

„Określenie aktualnych i przyszłych potrzeb oraz możliwości technologicznych w zakresie transformacji cyfrowej przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0 w ramach następujących branż na Mazowszu: budowlana, logistyczna, medyczo – farmaceutyczna i rolno – spożywcza”

Raport końcowy

Warszawa, czerwiec 2023

Autorzy raportu:

Autor wiodący: Maciej Jagaciak

Kierownik projektu: Norbert Kołos

Współautorzy: Łukasz Macander, Kacper Nosarzewski, Weronika Rafał

4CF Sp. z o.o.

Pl. Trzech Krzyży 10/14, 00-499 Warszawa, Polska,
NIP: 5252542950, REGON: 146403265, KRS: 0000440962

Spis treści

1.1 Streszczenie menedżerskie	4
1.2 Executive summary (ENG)	5
2. Wstęp	7
2.1 Historia rewolucji przemysłowych	8
2.2 Przemysł 4.0 - istota „czwartej rewolucji przemysłowej”	10
3. Metodologia badania	13
4. Przemysł 4.0 na Mazowszu - diagnoza	14
4.1 Przemysł 4.0 w branżach: budowlanej, logistycznej, medyczno-farmaceutycznej oraz rolno-spożywczej	21
5. Wpływ pandemii COVID-19 na funkcjonowanie przedsiębiorstw w zakresie transformacji cyfrowej w kierunku Przemysłu 4.0.	27
6. Analiza trendów i perspektywy rozwoju transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 wśród mazowieckich przedsiębiorstw	34
6.1 Scenariusze	35
6.2 Analizowane rozwiązania	42
6.3 Macierz 4CF - analiza	49
7. Bariery stojące na drodze ku transformacji mazowieckich przedsiębiorstw w kierunku modelu Przemysłu 4.0	50
8. Potrzeby mazowieckich przedsiębiorców w kontekście transformacji w kierunku Przemysłu 4.0	55
9.1 Wnioski i rekomendacje	59
9.2. Conclusions and recommendations (ENG)	62
10. Bibliografia	66

1.1 Streszczenie menedżerskie

Przemysł 4.0 zwany także czwartą rewolucją przemysłową to zjawisko usieciowienia, czyli skoordynowanej współpracy wszystkich uczestników procesu produkcyjnego w ramach jednej sieci informatycznej, umożliwiającej niemal natychmiastową wymianę informacji między maszynami, robotami, narzędziami, robotnikami, operatorami, projektantami, technologami, menedżerami i danych o produktach. Transformacja gospodarki do modelu Przemysłu 4.0 prowadzi do radykalnego zwiększenia jej produktywności.

W badaniu dokonano diagnozy stanu zaawansowania transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 mazowieckich przedsiębiorstw. Spośród ankietowanych 903 mazowieckich przedsiębiorstw 61,79% nie rozpoczęło procesu transformacji w kierunku Przemysłu 4.0, nie zidentyfikowano także żadnego, które zakończyło proces transformacji i działa w ramach modelu P4.0. Jedynie 9,3% badanych przedsiębiorstw deklaruowało wdrożenie rozwiązań P4.0, a 26,7% prowadzenie jakichkolwiek działań innowacyjnych. Spośród analizowanych branż najbardziej zaawansowane pod kątem transformacji w kierunku P4.0 są przedsiębiorstwa sektora rolno-spożywczego, choć i w nim odsetek przedsiębiorstw, które w ogóle nie rozpoczęły procesu transformacji wyniósł aż 46%. W regionie warszawskim stołecznym stopień zaawansowania transformacji P4.0 przewyższa poziom notowany w regionie mazowieckim regionalnym. Między poszczególnymi podregionami NUTS-3 województwa mazowieckiego nie zidentyfikowano pod tym kątem znaczących różnic.

Głównymi przyczynami niskiego stopnia zaawansowania mazowieckich przedsiębiorstw jest powszechny niski poziom świadomości i wiedzy na temat Przemysłu 4.0 i korzyści, jakie płyną z transformacji gospodarki w kierunku P4.0. Obserwujemy to zjawisko zarówno wśród kadry zarządzającej, technicznej jak i pozostałych pracowników. Niski poziom świadomości i wiedzy stanowi główną barierę spowalniającą proces transformacji mazowieckich przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0.

W badaniu przeanalizowano także wpływ pandemii COVID-19 na proces transformacji. Wyniki analizy wykazały, że pandemia nie wywarła ani pozytywnego, ani negatywnego wpływu na zaawansowanie mazowieckich przedsiębiorstw w procesie dostosowania do Przemysłu 4.0.

W ramach badania zidentyfikowano najważniejsze rozwiązania cyfrowe oraz organizacyjne Przemysłu 4.0, których wdrożenie pomoże usprawnić i przyspieszyć proces transformacji mazowieckich przedsiębiorstw. Kluczowe dla powodzenia tego procesu jest przeprowadzenie analizy strategicznej pod kątem transformacji oraz pełnego zmapowania procesów w firmie. Jako niezbędne do włączenia przedsiębiorstwa w model Przemysłu 4.0 zostały zidentyfikowane następujące rozwiązania cyfrowe: cyberbezpieczeństwo, system dokumentacji elektronicznej, rozproszone systemy sensorów (Internet of Things, IoT), cyfrowe platformy zarządzania danymi oraz wirtualne modele przedsiębiorstw (cyfrowe bliźniaki).

W ramach badania oszacowano również możliwości transformacji w kierunku P4.0 w trzech scenariuszach przyszłości do 2030 roku - umiarkowanym, optymistycznym i pesymistycznym.

W scenariuszu optymistycznym możliwe jest wprowadzenie przedsiębiorstw z analizowanych branż na poziom zaawansowany transformacji w kierunku P4.0 do roku 2030. Jeśli zidentyfikowane bariery nie zostaną jednak zminimalizowane, mazowieckim przedsiębiorstwom grozi realizacja scenariusza pesymistycznego, w którym transformacja w kierunku P4.0 ulega zatrzymaniu.

