dostępie, analogicznie do przybornika RAMI Toolbox [33] w drugim kwartale 2025 r. Robocza nazwa narzędzia to S(d)MART – Scalable (d)igital Maturity Assessment and Relationship management Tool.

Narzędzie S(d)MART tworzy metamodel złożony z licznych obiektów (tab. 2). Poszczególne obiekty można wykorzystywać na grafach, jak poniżej:

$$\begin{aligned} G_{PV}^{obj} &= \{obj_1, obj_2\} \\ G_{CV}^{obj} &= \{obj_1, obj_2, obj_3, obj_4, obj_5\} \\ G_{RV}^{obj} &= \{obj_1, obj_2, obj_3, obj_5, obj_6, obj_7, obj_8, obj_9, obj_{10}\} \\ G_{AV}^{obj} &= \{obj_3, obj_{11}, obj_{12}, obj_{13}, obj_{14}, obj_{15}\} \\ G_{AMV}^{obj} &= \{obj_3, obj_6, obj_7, obj_8, obj_9, obj_{14}\} \\ G_{MV}^{obj} &= \{obj_3, obj_5, obj_{17}\} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

**PV** – Problem View – perspektywa modelowania, dzięki której modelowane są wymagania oraz problemy, z jakimi borykają się przedsiębiorstwa; część koncepcyjna dla całości modelu, dzięki której w jednym miejscu możliwa jest analiza przekrojowa; ta część modelu to również zestaw przesłanek do podejmowania aktywności;

**CV** – Company View – perspektywa modelowania (graf), w ramach której możliwe jest definiowanie struktury organizacyjnej, ale również funkcjonalne powiązanie z uprzednio zidentyfikowanymi problemami; część wspólną stanowią bowiem obiekty, opisujące problemy:

$$G_{PV}^{obj} \cap G_{CV}^{obj} = \{obj_1, obj_2\} \quad (2)$$

**RV** – Resource View – perspektywa modelowania, w której najistotniejsze są obiekty związane z potencjałem przedsiębiorstwa, zarówno audytowanego, jak i wspierającego swoimi zasobami transformację cyfrową również u innych;

**AV** – Audit View – w tym widoku modelowania (perspektywie) można zamodelować dowolny audyt, przy założeniu, że architektura (struktura: wymiarów, kategorii, opcjonalnie podkategorii, zagadnień oraz przyjętych dla danego typu audytu ocen) będzie zgodna z zaproponowanym tutaj podejściem; perspektywa umożliwi również dokumentowanie przeprowadzonego audytu podczas zorganizowanego spotkania;

**AMV** – Audit Mapping View – perspektywa modelowania, dzięki której możliwa jest implementacja prezentowanego w niniejszej pracy podejścia zastosowania wag w powiązaniu oferowanych usług  $obj_9$  z zagadnieniami podlegającymi ocenie w ramach audytu DMAT [36, 37];

**MV** – Meeting View – perspektywa przeznaczona na szybkie modelowanie i podsumowanie notatek ze spotkania.

Tab. 2. Nazwy węzłów grafu (obiektów)

Tab. 2. Names of graph nodes (objects)

<i>i</i>	Object name – list	Nazwa obiektu – lista
0	0 – BASE	0_BAZOWY
1	1 – PROBLEM	1_PROBLEM
2	2 – REQUIREMENT	2_WYMAGANIE
3	3 – COMPANY	3_FIRMA
4	4 – COMPANY_UNIT	4_JEDNOSTKA_ORGANIZACYJNA
5	5 – PERSON	5_OSOBA
6	6 – RESOURCE	6_ZASÓB
7	7 – TECHNOLOGY	7_TECHNOLOGIA
8	8 – PUBLICATION	8_PUBLIKACJA
9	9 – SERVICE	9_USLUGA
10	10 – REALIZATION	10_REALIZACJA
11	11 – DMA_TOOL	11_NARZĘDZIE_DMA
12	12 – DMA_DIMENSION	12_WYMIAR_DMA
13	13 – DMA_CATEGORY	13_KATEGORIA_DMA
14	14 – DMA_ISSUE	14_ZAGADNIENIE_DMA
15	15 – DMA_EVAL	15_OCENA_DMA
16	16 – PROJECT	16_PROJEKT
17	17 – MEETING	17_SPOTKANIE

Tab. 3. Nazwy krawędzi grafu (relacji)  
 Tab. 3. Names of graph edges (relationships)

<i>j</i>	Relationship name (Nazwa relacji – obiektu)	Active part (Strona czynna)	Passive part (Strona bierna)	Relationship name (Nazwa relacji)	Relationship ID (ID relacji)
1	1 - HAS	Has	is Owned by	HAS	R <sub>01</sub>
2	2 - USES	Uses	is Used by	USES	R <sub>02</sub>
3	3 - CREATES	Creates	is Created by	CREATES	R <sub>03</sub>
4	4 - OFFERS	Offers	is Offered by	OFFERS	R <sub>04</sub>
5	5 - PERFORMS	Performs	is Performed by	PERFORMS	R <sub>05</sub>
6	6 - COMPOSITION	is Made up of	is Part of	COMPOSITION	R <sub>06</sub>
7	7 - SATISFIES	Satisfies	is Satisfied by	SATISFIES	R <sub>07</sub>
8	8 - EVALUATES	Evaluates	is Evaluated by	EVALUATES	R <sub>08</sub>
9	9 - SOLVES	Solves	is Solved by	SOLVES	R <sub>09</sub>
10	10 - ORIGINATES_AT	Originates at	is Origin of	ORIGINATES_AT	R <sub>10</sub>
11	11 - SUPPORT_DMAT	Supports	is Supported by	SUPPORT_DMAT	R <sub>11</sub>
12	12 - PARTICIPATION	Participates	Participant	PARTICIPATION	R <sub>12</sub>

Tab. 4. Obiekty i relacje w ramach przyjętych perspektyw modelowania S(d)MART  
 Tab. 4. Objects and relationships within the adopted S(d)MART modelling perspectives

		PROBLEM (1)	REQUIREMENT (2)	COMPANY (3)	COMPANY UNIT (4)	PERSON (5)	RESOURCE(6)	TECHNOLOGY (7)
Problem View	PROBLEM (1)							
	REQUIREMENT (2)	R <sub>10</sub>	R <sub>06</sub>					
Company View	COMPANY (3)	R <sub>01</sub>	R <sub>03</sub> , R <sub>07</sub>		R <sub>06</sub>	R <sub>06</sub>	R <sub>01</sub> , R <sub>03</sub>	R <sub>01</sub> , R <sub>03</sub>
	COMPANY UNIT (4)					R <sub>06</sub>		
	PERSON (5)		R <sub>03</sub> , R <sub>07</sub>				R <sub>03</sub>	R <sub>03</sub>
Resource View	RESOURCE (6)		R <sub>07</sub>				R <sub>06</sub>	
	TECHNOLOGY (7)		R <sub>07</sub>				R <sub>02</sub>	R <sub>06</sub>
	PUBLICATION (8)		R <sub>07</sub>				R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>
	SERVICE (9)		R <sub>07</sub>				R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>
	REALIZATION (10)	R <sub>09</sub>	R <sub>07</sub>				R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>
Audit View Audit Mapping View	DMA TOOL (11)			R <sub>08</sub>				
	DMA DIMENSION (12)							
	DMA CATEGORY (13)							
	DMA ISSUE (14)						R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>
	DMA EVAL (15)							
	PROJECT (16)							
Meeting View	MEETING (17)						R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>