W badaniu przedstawiono także rekomendacje zarówno dla przedsiębiorstw, jak i dla Samorządu województwa mazowieckiego, mające na celu przyspieszenie procesu transformacji w kierunku P4.0.

1.2 Executive summary (ENG)

Industry 4.0, also known as the fourth industrial revolution, is a phenomenon of networking, i.e. the coordinated cooperation of all participants in the production process within a single IT network, enabling the almost instantaneous exchange of information between machines, robots, tools, workers, operators, designers, technologists, managers and product data. The transformation of the economy to the Industry 4.0 model is leading to a dramatic increase in its productivity.

The study diagnosed the status of the transformation towards Industry 4.0 of Mazovian enterprises. Of the 903 Mazovian enterprises surveyed, 61.79% have not started the process of transformation towards Industry 4.0, and none have been identified that have completed the transformation process and are operating within the P4.0 model. Only 9.3% of the surveyed enterprises declared that they have implemented P4.0 solutions, and 26.7% have carried out any innovative activities. Among the analysed industries, enterprises in the agri-food sector are the most advanced in terms of transformation towards P4.0, although even there the percentage of enterprises that have not started the transformation process at all was as high as 46%. In the Warsaw-Capital region, the degree of advancement of P4.0 transformation exceeds the level recorded in the regional Mazovia region. No significant differences were identified between individual NUTS-3 sub-regions of the Mazowieckie Voivodeship in this respect.

The main reasons for the low level of advancement of Mazovian enterprises is the general low level of awareness and knowledge about Industry 4.0 and the benefits of transforming the economy towards P4.0. This phenomenon is observed both among management, technical and other employees. The low level of awareness and knowledge is the main barrier slowing down the process of transformation of Mazovian enterprises towards Industry 4.0.

The study also analysed the impact of the COVID-19 pandemic on the transformation process. The results of the analysis showed that the pandemic had neither a positive nor a negative impact on the advancement of Mazovian enterprises in the process of adapting to Industry 4.0.

The study identified the most important digital and organisational solutions of Industry 4.0, the implementation of which will help improve and accelerate the transformation process of Mazovian

enterprises. The key to the success of this process is to carry out a strategic analysis in terms of transformation and to fully map the company's processes. The following digital solutions have been identified as necessary to integrate a company into the Industry 4.0 model: cyber security, electronic documentation system, distributed sensor systems (Internet of Things, IoT), digital data management platforms and virtual enterprise models (digital twins).

The study also estimated the potential for transformation towards P4.0 in three future scenarios up to 2030 - moderate, optimistic and pessimistic. In the optimistic scenario, it is possible to bring enterprises from the analysed industries to an advanced level of transformation towards P4.0 by 2030. However, if the identified barriers are not minimised, Mazovian enterprises are at risk of realising the pessimistic scenario, in which the transformation towards P4.0 comes to a halt.

The study also presents recommendations for both businesses and the Mazowieckie Voivodeship local government to accelerate the transformation process towards P4.0.

2. Wstęp

Przemysł 4.0. Czwarta rewolucja przemysłowa. Przemysł przyszłości. Z kilku przyczyn przedmiot niniejszego badania należy do jednych z najbardziej złożonych kwestii, z jakim badaczowi zmian i trendów może się przyjąć zmierzyć.

Po pierwsze, od chwili pojawienia się terminu Przemysł 4.0 po raz pierwszy upłynęło niecałe 13 lat. Mamy więc do czynienia ze zjawiskiem stosunkowo nowym, które od niedawna wpływa na otaczającą nas rzeczywistość. W porównaniu do swoich historycznych odpowiedników - rewolucji pary, produkcji masowej i wreszcie informatyzacji - których czas oddziaływania na świat liczony jest w dekadach, znajdujemy się wciąż w początkowym okresie rozwoju nowej, jeszcze słabo zbadanej koncepcji nowoczesnego przemysłu.

Po drugie, Przemysł 4.0 jest bezpośrednio związany z jedną z kluczowych dziedzin działalności człowieka: ekonomią - dziedziną krytyczną dla dobrobytu jednostek i społeczeństw, a jednocześnie wciąż nie do końca przez ludzkość poznaną.

Po trzecie, z uwagi na fakt, że koncepcję Przemysłu 4.0 po raz pierwszy opisano w ramach oficjalnej strategii gospodarczej Republiki Federalnej Niemiec, jej powiązania z niemieckim przemysłem były oczywiste dla wszystkich graczy na rynku. Przemysł 4.0 zaczął więc być postrzegany jako chwytliwe hasło reklamowe, „buzzword” mający wygenerować popyt na produkty niemieckich koncernów automatyki przemysłowej.

Po czwarte, wysoce abstrakcyjny charakter niesionych przez Przemysł 4.0 zmian w modelach biznesu produkcyjnego utrudniał zrozumienie korzyści, jakie miałyby wynikać z jego przyjęcia przez przedsiębiorców. Charakterystyczne dla obecnych czasów zjawisko medialnego szumu informacyjnego tworzonego wokół wszelkiego rodzaju nowinek technologicznych i innowacji jedynie dodatkowo utrudniało zrozumienie istoty Przemysłu 4.0. Widać to choćby po samej literaturze przedmiotu, w której trudno o wskazanie jednoznacznej, uniwersalnie przyjętej definicji Przemysłu 4.0 (*dalej także: P4.0*). Część badaczy kładzie nacisk na aspekt technologiczny (Romanello, R., Veglio, V., 2022), inni wskazują na dominującą rolę automatyzacji (Meindl i Mendonça, 2020), jeszcze inni za kluczowy dla P4.0 uznają fakt rosnącego usieciowienia przemysłu i podążającej za nim horyzontalnej i wertykalnej integracji procesów biznesowych (Schmitz, Ch. et al., 2019; Xu et al., 2018). Podobne niejasności ujawniły się także w pogłębionych wywiadach przeprowadzonych w toku niniejszego badania.

Brak precyzyjnej definicji koncepcji P4.0, brak zrozumienia korzyści jakie daje wdrożenie koncepcji P4.0 w przedsiębiorstwie, a także pewna doza nieufności cechująca nastawione na ostrą konkurencję gospodarki kapitalistyczne doprowadziły do tego, że do dziś pojawiło się w literaturze przedmiotu wiele terminów pokrewnych do Przemysłu 4.0 - Internet rzeczy, Internet usług, Internet przemysłowy, Advanced Manufacturing i Smart Factory (Nowotarski i Paslawski, 2017, p. 2). Jednym z bardziej jaskrawych przykładów problemów związanych z pojęciem P4.0 jest sformułowana w 2020 roku

przez Komisję Europejską inicjatywa dostosowania europejskiego przemysłu do ambitnych celów Zielonej i Cyfrowej Transformacji UE, nazwana Przemysłem 5.0 - zaledwie 7 lat po oficjalnej "premierze" swojej poprzedniczki.

W związku z tak wieloma niejasnościami dotyczącymi samej istoty tego czym jest Przemysł 4.0, precyzyjne zdefiniowanie i opisanie znaczenia P4.0 dla współczesnej gospodarki jest niezbędnym. Tylko po próbie najbardziej rzetelnego wyjaśnienia istoty czwartej rewolucji przemysłowej badacz może podjąć się rzetelnego określenia aktualnych i przyszłych potrzeb oraz możliwości technologicznych w zakresie transformacji cyfrowej przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0 na Mazowszu. Jak zazwyczaj bywa w przypadku procesów historycznych, zacząć należy od początku - czyli od historii rewolucji przemysłowych.

2.1 Historia rewolucji przemysłowych

Sam termin „rewolucji przemysłowej” pojawił się pod koniec XVIII wieku, a w latach trzydziestych XIX wieku wszedł do powszechnego użytku. Terminem tym określano cały szereg zmian społecznych, dziejących się od połowy XVIII do połowy XIX wieku na skutek wzrostu wydajności produkcji towarów.

Pierwsza rewolucja przemysłowa zwiększyła wydajność produkcji poprzez zastąpienie pracy ludzkiej pracą maszyn napędzanych silnikami parowymi. Uzysk czasu pracy - poza bezpośrednim skróceniem czasu wytwarzania, związanym z większymi prędkościami wykonywania operacji, jak w wypadku mechanicznego krosna - wynikał z większych mocy, jakimi dysponowała maszyna (jedna maszyna mogła zastąpić kilkoro ludzi w produkcji takiej samej ilości towaru), większą powtarzalnością jakości wykonania w porównaniu do człowieka oraz faktu, że jedna maszyna może teoretycznie pracować bez przerw, podczas gdy człowiek musi odpoczywać przynajmniej kilka godzin na dobę.

Druga rewolucja przemysłowa, przypadająca na przełom XIX i XX wieku, miała charakter organizacyjny - technologiczny. Postępująca elektryfikacja jeszcze bardziej zwiększyła wydajność i precyzję maszyn oraz umożliwiła oświetlenie zakładów wytwórczych w sposób pozwalający robotnikom na pracę z, jakby się mogło wydawać, jednakową wydajnością w dzień i w nocy. Był to także okres rozwoju naukowego, a nawet matematycznego podejścia do zarządzania produkcją. Postulowane przez Fredericka W. Taylora, a wcielone w życie choćby przez Henry'ego Forda zasady pomiaru czasu pojedynczych operacji technologicznych, celem ich skrócenia, umożliwiły przeorganizowanie systemów produkcyjnych na bardziej wydajne. Tym samym czas pracy niezbędny do wyprodukowania jednostki towaru skrócił się jeszcze bardziej w porównaniu do czasów ery przedindustrialnej.

Przemysł 2.0 w swoim idealnym ujęciu niósł ze sobą możliwość skrócenia czasu pracy niezbędnego do wyprodukowania jednego, konkretnego towaru do minimum, jednak za cenę wymogu masowości produkcji, czyli wytwarzania towaru o tych samych cechach w milionach sztuk. Optymalizacja czasów wykonywania operacji technologicznych postulowana przez Taylora osiąga maksymalny potencjał, gdy na linii produkcyjnej wykonywany jest ciągle ten sam zestaw operacji. Gdy przedsiębiorca pragnie

wyprodukować inny towar niż obecnie wytwarzany na linii, ma do wyboru dwie opcje: zmienić zestaw operacji na aktualnie produkującej, zoptymalizowanej linii (co wiąże się z koniecznością jej przebrojenia, w czasie którego ani jedna sztuka towaru nie opuści fabryki, co skutkuje wydłużeniem niezbędnego społecznie czasu pracy potrzebnego do wyprodukowania danego towaru) lub też produkować towar na urządzeniu o większej elastyczności, ale wymagającym obsługi ludzkiej (tokarka półautomatyczna sterowana przez człowieka). W drugim wypadku czas pracy również się wydłuża, choćby z uwagi na spadek uważności operatora spowodowany zmęczeniem. Istnieje też trzecia możliwość - rozbudowa fabryki o całkowicie nową linię produkcyjną, co w oczywisty sposób nie jest rozwiązaniem uniwersalnym, tanim ani szybkim. Zapewne ten właśnie problem stał za sławnymi dziś słowami Henry'ego Forda, który w wydanej w 1922 roku autobiografii zatytułowanej "My Life and Work" napisał: "Klient może zażyczyć sobie samochód w każdym kolorze, pod warunkiem, że będzie to kolor czarny".

Rozwiązanie tego dylematu przyniósł rok 1969, za sprawą powstania pierwszego programowalnego sterownika logicznego - urządzenia dającego możliwość szybkiej zmiany zestawu wykonywanych na linii operacji, w zależności od wybranego przez operatora programu. Zapisanie w programie parametrów pracy maszyny zwiększało powtarzalność jakości wykonania (mniej wadliwych towarów to mniejsze straty, czyli - całościowo - niższy koszt produkcji jednej sztuki towaru), skracało czas przebrojeń oraz ograniczało możliwość zaistnienia błędu ludzkiego. Skróceniu uległ również czas optymalizacji procesów. Tym samym rozpoczęła się era trzeciej rewolucji przemysłowej.