Poszczególne relacje są możliwe do wykorzystania na grafach, np.:

$$\begin{aligned}
 G_{PV}^{rel} &= \{rel_6, rel_{10}\} \\
 G_{CV}^{rel} &= \{rel_1, rel_3, rel_6, rel_7\} \\
 G_{RV}^{rel} &= \{rel_1, rel_2, rel_3, rel_4, rel_5, rel_6, rel_7, rel_9\} \\
 G_{AV}^{rel} &= \{rel_2, rel_6, rel_8\} \\
 G_{AMV}^{rel} &= \{rel_2, rel_{11}\} \\
 G_{MV}^{rel} &= \{rel_2, rel_{12}\}
 \end{aligned} \tag{3}$$

W tab. 4 przedstawiono kompletną architekturę metamodelu, którego fragmenty wykorzystano w pracy. Dane w tab. 4 należy czytać dla wybranych przykładów:

1. W ramach grafu  $G_{PV} = \{G_{PV}^{obj}, G_{PV}^{rel}, src^{G_{PV}}, tgt^{G_{PV}}\}$  między obiektami (2\_WYMAGANIE)  $obj_2$  a (1\_PROBLEM)  $obj_1$  zachodzi relacja (10 - ORIGINATES\_AT)  $rel_{10}$ , czyli: 2 - REQUIREMENT Originates at 1 - PROBLEM;
2. W ramach grafu  $G_{AMV} = \{G_{AMV}^{obj}, G_{AMV}^{rel}, src^{G_{AMV}}, tgt^{G_{AMV}}\}$  między obiektami (9\_USŁUGA)  $obj_9$  a (14\_ZAGADNIENIE\_DMA)  $obj_{14}$  zachodzi relacja (11 - SUPPORT\_DMAT)  $rel_{11}$ ,

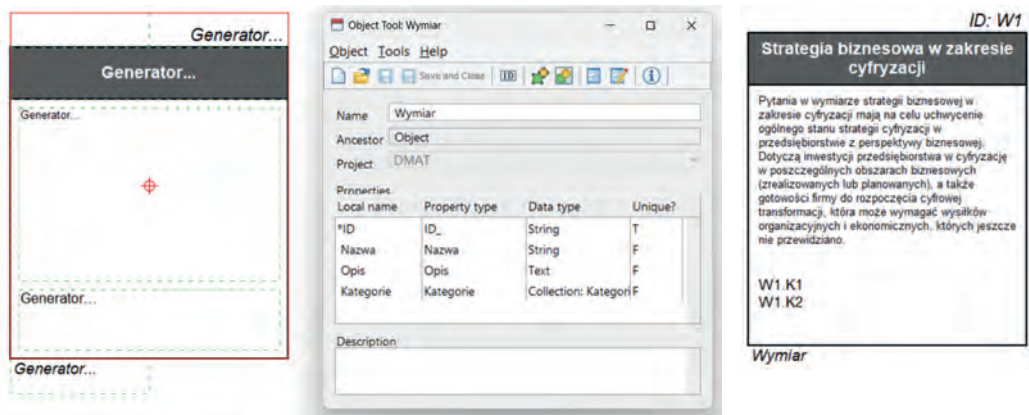
czyli: 9\_USŁUGA Supports 14\_ZAGADNIENIE\_DMA; dla tej relacji funkcja incydencji (3) uwzględni wagi (rys. 6):

$$f_{11,AMV}(rel_1) = \left\{ \left( (obj_3, obj_{14}), w_{obj_3, obj_{14}, 11} \right), \left( (obj_5, obj_{14}), w_{obj_5, obj_{14}, 11} \right), \left( (obj_9, obj_{14}), w_{obj_9, obj_{14}, 11} \right) \right\} \tag{4}$$

### 5.2. Ocena dojrzałości zgodnie z podejściem DMAT

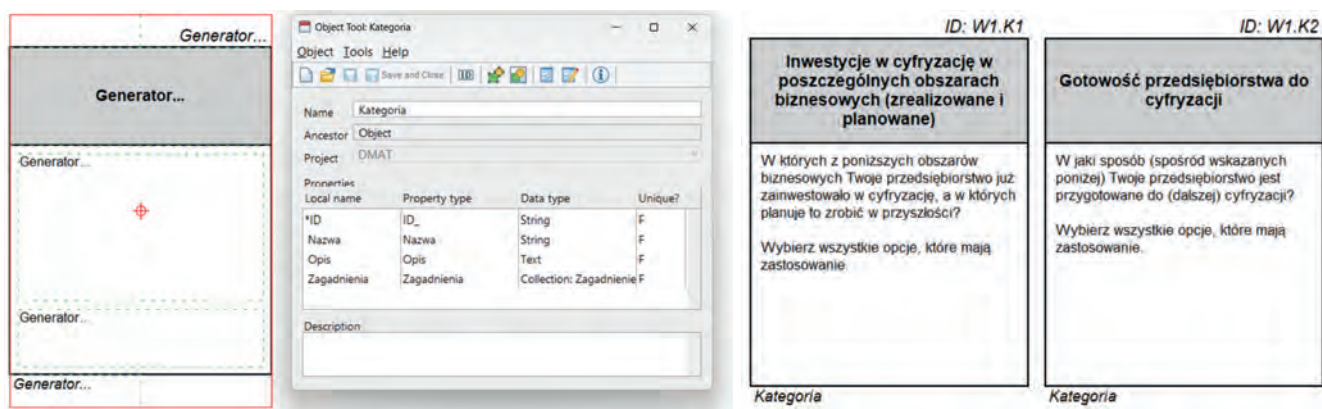
Metamodel DMAT zdefiniowano za pomocą trzech podstawowych obiektów danych: WYMIAR, KATEGORIA, ZAGADNIENIE. Pierwszym z obiektów danych, opisujących metamodel DMAT jest tzw. 12\_WYMIAR\_DMA dojrzałości cyfrowej. Na opis wymiaru składają się: ID – unikalny identyfikator; Nazwa – pole tekstowe; Opis – pole na dłuższy tekst, opis wymiaru dojrzałości; kolekcja Kategorie – referencje do obiektów typu 13\_KATEGORIA\_DMA. Do opracowania metamodelu wykorzystano oprogramowanie MetaEdit+ [19], stosowane zarówno w inżynierii oprogramowania [20] (do modelowania oprogramowania i projektowania generatorów

PUBLICATION (8)	SERVICE (9)	REALIZATION (10)	DMA TOOL (11)	DMA DIMENSION (12)	DMA CATEGORY (13)	DMA ISSUE (14)	DMA EVAL (15)	PROJECT (16)	MEETING (17)
R <sub>01</sub> , R <sub>03</sub>	R <sub>03</sub> , R <sub>04</sub>	R <sub>01</sub>				R <sub>11</sub>			
R <sub>03</sub>	R <sub>03</sub> , R <sub>04</sub> , R <sub>05</sub>	R <sub>05</sub>				R <sub>11</sub>			R <sub>12</sub>
R <sub>02</sub>									
R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>							
R <sub>02</sub>	R <sub>06</sub>		R <sub>02</sub>			R <sub>11</sub>			
R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>								
				R <sub>06</sub>					
					R <sub>06</sub>				
					R <sub>06</sub>	R <sub>06</sub>			
R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>						R <sub>06</sub>		
			R <sub>02</sub>			R <sub>08</sub>			
R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>	R <sub>02</sub>						



a) b) **Rys. 3.** Obiekt 12\_WYMIAR\_DMA – definicja obiektu graficznego wraz z generatorami symbolu graficznego (a) oraz model wymiaru W1. Strategia biznesowa w zakresie cyfryzacji (b)

Fig. 3. Object 12 - DMA\_DIMENSION – definition of a graphic object with graphic symbol generators (a) and dimension model W1. Digitalization business strategy (b)



a) b) **Rys. 4.** Obiekt 13\_KATEGORIA\_DMA – definicja obiektu graficznego wraz z generatorami symbolu graficznego (a) oraz model kategorii W1.K1, W1.K2 (b)

Fig. 4. Object 13 – DMA\_CATEGORY – definition of graphic object with graphic symbol generators (a) and category model W1.K1, W1.K2 (b)

kodu dowolnych języków programowania), jak również generowania dokumentacji [21].

Kolejnym zdefiniowanym obiektem danych jest **13\_KATEGORIA\_DMA**. Na opis kategorii składają się: **ID** – unikalny identyfikator; **Nazwa** – pole tekstowe; **Opis** – pole na dłuższy tekst, opis kategorii dojrzałości; kolekcja **Zagadnienia** – referencje do obiektów typu **14\_ZAGADNIENIE\_DMA**.

Ostatnim z trzech obiektów definiujących metamodel oceny dojrzałości DMAT jest **14\_ZAGADNIENIE\_DMA**. Na opis zagadnienia składają się: **ID** – unikalny identyfikator; **Nazwa** – pole tekstowe; **Opis** – pole na dłuższy tekst, opis zagadnienia. W ramach opisu zagadnień w modelu dojrzałości DMAT przyjęto różne sposoby oceny zagadnienia: można dokonać oceny binarnej, stwierdzając czy coś jest lub nie jest zrobione (dostępne); innym sposobem oceny jest użycie skali Likerta (odpowiedzi ułożonych zwykle w porządku od całkowitego odrzucenia do całkowitej akceptacji); proponowanym rozszerzeniem modelu DMAT jest również wskazanie przybliżonej daty, jeżeli w jakiejś odpowiedzi firma deklaruje plan podjęcia działania. Szczegółowy metamodel oceny nie został zaprezentowany w niniejszej pracy, z uwagi na złożoność, której prezentacja nie jest potrzebna z perspektywy kluczowego wyzwania, jakim jest mapowanie usług EDIH do modelu DMAT.

**Definicja 1. Obiekt/węzeł grafu**

W prezentowanym dziedzinowym graficznym języku modelowania wyróżniamy 18 możliwych węzłów grafu, czyli obiektów

(0\_BAZOWY; 1\_PROBLEM; 2\_WYMAGANIE; 3\_FIRMA; 4\_JEDNOSTKA ORGANIZACYJNA; 5\_OSOBA; 6\_ZASÓB; 7\_TECHNOLOGIA; 8\_PUBLIKACJA; 9\_USŁUGA; 10\_REALIZACJA; 11\_NARZĘDZIE\_DMA; 12\_WYMIAR\_DMA; 13\_KATEGORIA\_DMA; 14\_ZAGADNIENIE\_DMA; 15\_OCENA\_DMA; 16\_PROJEKT; 17\_SPOTKANIE) – obiektów, spośród których na potrzeby niniejszej pracy wybrano obiekty (patrz punkt 5.1):

$$G^{obj} = \{obj_3, obj_9, obj_{11}, obj_{12}, obj_{13}, obj_{14}, obj_{15}\} \tag{5}$$

Na potrzeby artykułu wybrano grafy oraz obiekty w ramach grafów:

$$\begin{aligned} G_{AV}^{obj} &= \{obj_3, obj_{11}, obj_{12}, obj_{13}, obj_{14}, obj_{15}\} \\ G_{AMV}^{obj} &= \{obj_3, obj_9, obj_{14}\} \end{aligned} \tag{6}$$

**Definicja 2. Relacja/strzałka grafu/krawędź grafu – funkcja incydencji**

Funkcja incydencji  $f_{j,k}$   $k$ -tego grafu skierowanego  $G_k$ , związana z  $j$ -tą krawędzią (relacją)  $rel_j$ , zachodzącą między węzłami (obiektami) źródłowym  $obj_{src_j}^{c_k}$  a docelowym  $obj_{tgt_j}^{c_k}$ , która może uwzględniać wagę  $w_{src_j, tgt_j}^{c_k}$  między obiektami, powiązanymi tą relacją, dana jest wzorem:

$$f_{j,k}(rel_j) = \left\{ \left( \left( obj_{src_j^{G_k}}, obj_{tgt_j^{G_k}} \right), w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j} \right) \right\} \quad (7)$$

W przeciwieństwie do klasycznej teorii grafów, zastosowanie do opisu dziedzinowego języka modelowania (metamodelu) wymaga doprecyzowania definicji funkcji incydencji.

Na potrzeby artykułu wybrano relacje w ramach grafów:

$$\begin{aligned} G_{AV}^{rel} &= \{rel_2, rel_6, rel_8\} \\ G_{AMV}^{rel} &= \{rel_2, rel_{11}\} \end{aligned} \quad (8)$$

Przykładowa rozszerzona funkcja incydencji dla grafu  $G_{AMV}$  może być opisana zależnością:

$$\begin{aligned} f_{2,AMV}(rel_2) &= \\ &= \left\{ (obj_{14}, obj_6), (obj_{14}, obj_7), (obj_{14}, obj_8), (obj_{14}, obj_9), (obj_9, obj_{11}) \right\} \end{aligned} \quad (9)$$

Funkcja (9) definiuje wszystkie pary obiektów, które w ramach definicji grafu  $G_{AMV}$  łączy relacja  $rel_2$ . W kolejnym punkcie zdefiniowano pojęcie ról w relacji.

### Definicja 3. Rola w relacji

W ramach funkcji (7) zdefiniowano dwie role:  $src_j^{G_k}$  oraz  $tgt_j^{G_k}$ . Rola w relacji definiuje kierunek powiązania grafu skierowanego od źródła  $src$  do obiektu docelowego  $tgt$ .