Podsumowując: pierwsza rewolucja technologiczna przyniosła perspektywę na przełamanie tych ograniczeń człowieka, które wpływały na proces wytwórczy. Druga dała naukową metodę optymalizacji procesu produkcji. Trzecia zaś umożliwiła zwiększenie elastyczności produkcji na jednej maszynie, dzięki czemu przemysł mógł szybciej odpowiadać na zmieniające się potrzeby rynku.

Przypadający na lata 70. i 80. okres rozwoju elektroniki i mikroelektroniki przyniósł przemysłowi coraz doskonalsze, szybsze maszyny zdolne wykonywać skomplikowane operacje bez nadzoru człowieka. Z perspektywy modelu idealnego - ograniczonego do pojedynczej linii produkcyjnej wytwarzającej skończoną liczbę rodzajów towarów - osiągnięcie fizycznego minimum czasu produkcji stało się kwestią dalszej optymalizacji już istniejących narzędzi, nie wymagało „nowej rewolucji”. W ujęciu całościowym - z punktu widzenia organizacji jako jednego podmiotu mającego za zadanie generować jak największe zyski poprzez produkcję zaspokajających potrzeby rynku towarów - wciąż jednak widoczne były spadki wydajności wynikające z zaburzonego lub zbyt wolnego przepływu informacji między poszczególnymi jednostkami przedsiębiorstwa. Przestoje spowodowane awariami, zatrzymania maszyn w związku z problemami w łańcuchach dostaw (czy to na poziomie hali fabrycznej, gdzie operator musi zatrzymać maszynę, gdyż logistyka nie podstawiła na czas półproduktów; czy też na poziomie łańcuch dostaw całej firmy i braków surowców na rynku); straty będące skutkiem błędów jakościowych czy wreszcie niedostosowanie poziomu produkcji do rzeczywistego zapotrzebowania rynku - wszystkie te problemy miały i nadal mają swoją genezę w złym zarządzaniu informacją.

Światowy przemysł nie ustawał w pracy nad ograniczaniem tych strat. W latach 90. XX w. i w XXI w. wysiłki na tym polu przebiegały dwutorowo. Od strony technologicznej dominowały rozwiązania optymalizacyjne dostarczane przez branżę IT. Komputery osobiste, internet, sieć www, bazy danych, systemy CRM, ERP czy MES, CAD/CAM - to tylko niektóre z szerokiego wachlarza zastosowań technologii cyfrowych do minimalizowania jednostkowego kosztu produkcji towaru. Od strony organizacyjnej popularność wśród menedżerów przemysłu zdobywały metody poprawy produktywności, które niezależnie od działu, z którego się wywodziły (TQM - jakość; TPM - utrzymanie ruchu; JIT - logistyka/sprzedaż), kładły nacisk na staranne zarządzanie procesami oraz przepływami zasobów i informacji w przedsiębiorstwie. Rozwój i popularyzacja mobilnych technologii wymiany danych w XXI w. zapowiadały nadchodzące połączenie obu tych kierunków poprzez integrację procesów, zasobów i danych w ramach jednej sieci cyfrowej.

2.2 Przemysł 4.0 - istota „czwartej rewolucji przemysłowej”

Koncepcja Przemysłu 4.0 została sformułowana w początkach drugiej dekady XXI wieku. Po raz pierwszy publicznie pojawiła się podczas targów przemysłowych Hannover Messe w 2011 roku. Zaprezentowana została przez niemieckich badaczy przemysłu doradzających niemieckiemu rządowi w zakresie polityki wspierania i rozwoju rodzimej gospodarki. Już dwa lata później ogłoszono ją jednym z kluczowych elementów oficjalnej strategii gospodarczej Republiki Federalnej Niemiec (Xu i in., 2018). W opublikowanym w kwietniu 2013 roku finałowym raporcie grupy roboczej Industrie 4.0 przy Federalnym Ministerstwie Badań i Edukacji odnotowano:

„Rozwój oraz rozbudowa infrastruktury i usług IT w połączeniu z ciągle postępującą miniaturyzacją [komponentów elektronicznych] oraz niezatrzymywalnym rozpowszechnieniem Internetu sprawiają, że świat wszechobecnej akwizycji i przetwarzania danych staje się rzeczywistością.

*Coraz potężniejsze, autonomiczne mikrokomputery, połączone ze sobą za pośrednictwem Internetu, tworzą coraz to większe sieci obiegu informacji, czego efektem jest konwergencja, „zazębianie się” świata fizycznego i wirtualnego (cyberprzestrzeni) w formie Systemów Cyber Fizycznych.(...) Oznacza to, że po raz pierwszy w dziejach możliwe jest **sieciowanie zasobów, informacji, obiektów i ludzi** w ramach jednej sieci **Internetu Rzeczy i Usług.**” (Henning Kagermann i in., 2013)¹*

Właśnie zjawisko usieciowienia, czyli **skoordynowanej współpracy wszystkich uczestników procesu produkcyjnego** - maszyn, robotów, narzędzi, produktów, robotników, operatorów, projektantów, technologów, menedżerów - **za pośrednictwem jednej sieci niemal natychmiastowej wymiany informacji** niemieccy badacze uznali za zmianę mającą potencjał do całkowitego przekształcenia dotychczasowych modeli produkcji przemysłowej i biznesu. Odnosząc się do analogicznych przełomów znanych z historii, nazwali tę technologiczną zmianę **czwartą rewolucją przemysłową** lub skrótowo **Przemysłem 4.0**. Takiego rozumienia P4.0 trzymamy się również w niniejszym badaniu.

1

<https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>

Nie ulega wątpliwości, że terminy takie jak „sieciowanie” czy „systemy cyber-fizyczne” to pojęcia o znacznym stopniu abstrakcji. W przeciwieństwie do innowacji stojących za pierwszymi trzema rewolucjami przemysłowymi (zastosowanie w przemyśle maszyny parowej w pierwszej, linii produkcyjnej w drugiej, automatycznego programowalnego sterownika logicznego w trzeciej) uchwycenie jego znaczenia dla zwiększenia wydajności przemysłu nie jest tak jasne, jak w wypadku robotyzacji czy zastąpienia pracy mięśni ludzkich pracą maszyny parowej.

Dlaczego akurat realizowane za pośrednictwem systemów cyber-fizycznych usieciowienie jest tak istotne dla gospodarki, a nie na przykład wykorzystywanie komputerowych symulacji do badania wytrzymałości materiałowej produkowanych elementów? W wydanych w 1776 roku *Badaniach nad naturą i przyczynami bogactw narodów* Adam Smith postuluje mierzenie wartości² towarów poprzez ilość innych towarów (złota, srebra, bądź zboża) lub ludzkiej pracy, za jakie można ów towar nabyć (Adam Smith, 2020). Niecałe sto lat później Karol Marks w pierwszym tomie *Kapitału* zauważa jednak, że ilość pracy może być mierzona jedynie w jednostkach czasu spędzonych na wyprodukowaniu danego dobra. Ilość ta zależy od indywidualnych zdolności i kompetencji robotnika. W efekcie dochodzi do paradoksu - towar wytworzony przez robotnika mniej zdolnego („wolniejszego”) jest więcej wart, niż towar wytworzony przez robotnika pracującego z większą wydajnością. Marks wprowadza więc pojęcie czasu pracy społecznie niezbędnego definiowanego jako „czas pracy potrzebny do wytworzenia jakiejś wartości użytkowej w istniejących społecznie normalnych warunkach produkcji i przy społecznie przeciętnym stopniu umiejętności i intensywności pracy” (Karol Marks, 1951). Innymi słowy - wartość towaru po jakiej jest on wymieniany na rynku mierzona jest więc **przeciętną (średnią) ilością czasu pracy, niezbędną do wytworzenia towaru w danym społeczeństwie i zawsze pozostaje w relacji do przeciętnych możliwości wytwórczych, jakimi charakteryzuje się dane społeczeństwo.**

Właśnie zdolność do radykalnego zwiększania **przeciętnej wydajności produkcji** - czyli odwrotności przeciętnego czasu pracy niezbędnego do wytworzenia towaru w danym społeczeństwie - jest tą cechą, która wyróżnia innowacje stojące za rewolucjami przemysłowymi. Innowacje o potencjale rewolucyjnym mają charakter przełomowy - otwierają możliwości zwiększania wydajności w obszarach, które wcześniej nie były brane pod uwagę przez przedsiębiorców i właśnie dlatego skutkują tak daleko idącymi zmianami społecznymi.

W jaki więc sposób czwarta rewolucja przemysłowa zwiększa przeciętną wydajność produkcji? Po pierwsze, w wyniku **integracji pionowej** - skrócenia czasu potrzebnego na przekazanie i przetwarzanie informacji między poszczególnymi elementami (maszynami, liniami, pracownikami, działami, itd.) w ramach **jednej organizacji**. Cyfrowe usieciowienie daje także możliwość **integracji poziomej** - dającej jeszcze większe uzyski wydajności. Integracja pozioma to skrócenie czasu

² konkretnie - wartości wymiennej. Smith rozróżnia dwa rodzaje wartości - wartość użytkową oraz wartość wymiennej. Z punktu widzenia handlu wartość użytkowa ma jedynie o tyle znaczenie, o ile jest w stanie zaspokoić potrzebę kupującego.

potrzebnego na przekazanie i przetwarzanie informacji między **poszczególnymi aktorami gospodarki danego społeczeństwa** - czyli klientami, konsumentami, zleceniodawcami, producentami, itd.

W swej idealnej wersji Przemysł 4.0 niesie ze sobą obietnicę totalnego zoptymalizowania gospodarki: optymalną alokację zasobów i maksymalne wykorzystanie mocy produkcyjnych. Cyfrowy system gospodarki w momencie zidentyfikowania potrzeby (np. poprzez złożenie przez konsumenta zamówienia w systemie sprzedażowym) w błyskawicznym tempie alokuje dostępne mu moce produkcyjne (moce produkcyjne wszystkich aktorów danej gospodarki) konieczne do wytworzenia produktu, który zgłoszoną potrzebę zaspokoi. Co więcej - wybór ostatecznego producenta (sprzedawcy) danego towaru może uwzględniać także takie czynniki jak oferowana cena, czas dostawy, czy np. ślad węglowy. Innymi słowy - Przemysł 4.0, skracając czas potrzebny na połączenie klienta z aktualnie dostępnym producentem, prowadzi do skokowego wzrostu wydajności gospodarki danego państwa czy regionu³.

Tabela 1. Następstwo kolejnych rewolucji przemysłowych i powiązane z nimi technologie. Opracowanie własne na podstawie "Wypracowanie metodologii oraz badanie stopnia dostosowania wybranych przedsiębiorstw do wymogów gospodarczych, jakie stawia czwarta fala rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0)", GUS, Warszawa 2020

	Druga poł. XVIII w.	Przełom XiX i XX w.	Lata 70-te XX w.	XXI w.
Przemysł 0.0	Przemysł 1.0	Przemysł 2.0	Przemysł 3.0	Przemysł 4.0
Wdrożenie maszyn prostych, krosno tkackie, kołowroty	Mechanizacja, maszyna parowa, maszyna przędzalnicza	Elektryfikacja, silnik gazowy, linia produkcyjna	Automatyzacja, mikrokontrolery, przetworniki analogowo-cyfrowe	Systemy cyber-fizyczne działające w sieciach teleinformatycznych