**Definicja 4. Graf skierowany/widok/perspektywa modelowania**  
Grafem skierowanym określamy uporządkowaną parę składającą się ze zbioru wierzchołków (tutaj obiektów) oraz zbioru krawędzi (tutaj relacji):

$$\begin{aligned} G_k &= \left\{ \{obj_i\}, \{rel_j\}, src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, i = 0 \dots 17, j = 1 \dots 12 \right\} \\ k &\in \{PV, CV, RV, AV, AMV, MV\} \end{aligned} \quad (10)$$

Tutaj wybrano dwa z sześciu typów grafów metamodelu opisanego w punkcie 5.1:

$$\begin{aligned} G_k &= \{G_k^{obj}, G_k^{rel}, src^{G_k}, tgt^{G_k}\} \\ k &\in \{AV, AMV\} \end{aligned} \quad (11)$$

## 6. Mapowanie usług EDIH do modelu DMAT

Jednym z kluczowych zagadnień, jakie stoją przed MŚP przystępującymi do projektu EDIH jest optymalny dobór oferowanych przez zespoły projektowe usług do rzeczywistych potrzeb klientów. Poniżej przedstawiono nowe, systemowe podejście do algorytmicznego mapowania usług oraz pakietów usług świadczonych przez konsorcja EDIH, do ZAGADNIENI modelu DMAT:

1. USŁUGI oferowane przez zespół EDIH są przypisane do poszczególnych ZAGADNIENI modelu DMAT;
2. Relacja między usługą a zagadnieniem ma z góry zdefiniowaną WAGĘ, odpowiadającą subiektywnej ocenie wykonawców wpływu usług na podniesienie poziomu dojrzałości przedsiębiorstwa obejmowanego wsparciem;
3. Wagi przyjęte dla relacji łączących usługi z zagadnieniami modelu DMAT posłużą do automatyzacji wskazania listy usług rekomendowanych do wyświadczenia.

Propozycja algorytmu powiązania wyników analizy zgodnej z 6-wymiarowym modelem DMAT z usługami oferowanymi w ramach projektu EDIH:

$$\begin{aligned} obj_{15, \text{wynik}} \in [0, 25\%] &\Rightarrow \left\{ obj_{9,i} \in obj_9 : w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j}(obj_{9,i}) > 0,8 \right\} \\ obj_{15, \text{wynik}} \in (25\%, 50\%) &\Rightarrow \left\{ obj_{9,i} \in obj_9 : w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j}(obj_{9,i}) > 0,6 \right\} \\ obj_{15, \text{wynik}} \in (50\%, 75\%) &\Rightarrow \left\{ obj_{9,i} \in obj_9 : w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j}(obj_{9,i}) > 0,4 \right\} \\ obj_{15, \text{wynik}} \in (75\%, 100\%) &\Rightarrow \left\{ obj_{9,i} \in obj_9 : w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j}(obj_{9,i}) > 0,2 \right\} \end{aligned}$$

gdzie  $obj_{15, \text{wynik}}$  to wynik analizy audytowej WYMIARU  $obj_{12}$ ,

zaś  $w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j}(obj_{9,i})$  to waga  $w_{src_j^{G_k}, tgt_j^{G_k}, j}$   $j$ -tej relacji  $rel_j$ , zdefiniowanej między obiektami  $src_j^{G_k}$  a  $tgt_j^{G_k}$  dla USŁUGI  $obj_{9,i}$ .

Skutkiem działania algorytmu, dla niskich wyników ocen, rekomendowane będą tylko te usługi, które istotnie podnoszą poziom dojrzałości w pierwszej fazie wsparcia. Wyższe oceny dojrzałości sprawiają, że spektrum oferowanych usług jest znacznie szersze.

### 6.1. Metamodel usług EDIH

Każda z oferowanych przez konsorcja EDIH usług opisywana jest minimalnym zakresem informacji:

- ID usługi – unikalny identyfikator usługi;
- Partner – podmiot realizujący usługę w ramach konsorcjum EDIH;
- Usługa inicjująca (tak/nie) – czy dana usługa jest usługą inicjującą ścieżkę wsparcia;
- Nazwa usługi – nazwa usługi w języku polskim;
- Name of service – nazwa usługi w języku angielskim;
- Wartość usługi – wyceniona na podstawie wniosku o dofinansowanie, waluta PLN;
- Liczba usług w ofercie – liczba usług do wyświadczenia w ramach projektu EDIH;
- Liczba usług dla MŚP – niektóre z usług, oferowanych przez konsorcja EDIH w Europie, skierowane są do instytucji sektora publicznego, w tym parametrze wskazujemy liczbę określającą ile razy dana usługa zostanie wyświadczona dla MŚP;
- Czas realizacji usługi – istotnym parametrem informującym MŚP o usłudze w ramach projektu EDIH jest czas jej realizacji, co angażuje określone zasoby po stronie MŚP;
- Technologie niezbędne do wyświadczenia usługi – wskazanie technologii, których dostępność warunkuje możliwość realizacji usługi;
- Kategoria usługi EU – jedna z czterech kategorii usług, zdefiniowanych w ramach programu Digital Europe.

#### 6.1.1. Technologie stosowane w realizacji usługi

Usługi oferowane w ramach projektu EDIH przyporządkowane są do obszarów technologicznych Przemysłu 4.0. Należą do nich: Aplikacje oparte na lokalizacji; Architektury oprogramowania; Big data; Biotechnologia przemysłowa; Blockchain; Cyberbezpieczeństwo; Cyfrowe bliźniaki; Czujniki i systemy przetwarzania obrazu; Elektronika; Fotonika; Grywalizacja; Interakcja człowiek-komputer; Internet rzeczy; Inżynieria chemiczna (rośliny; produkty); Inżynieria symulacji i modelowanie; Logistyka; Mikro- i nanoelektronika; optoelektronika; Mobilność; Narzędzia BI; Nowe technologie dla sektora audiowizualnego; Obliczenia o wysokiej wydajności; Półprzewodniki i nanotechnologia; Produkcja laserowa i przetwarzanie materiałów; Robotyka; Sieci komunikacyjne; Systemy cyberfizyczne; Sztuczna inteligencja i wspomaganie decyzji;



Technologie kwantowe (informatyka/komunikacja); Usługi i aplikacje internetowe; Usługi w chmurze; Wirtualna rzeczywistość; Wytwarzanie przyrostowe.

### 6.1.2. Kategorie usług w portalu EU

Każda z usług oferowanych przez EDIH musi być przypisana do jednej z czterech kategorii: Tworzenie sieci i dostęp do systemu innowacji. Audyty i usługi doradcze („Ekosystem innowacji i tworzenie sieci”); Wsparcie w pozyskiwaniu finansowania/inwestycji („Wsparcie w znajdowaniu inwestycji”);

Prototypowanie poprzedzające inwestycję („Test przed inwestycją”); Szkolenia i rozwój kompetencji. Warsztaty („Umiejętności i szkolenia”).

### 6.1.3. Modelowanie usług

Zastosowanie opracowanego metamodelu wraz z graficzną, dynamiczną reprezentacją danych, związanych z usługą, zapewnia wizualizację modelu zgromadzonych informacji. Na rys. 5 przedstawiono widok metamodelu oraz przykładowy model usługi EDIH.