³ W tym punkcie Przemysł 4.0 mocno zazębia się z koncepcją *Manufacturing as a Service*, czyli wytwarzania jako świadczonej usługi

3. Metodologia badania

Badanie obejmowało diagnozę sytuacji przedsiębiorstw w Województwie Mazowieckim w zakresie transformacji cyfrowej w kierunku Przemysłu 4.0 w branżach budowlanej, logistycznej, medyczo-farmaceutycznej i rolno-spożywczej. Cele badania obejmowały: diagnozę aktualnego stanu implementacji rozwiązań Przemysłu 4.0 wśród przedsiębiorstw z tych branż na Mazowszu, określenie potrzeb tych przedsiębiorstw, określenie trendów i perspektyw rozwoju dla branż z uwzględnieniem rozwiązań niezbędnych do przyspieszenia transformacji cyfrowej w kierunku Przemysłu 4.0 do 2030 roku oraz analizę wpływu pandemii COVID-19 na ich zdolność transformacji w kierunku Przemysłu 4.0.

Badanie przebiegało następująco:

1. Rozpoczęto od badania literaturowego publikacji nt. Przemysłu 4.0 oraz baz danych GUS i Eurostat. Ten etap służył wstępnej diagnozie stanu Przemysłu 4.0 na Mazowszu, w Polsce i na świecie; uściśleniu istoty P4.0 oraz przygotowaniu scenariuszy wywiadów pogłębionych z ekspertami.
2. W kolejnym etapie przeprowadzono 20 pogłębionych wywiadów (IDI) z ekspertami Przemysłu 4.0. Informacje uzyskane w wywiadach dały wgląd w aktualną specyfikę analizowanych branż, wsparły tworzenie listy rozwiązań P4.0 i pozwoliły doprecyzować listę możliwych barier i potrzeb w rozwoju P4.0 na Mazowszu. Stanowiły też podstawę do przygotowania kwestionariusza badania CATI oraz zweryfikowania wpływu pandemii COVID-19 na proces transformacji w kierunku P4.0.
3. Zgodnie z zaprezentowaną metodologią przeprowadzono analizę geoprzestrzenną firm z analizowanych branż na Mazowszu, co pozwoliło na przygotowanie strategii losowania respondentów do badania CATI. Respondenci byli losowani w dwóch etapach - w etapie pierwszym badanie realizowane było na próbie celowej N=180 (9 X 20, po 20 dla każdego NUTS-3), zaś w drugim na próbie warstwowo losowej z uwzględnieniem PKD firm, na próbie N=720 (9 X 80, po 80 dla każdego NUTS-3). Dzięki takiej strategii możliwe było zrealizowanie założenia o co najmniej 100 zbadanych podmiotach z każdego NUTS-3. Jednocześnie, podejście to gwarantowało reprezentację przynajmniej 20 podmiotów z analizowanych branż w każdym z podregionów.
4. Przed przystąpieniem do badania CATI przeprowadzono wewnętrzny pilotaż, który polegał na sprawdzeniu kwestionariusza na grupie ~10 osób. W szczególności testowany był średni czas udzielenia odpowiedzi, aby upewnić się, że odpowiedź nie będzie zbyt czasochłonna, co mogłoby skutkować przerwaniem wywiadów. Upewniono się też czy pytania są zrozumiałe. Pilotaż zrealizowany został przez zewnętrzną firmę badawczą we współpracy z 4CF. Testy narzędzia wypadły pomyślnie, nie stwierdzono błędów, a czas realizacji był akceptowalny.
5. Przeprowadzone badanie CATI objęło 903 podmioty ankietowane w wywiadach telefonicznych. W każdym z podregionów NUTS-3 zankietowano minimum 100 przedsiębiorstw.
6. Następnie, na podstawie zidentyfikowanych w literaturze trendów oraz diagnozy stanu P4.0 płynącej z wyników badania CATI opracowano trzy scenariusze dalszego rozwoju

Przemysłu 4.0: optymistyczny, umiarkowany i pesymistyczny. Określenie możliwych granic stopnia rozwoju Przemysłu 4.0 na Mazowszu, za pomocą prognozowanego przez ekspertów w każdym ze scenariuszy poziomu IAP40 dla poszczególnych branż, stanowiło przedmiot badania delfickiego, które odbyło się na platformie internetowej 4CF HalnyX. W badaniu wzięło udział 21 ekspertów.

7. W kolejnym etapie badania przeprowadzono analizę perspektyw rozwojowych rozwiązań Przemysłu 4.0 za pomocą Macierzy 4CF. Eksperti ocenili i zidentyfikowali te najbardziej perspektywiczne.
8. Na podstawie rezultatów badania CATI, uzupełnionych o informacje pozyskane z badań literatury, baz danych oraz wywiadów z ekspertami, zidentyfikowano bariery utrudniające przedsiębiorcom rozwój Przemysłu 4.0 w swoich firmach oraz główne potrzeby z nim związane.

Poza wspomnianym już problemem metodologicznym związanym z wykorzystaniem analizy geoprzestrzennej, w trakcie analizy wyników CATI zaobserwowano także wpływ przyjętej w badaniu metody przypisywania przedsiębiorstw do konkretnej branży według wiodącej działalności przedsiębiorstwa opisanej kodem PKD 2007. Zaklasyfikowanie jako przedstawicieli jednej branży podmiotów wykonujących różne typy działalności (np. gospodarstwa rolne i zakłady przetwórstwa spożywczego) doprowadziło do silnego uzależnienia wyniku badania od składu ankietowanej próby. Wpływ tej korelacji został szczegółowo przedstawiony w rozdziale 4.1.