## 6.2. Mapowanie usługi EDIH do zagadnienia modelu DMAT

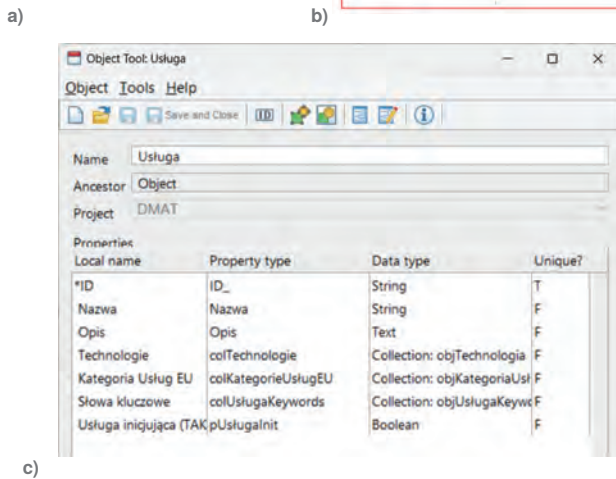
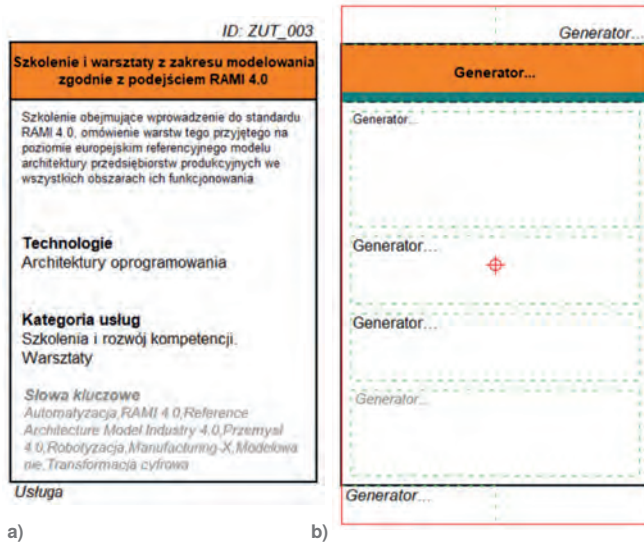
Na rys. 6 przedstawiono przykładowe mapowanie usługi EDIH „Szkolenie i warsztaty z zakresu modelowania zgodnie z podejściem RAMI 4.0” do zagadnienia DMAT, opisanego w ramach wymiaru „W2. Gotowość cyfrowa”, kategorii „W2.K3. Technologie i rozwiązania cyfrowe” oraz zagadnienia „W2.K3.10. Information Management Systems (Enterprise Resources Planning, Product Lifecycle Management, Customer Relationship Management, Supply Chain Management, e-invoicing). Systemy informatyczne wspierające Kontrolę Zarządzającą (systemy ERP, PLM, CRM, SCM, e-fakturowanie)”.

W pracy przedstawiono koncepcję architektoniczną wprowadzenia wag w ramach relacji między oceną/zagadnieniami oceny w ramach audytu zgodnego z modelem DMAT a oferowanymi przez EDIH usługi. Związek ten jest niepodważalny, natomiast wartości wag na tym etapie realizacji projektu trudne do ustalenia. Aktualnie wynikają z subiektywnej oceny eksperta zaangażowanego w oferowanie usługi. Wskutek kolejnych realizacji tej samej usługi dla danej grupy zagadnień w modelu DMAT wagi te będą ulegać zmianom. Dodatkowo wartość wagi może posłużyć do wyznaczenia istotności oferowanych przez EDIH usług.

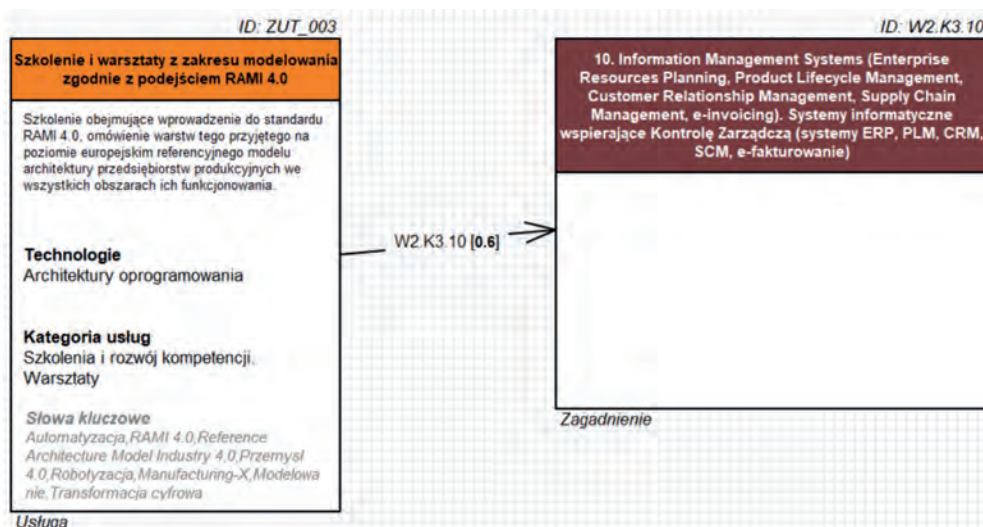
Z uwagi na początkową fazę realizacji projektu EDIH i brak dostępnych pełnych danych obliczenia i symulacje wartości wag będą możliwe w późniejszej fazie. Wartości wag w ramach relacji łączących usługi z zagadnieniami modelu DMAT mogą np. posłużyć do wyznaczenia istotności realizacji konkretnej usługi dla MŚP, dla którego dostępna jest ocena.

Zmapowanie z wagą 0,6 oznacza, że w wyniku realizacji tej usługi firma objęta wsparciem istotnie zwiększy swoją świadomość i będzie w stanie zaplanować systemowe wdrożenie technologii cyfrowych wskazanych w ramach zagadnienia W2.K3.10 modelu DMAT.

Liczba 0,6 dla wagi na rys. 6 to przykładowa wartość. Wynika z doświadczenia autorów w realizacji usługi w powiązaniu ze wskazanym przykładowym zagadnieniem modelu DMAT.



Rys. 5. Przykładowy model usługi (a); Widok definicji symbolu graficznego obiektu 9\_USŁUGA (b); Widok metamodelu usługi EDIH Fig. 5. Example service model (a); View of the graphic symbol definition of the 9 - SERVICE object (b); View of the EDIH service metamodel



Rys. 6. Przykład mapowania 9\_USŁUGA do 14\_ZAGADNIENIE\_DMA w ramach modelu DMAT Fig. 6. Example of the mapping of 9 - SERVICE to 14 - DMA\_ISSUE within the DMAT model

### 6.3. Pakietyzacja usług. Modelowe oferowanie usług EDIH

Jednym z głównych założeń dla świadczenia usług wsparcia cyfrowej transformacji MŚP przez konsorcja EDIH jest definiowanie tzw. Customer Journeys, czyli ścieżek rozwoju, realizowanych za pomocą więcej niż jednego partnera w ramach konsorcjum EDIH. Na rys. 7 zaprezentowano metamodel narzędzia do symulacji (wielokryterialnej optymalizacji) pakietów usług, świadczonych w ramach projektu EDIH.

Przebieg symulacji dla przykładowego scenariusza z rys. 8 uwzględnia wykonanie następujących obliczeń:

- pobieranie usług do pakietów powoduje obniżanie licznika w liście zaplanowanych w projekcie usług;
- pobieranie usług do pakietów powoduje obliczenie wartości pakietu;
- w ramach symulacji celem jest utworzenie zestawu pakietów, które wyczerpią wszystkie dostępne do realizacji usługi EDIH.

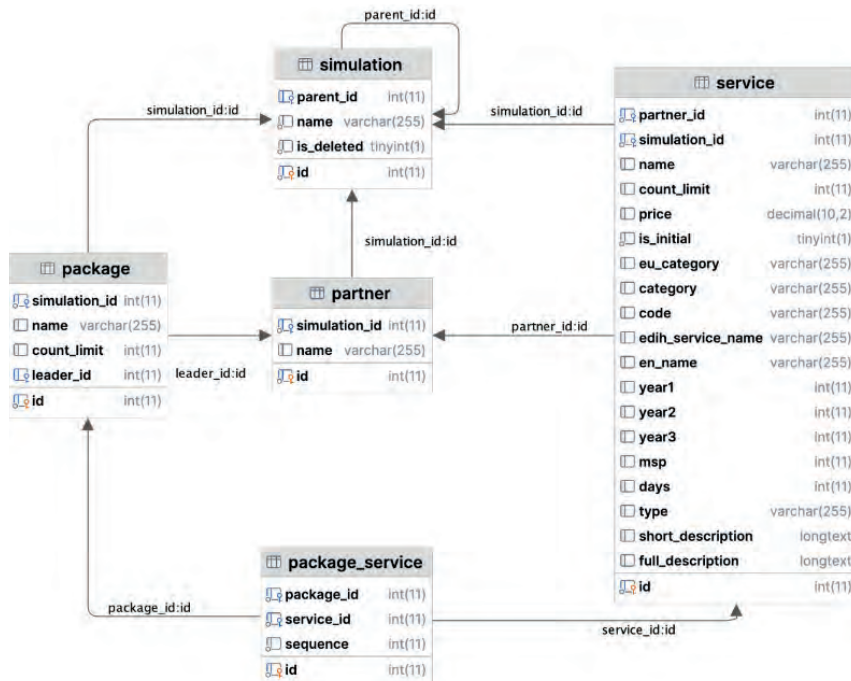
Dzięki temu na samym początku projektu uzyskujemy zbiór pakietów usług, które w przypadku dodatkowego proponowanego w artykule zmapowania do zagadnień modelu DMAT będą stanowić optymalne dopasowanie oferowanych usług do rzeczywistych potrzeb objętych wsparciem MŚP.

Symulacje tego typu mogą również istotnie usprawnić dopasowanie usług do aktualnych i przyszłych potrzeb MŚP, dzięki uwzględnieniu następstwa i rozłożenia w czasie zaplanowanych w indywidualnym pakiecie usług. Tym samym podejście to jest dedykowane do cyfryzacji tworzenia prostych, a przede wszystkim zrozumiałych map drogowych transformacji w kierunku Przemysłu 4.0. Zastosowanie przedstawionego podejścia do projektowania map transformacji, w oparciu o model DMAT z uwzględnieniem proponowanego algorytmu mapowania i automatycznego rekomendowania usług, wykracza poza zakres niniejszej publikacji.

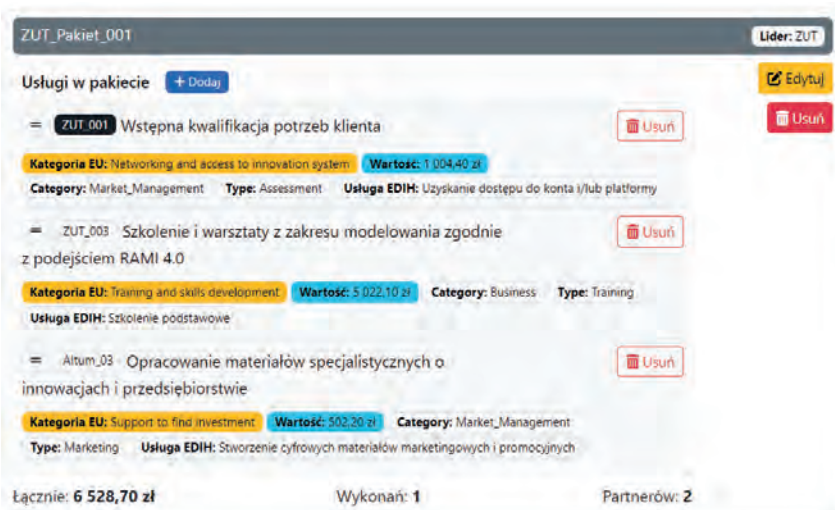
Na rys. 9 przedstawiono proces świadczenia usług, który dzięki zaprezentowanym tutaj koncepcjom mapowania i pakietyzacji może doprowadzić do automatyzacji projektowania map drogowych transformacji MŚP w kierunku Przemysłu 4.0.

## 7. Podsumowanie

Mapowanie usług do modelu, który służył do monitorowania osiągnięcia celu projektu EDIH sprawia, że oferowane usługi są czytelniejsze dla klientów. Dzięki pakietyzacji i mapowaniu usług do modelu DMAT, który na



Rys. 7. Metamodel narzędzia do symulacji (w tym bieżącej optymalizacji) pakietów usług EDIH  
Fig. 7. Metamodel of a tool for simulation (including ongoing optimisation) of EDIH service packages



Rys. 8. Przykładowa symulacja pakietu usług EDIH  
Fig. 8. Example simulation of an EDIH service package

### Proces świadczenia usług EDIH



Rys. 9. Proponowany, częściowo zautomatyzowany proces doboru usług EDIH  
Fig. 9. Proposed semi-automated selection process for EDIH services



wstępie służy do oceny dojrzałości zaś w ramach projektu ponowne wykonywanie audytu z jego pomocą jest obligatoryjnym sposobem monitorowania zmiany wspieranych MŚP, zapewniamy z jednej strony lepsze dopasowanie pozostałych usług do potrzeb firm, z drugiej zaś optymalizujemy osiągnięte założonych dla projektu wskaźników. W artykule zaproponowano nową koncepcję opisu usług zmapowanych do modelu DMAT oraz ich pakietyzacji w oferowaniu dopasowanej do potrzeb oferty.

Proponowany algorytm oraz prototypowy model mapowania usług EDIH do zagadnień modelu DMAT może być w przyszłości łatwo zaimplementowany w systemach klasy CRM, służących do wsparcia klientów planujących swoją cyfrową transformację.