4. Przemysł 4.0 na Mazowszu - diagnoza

Wnioski płynące z badania są jednoznaczne - **proces transformacji w kierunku P4.0 na Mazowszu w większości przedsiębiorstw nawet się nie rozpoczął.**

Nie jest to jedynie problem Mazowsza, a raczej ogólny problem polskiego przemysłu. Zastój w ewolucji polskiej gospodarki do nowoczesnych modeli gospodarek opartych na wiedzy zdiagnozowano już w wydanym przez Kancelarię Prezesa Rady Ministrów w 2009 roku raporcie „Polska 2030 - wyzwania rozwojowe”, wskazując niską innowacyjność polskiej gospodarki jako jedną z głównych barier na drodze do dalszego rozwoju. Podobną tezę powtarza się w kolejnym dokumencie strategicznym przygotowanym przez KPRM - „Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 z perspektywą do 2030 r.” (2017 r.). W artykule z 12 maja 2022 r., opublikowanym na stronie Platformy Przemysłu Przyszłości, temat pojawia się już w pierwszych słowach wstępu: „[Czy] Warto tworzyć koncepcje przemysłu 5.0, skoro, zdaniem menedżerów i ekspertów, wiele firm w Polsce jest nadal na etapie przemysłu 2.0?”

Ta sama obserwacja powracała w wywiadach IDI z ekspertami Przemysłu 4.0, a ostatecznie potwierdziły to wyniki badania CATI na próbie 903 mazowieckich przedsiębiorstw.

Wśród ankietowanych przedsiębiorców korzystanie lub chęć wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 zadeklarowało jedynie 9,3% z nich, podczas gdy prowadzenie jakichkolwiek działań w obszarze

innowacji (produktowych / procesowych / marketingowych lub organizacyjnych: chodzi tu o wszelkie nowatorskie działania w firmie - w tym reorganizację działów, zakupy nowego sprzętu lub oprogramowania, wprowadzanie nowości produktowych czy zmian w sposobie dystrybucji) - tylko 26,7%.

W każdym z podregionów NUTS-3 więcej przedsiębiorstw zadeklarowało prowadzenie działań innowacyjnych, niż wdrożenie rozwiązań Przemysłu 4.0. Wydaje się to oczywiście naturalne - w końcu zbiór działań z zakresu wdrażania P4.0 zawiera się w zbiorze działań w obszarze innowacji, a nie odwrotnie. Jednak dokładna analiza poszczególnych danych pokazuje, że **dwa z trzech przedsiębiorstw deklarujących działania w obszarze innowacji** już stosuje rozwiązania P4.0. Tak wielki odsetek wskazuje na główną barierę rozwoju P4.0 na Mazowszu - brak świadomości i wiedzy wśród przedsiębiorstw na temat Przemysłu 4.0. Problem ten szczegółowo omówiono w dalszej części raportu.

Na brak świadomości i wiedzy wskazują także wyniki gotowości przedsiębiorstw we wdrażaniu P4.0 mierzone wg IAP40. **Wynik osiągnięty przez znaczącą większość ankietowanych przedsiębiorstw (61,79%) wskazuje, że nie rozpoczęły one procesu transformacji w kierunku modelu P4.0.** 26,7% jest we wstępnej fazie transformacji, 9,75% zaś w zaawansowanej. Spośród wszystkich ankietowanych w próbie 903 przedsiębiorstw jedynie 14 firm osiągnęło finałowy poziom transformacji. **Żadne z ankietowanych przedsiębiorstw nie osiągnęło stopnia adaptacji pozwalającego na stwierdzenie, że operuje ono w ramach modelu Przemysłu 4.0.** Większość ekspertów potwierdza ten stan rzeczy. Na pytanie o przykład polskiego przedsiębiorstwa, o którym można byłoby powiedzieć, że jest modelowym przykładem organizacji działającej zgodnie z paradygmatami czwartej rewolucji przemysłowej, większość z ekspertów odpowiadała stwierdzeniem, iż takowych przedsiębiorstw nie ma. Nieliczne przykłady wskazane przez uczestników wywiadów pochodziły z branży samochodowej.

W obu przypadkach zarysowuje się charakterystyczna dla Mazowsza różnica między regionami NUTS-2 województwa mazowieckiego: regionem mazowieckim regionalnym a warszawskim stołecznym. W regionie stołecznym większość przedsiębiorstw (niecałe 62%) rozpoczęła już działania w kierunku P4.0, podczas gdy w regionie mazowieckim regionalnym przedsiębiorstwa takie należą do mniejszości (nieco ponad 48%). Większy o blisko 8,5% jest także odsetek przedsiębiorstw stołecznych znajdujących się w zaawansowanej fazie transformacji. Na poziomie podregionów NUTS-3 w regionie mazowieckim regionalnym nie odnotowano statystycznie znaczących różnic.

Wśród mazowieckich przedsiębiorstw najpopularniejsze są rozwiązania Przemysłu 4.0 związane z cyfryzacją dokumentacji. Jest to zrozumiałe, biorąc pod uwagę średni poziom gotowości do P4.0. Wśród ankietowanych przedsiębiorstw jedynie 18% stosowało technologie cyfryzacji dokumentów, a 17% używało programów CAD/CAM - będących standardem we współczesnym projektowaniu części, detali czy budynków. Największy odsetek wdrożeń odnotowano w kontekście automatyzacji procesów. Przynajmniej częściowe wdrożenie automatyzacji zadeklarowało 62,9% ankietowanych przedsiębiorców. Wynik ten można interpretować jako dobry, jednak sama automatyzacja jest

technologią przynależną do trzeciej rewolucji przemysłowej, w związku z tym nie można przez jej pryzmat oceniać stopnia adaptacji mazowieckich przedsiębiorców do koncepcji P4.0.

Najbardziej popularne rozwiązania P4.0 w skali całego województwa były także najpopularniejszymi w regionach NUTS-2. W regionie warszawskim stołecznym 24,92% przedsiębiorstw stosowało technologie cyfryzacji dokumentów, w regionie mazowieckim regionalnym - 13,29%. Wykorzystanie w działalności programów CAD/CAM deklarowało 25,91% ankietowanych przedsiębiorstw z regionu warszawskiego stołecznego i 14,45% z regionu mazowieckiego regionalnego. Przynajmniej częściową automatyzację procesów deklarowało 76,08% przedsiębiorców z regionu warszawskiego stołecznego. W regionie mazowieckim regionalnym było to o prawie 20 punktów procentowych mniej - 56,15%.