## Bibliografia

1. Simba A., Ojong N., Kuk G., *Bricolage and MSEs in Emerging Economies*. "The International Journal of Entrepreneurship and Innovation", Vol. 22, No. 2, 2020, 112–123, DOI: 10.1177/1465750320969621.
2. Zaoui F., Souissi N., *Roadmap for Digital Transformation: A Literature Review*. "Procedia Computer Science", Vol. 175, 2020, 621–628, DOI: 10.1016/J.PROCS.2020.07.090.
3. Santos R.C., Martinho J.L., *An Industry 4.0 Maturity Model Proposal*, "Journal of Manufacturing Technology Management", Vol. 31, No. 5, 1023–1043, DOI: 10.1108/JMTM-09-2018-0284.
4. Stich V., Zeller V., Hicking J., Kraut A., *Measures for a Successful Digital Transformation of SMEs*, "Procedia CIRP", Vol. 93, 2020, 286–291, DOI: 10.1016/J.PROCIR.2020.03.023.
5. Sahyaja C., Sekhara Rao K.S., *New Leadership in the Digital Era: A Conceptual Study on Emotional Dimensions in Relation with Intellectual Dimensions*. "International Journal of Civil Engineering and Technology", Vol. 9, No. 1, 2018, 738–747.
6. Peillon S., Dubruc N., *Barriers to Digital Servitization in French Manufacturing SMEs*, "Procedia CIRP", Vol. 83, 2019, 146–150, DOI: 10.1016/J.PROCIR.2019.04.008.
7. Senna P.P., Barros A.C., Bonnin Roca J., Azevedo A., *Development of a Digital Maturity Model for Industry 4.0 Based on the Technology-Organization-Environment Framework*. "Computer & Industrial Engineering", Vol. 185, 2023, DOI: 10.1016/J.CIE.2023.109645.
8. Georgescu A., Avasilcai S., Peter M.K., *Digital Innovation Hubs – The Present Future of Collaborative Research, Business and Marketing Development Opportunities*, [In:] "Proceedings of the Marketing and Smart Technologies", Rocha Á., Reis J.L., Peter M.K., Cayolla R., Loureiro S., Bogdanović Z. (Eds.), Springer Singapore: Singapore, Vol. 205, 2021, 363–374, DOI: 10.1007/978-981-33-4183-8\_29.
9. Urbach N., Röglinger M., *Introduction to Digitalization Cases: How Organizations Rethink Their Business for the Digital Age*. [In:] "Digitalization Cases: How Organizations Rethink Their Business for the Digital Age", Springer International Publishing: Cham, 2019, DOI: 10.1007/978-3-319-95273-4\_1.
10. Sotirofski I., Kraja G., *Digital Innovation Hubs Transforming Business and Marketing Collaboration*, "Interdisciplinary Journal of Research and Development", Vol. 11, No. 1, 2024, DOI: 10.56345/ijrdv11n1s136.
11. Asplund F., Macedo H.D., Sassanelli C., *Problematising the Service Portfolio of Digital Innovation Hubs*, [In:] "Proceedings of the Smart and Sustainable Collaborative Networks 4.0", Camarinha-Matos, L.M., Boucher, X., Afsarmanesh, H. (Eds.), Springer International Publishing: Cham, 2021, 433–440, DOI: 10.1007/978-3-030-85969-5\_40.
12. Sassanelli C., Terzi S., Panetto H., Doumeingts G., *Digital Innovation Hubs Supporting SMEs Digital Transformation*, [In:] "Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)", 2021, DOI: 10.1109/ICE/ITMC52061.2021.9570273.
13. Akdil K.Y., Ustundag A., Cevikcan E., *Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy*, [In:] "Industry 4.0: Managing The Digital Transformation", Springer International Publishing: Cham, 2018, 61–94, DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5\_4.
14. Elhousseiny H.M., Crispim J., *A Review of Industry 4.0 Maturity Models: Adoption of SMEs, The Manufacturing and Logistics Sectors*, "Procedia Computer Science", Vol. 219, 2023, 236–243, DOI: 10.1016/J.PROCS.2023.01.286.
15. Ostrowski A., *RAMI 4.0 w Transformacji Cyfrowej Przedsiębiorstwa – Studium Przypadku „E-mentor”*, Vol. 93, No. 1, 2022, 54–63, DOI: 10.15219/EM93.1556.
16. Baptista L.F., Barata J., *Piloting Industry 4.0 in SMEs with RAMI 4.0: An Enterprise Architecture Approach*, "Procedia Computer Science", Vol. 192, 2021, 2826–2835, DOI: 10.1016/j.procs.2021.09.053.
17. Falkowski A., Gorynia M., Kuczevska J., Pietruszewicz K., *Zagrożenia Związane z Wprowadzaniem Nowych Technologii Cyfrowych w Małych i Średnich Przedsiębiorstwach w Kontekście Bezpieczeństwa Państwa. Diagnoza i Rekomendacje*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2024, ISBN 978-83-208-2648-7.
18. Pietruszewicz K., *Metamodeling for Design of Mechatronic and Cyber-Physical Systems*, "Applied Sciences", Vol. 9, No. 3, 2019, DOI: 10.3390/app9030376.
19. Kelly S., Tolvanen J.-P., *Domain-Specific Modeling. Enabling Full Code Generation*, John Wiley & Sons, 2008.
20. Tolvanen J.-P., *MetaEdit+: Integrated Modeling and Meta-modeling Environment for Domain-Specific Languages*. Companion to the 21st ACM SIGPLAN conference on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications – OOPSLA '06, 2006, 690–691, DOI: 10.1145/1176617.1176676.
21. Djukic V., Tolvanen J.P., *Domain-Specific Modeling in Document Engineering*, "DocEng '21: Proceedings of the 21st ACM Symposium on Document Engineering", 2021, DOI: 10.1145/3469096.3470949.
22. *Framework for the Evaluation of SME and Entrepreneurship Policies and Programmes 2023*, OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship, OECD, 2023, ISBN 9789264777651.
23. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., ten Hompel M., Wahlster W. (Eds.), *Industrie 4.0 Maturity Index*. Academic Study 2020.
24. *Digitising European Industry – Reaping the Full Benefits of a Digital Single Market*, 2016.
25. Kalpaka A., Sörvik J., Tasigiorgou A., Rissola G., *Digital Innovation Hubs as Policy Instruments to Boost Digitalisation of SMEs*, 2020, DOI: 10.2760/538258.
26. Program Ministra na lata 2019–2021 „Przemysł 4.0” (Dz.U. z 2018 r. poz. 141, z późn. zm.).
27. Rissola G., Sörvik J., *Digital Innovation Hubs in Smart Specialisation Strategies*, 2018, DOI: 10.2760/575863.
28. Program „Cyfrowa Europa”.
29. Bieliauskaite J., *The Negotiations of the EU Budget 2021–2027: Take-Aways for Digital SMEs*.

## Inne źródła



30. Konkurs – Wyłonienie polskich kandydatów na Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych – krajowa preselekcja.
31. *German Standardization Roadmap Industrie 4.0*, [www.din.de].
32. Schweichhart K., *Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). An Introduction* [www.plattform-i40.de].
33. *RAMI Toolbox. Modelling Aid for the Reference Architectural Model Industry 4.0*, [https://dsse.at/rami].
34. *7 kroków do zaawansowanej produkcji w fabryce przyszłości*, Platforma Przemysłu Przyszłości, [https://przemyslprzyszlosci.gov.pl], 2020.
35. *Skan Transformacji*, Platforma Przemysłu Przyszłości, [https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/formularze/skan-transformacji].
36. *DMAT for SMEs – Guidance Material* / European Digital Innovation Hubs Network, [https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu], 2023.
37. *Open DMAT – Digital Maturity Assessment Tool* | European Digital Innovation Hubs Network, [https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu].
38. Kalpaka A., Rissola G., De Nigris S., Nepelski D., *Digital Maturity Assessment (DMA). Framework & Questionnaires for SMEs/PSOs. A Guidance Document for EDIHs*, 2023.
39. *Industry 4.0 Standards*, [https://i40-tools.github.io/StandardOntologyVisualization/views/chart.html]
40. *Słownik Przemysłu Przyszłości*, E-Learning Przemysłu Przyszłości, [https://elearning.przemyslprzyszlosci.gov.pl/sloownik-przemyslu-przyszlosci].
41. *Plattform Industrie 4.0 – Glossary*, [www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/Glossary/glossary.html].
42. *Wprowadzenie do 7 obszarów transformacji*. [https://przemyslprzyszlosci.gov.pl].
43. Fałkowski A., Gorynia M., Kuczevska J., Pietruszewicz K., *Raport: Identyfikacja luki cyfrowej oraz zagrożeń wynikających z wprowadzania technologii cyfrowych do przedsiębiorstw*, Platforma Przemysłu Przyszłości, [https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/raport-identyfikacja-luki-cyfrowej-oraz-zagrozen], 2024.
44. Fałkowski A., Gorynia M., Kuczevska J., Pietruszewicz K., *Raport: Zagrożenia dla przedsiębiorstw sektora MŚP i interesu narodowego w erze cyfryzacji*, Platforma Przemysłu Przyszłości, [https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/raport-zagrozenia-dla-przedsiębiorstw-sektora-msp-i-interesu-narodowego-w-erze-cyfryzacji], 2024.
45. Bojar W., Burduk A., Dostatni E., Duda J., Jarczoch A., Macko M., Niewiadomski P., Oleszek S., Pietruszewicz K., Rojek I., Santarek K., *Przemysł 4.0 w przedsiębiorstwach z branży motoryzacyjnej, stan obecny i perspektywy rozwoju*, 2023, DOI: 10.24425/147337.

## Digital Maturity in Mapping the European Digital Innovation Hub Services

**Abstract:** European Digital Innovation Hubs provide a one-stop shop for entrepreneurs to support their digital transformation. A key challenge remains the formulation of a coherent vision and roadmap to set the direction of the transformation. Digital maturity models are a tool for identifying insights into the health of an enterprise and setting a path or roadmap for digital implementation. Determining the strategy for the development of the enterprise is to carry out a digital maturity assessment carried out according to the Digital Maturity Assessment Tool model. The strategic step is to tailor an appropriate service package for the enterprise under study. The article demonstrates the impact of the DMAT analysis results on the service package offered by EDIH. An example of service package mapping for a selected SME manufacturing company is presented. A metamodel of a tool for simulating service packages provided by the EDIH network is discussed. The paper consists of five parts, an introduction and a conclusion. Parts 2. and 3. are devoted to EDIH hubs and the services they offer, targeting SMEs. Part 4. discusses maturity models specific to reference architecture models and the suitability of their use for maturity assessment. Part 5. presents the S(d)MART metamodel and Part 6. presents an example of how maturity assessment can be practically linked to the services or service packages offered by the EDIH. The final section concludes the paper.

**Keywords:** digital maturity, digital transformation, European Digital Innovation Hub, service portfolio, SMEs, process automation, S(d)MART, digital maturity, relationship management, metamodeling, modelling

**dr inż. Emilia Mazgajczyk**emilia.mazgajczyk@pwr.edu.pl  
ORCID: 0000-0002-6194-32354

Absolwentka Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej. W 2010 r. uzyskała tytuł magistra inżyniera na kierunku Inżynieria Biomedyczna. W 2017 r. obroniła pracę doktorską na Wydziale Mechanicznym w dyscyplinie mechanika i budowa maszyn. Od 2010 r. jest pracownikiem badawczo-dydaktycznym Politechniki Wrocławskiej. Zatrudniona w Katedrze Technologii Laserych, Automatyzacji i Optymalizacji Produkcji, Centrum Zaawansowanych Systemów Wytwórczych – CAMT, ośrodkiem skupiającym się na najnowszych trendach technologicznych, systemach wytwórczych i informatycznych. Realizuje działalność dydaktyczną w zakresie inżynierii produkcji, analizy i optymalizacji procesów wytwórczych, metod zarządzania oraz nowych trendów w przemyśle produkcyjnym i usługowym. W ramach swoich zainteresowań nieustannie zwiększa doświadczenia związane z cyfrową transformacją przedsiębiorstw, rozwojem i wdrażaniem innowacyjnych technologii oraz ewolucją modeli biznesowych. Specjalizuje się w ocenie dojrzałości cyfrowej firm z sektora MŚP. Jednocześnie rozwija wiedzę w zakresie technologii przyrostowych i ich wykorzystania w medycynie oraz przemyśle. Ostatnie lata nierozdzielnie związana z uruchomieniem i realizacją Europejskiego Hubu Innowacji Cyfrowych we Wrocławiu o nazwie WRO4digital EDIH Wrocław, gdzie pełni funkcję Kierownika Projektu, zajmując się jednocześnie szeroko zakrojonym cyfrowym rozwojem przedsiębiorstw.

**dr hab. inż. Krzysztof Pietruszewicz, prof. ZUT**krzysztof.pietruszewicz@zut.edu.pl  
ORCID: 0000-0001-6369-7413

Od 2005 r. pracownik Wydziału Elektrycznego Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, naukowo i dydaktycznie związany z modelowaniem i metamodelowaniem oraz symulacją komputerowej systemów cyberfizycznych jak również projektowania systemów bezpiecznych funkcjonalnie w przemyśle maszynowym i motoryzacyjnym. Od 2012 r. doktor habilitowany nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. W latach 2019–24 pełnił funkcję prorektora ds. organizacji i rozwoju. Aktualnie prorektor ds. organizacji i współpracy z gospodarką. Ekspert w dziedzinie standaryzacji i normalizacji w kontekście Przemysłu 4.0, nowych modeli biznesowych, oprogramowania do prototypowania i wprowadzania produktów na rynek. Trener doradców metody ADMA. Doradca i audytor metody ADMA. Od początku istnienia Fundacji ekspert Platformy Przemysłu Przyszłości.

**mgr inż. Krzysztof Kujawski**krzysztof.kujawski@zut.edu.pl  
ORCID: 0000-0003-4231-9266

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej. W 2006 r. uzyskał tytuł magistra inżyniera na kierunku Elektronika i telekomunikacja. Od 1999 r. zajmuje się projektowaniem i tworzeniem aplikacji internetowych. Pierwsze doświadczenia w tej dziedzinie zdobywał w największej organizacji młodzieżowej w Polsce – Związku Harcerstwa Polskiego. Na okresie 25 lat tworzył rozwiązania internetowe dla wielu firm i organizacji. W ostatnich latach skupia się na optymalizacji i automatyzacji procesów z wykorzystaniem rozbudowanych modeli danych w aplikacjach webowych i na szybkim prototypowaniu systemów informatycznych dedykowanych zarządzaniu i sytuacjom kryzysowym. Oprócz działalności prowadzonej poza uczelnią, od 2006 r. jest pracownikiem Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, pełniąc funkcję Pełnomocnika Rektora ds. informatyzacji procesów.