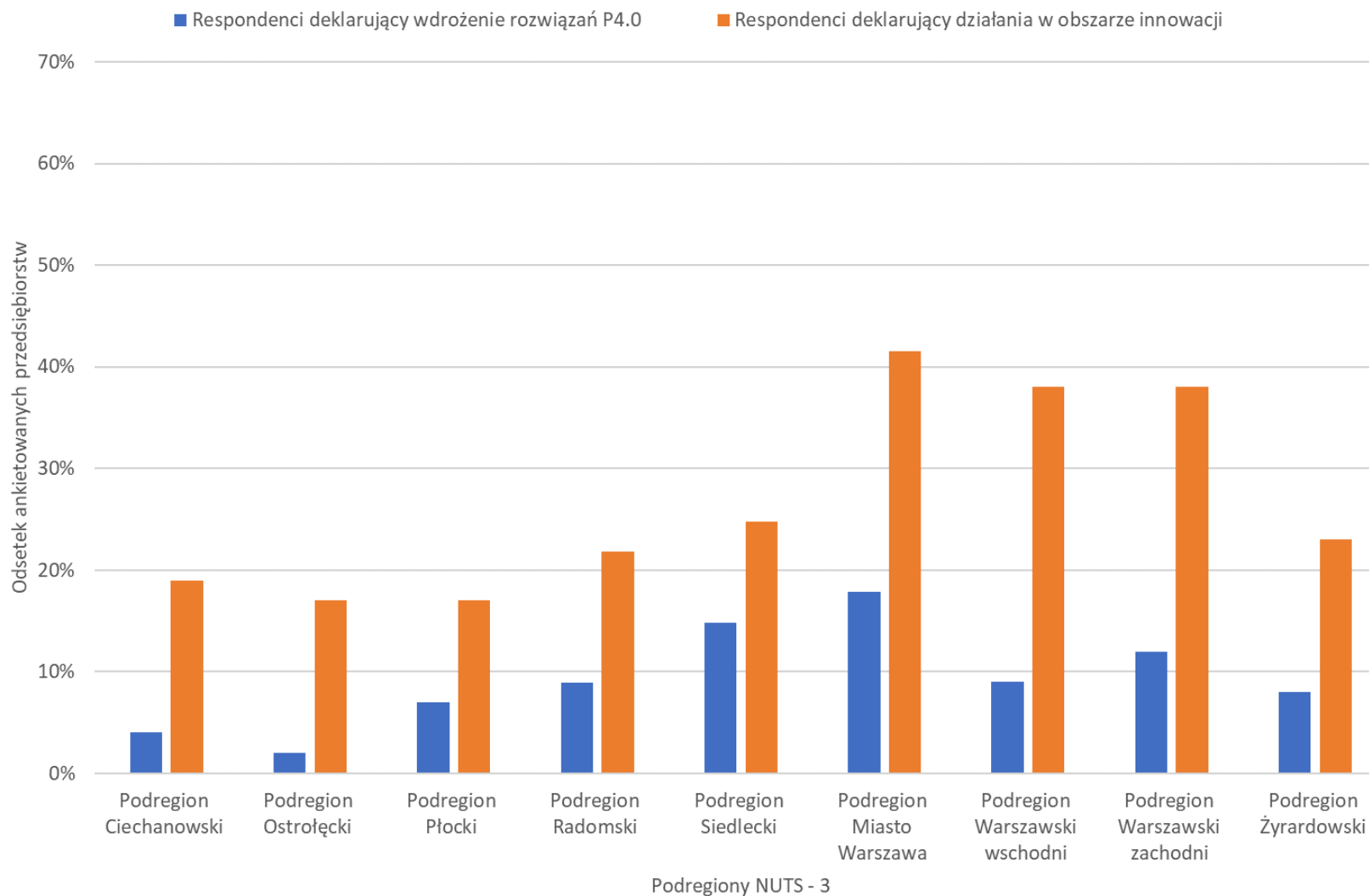
Porównanie poziomu adaptacji przedsiębiorstw mazowieckich do Przemysłu 4.0 do poziomu prezentowanego przez przemysł światowy w sposób bezpośredni jest trudne, z uwagi na brak przekrojowych danych zbieranych wedle jednej metodologii. Możliwe jest jednak porównanie przy użyciu wskaźników używanych w badaniach pilotażowych. W badaniach przeprowadzonych przez niemiecką firmę konsultingową Infosys za światowych liderów Przemysłu 4.0 zostały uznane Chiny, gdzie wśród ankietowanych firm ponad połowa została zakwalifikowana przez badaczy do kategorii „*early adopters*”, czyli podmiotów, które jako pierwsze stosują innowacje z zakresu P4.0. Niemcy – gdzie koncepcja P4.0 została sformułowana – znalazły się w tym zestawieniu dopiero na czwartym miejscu z wynikiem 21% przedsiębiorstw mogących być uznane za „*early adopters*”. Wśród ankietowanych przedsiębiorców mazowieckich jedynie 9,3% uznało, że mogą zaliczyć się do tej grupy.

Z kolei autorzy raportu *Digitalisation in Europe 2020-2021: Evidence from the EIB Investment Survey* porównali poziom adaptacji do Przemysłu 4.0 za pomocą badania ankietowego przeprowadzonego wśród przedsiębiorstw amerykańskich i europejskich. W badaniu pytano o liczbę stosowanych w przedsiębiorstwach technologii cyfrowych. Odsetek przedsiębiorstw wykorzystujących w 2020 roku przynajmniej jedną technologię cyfrową wynosił w USA 73%. Ten sam wskaźnik dla krajów Unii Europejskiej wynosił 63%. Z przeprowadzonego w ramach niniejszego projektu badania CATI wynika zaś, że wśród przedsiębiorstw mazowieckich jedynie 23,5% wdrożyło przynajmniej jedną technologię cyfrową.

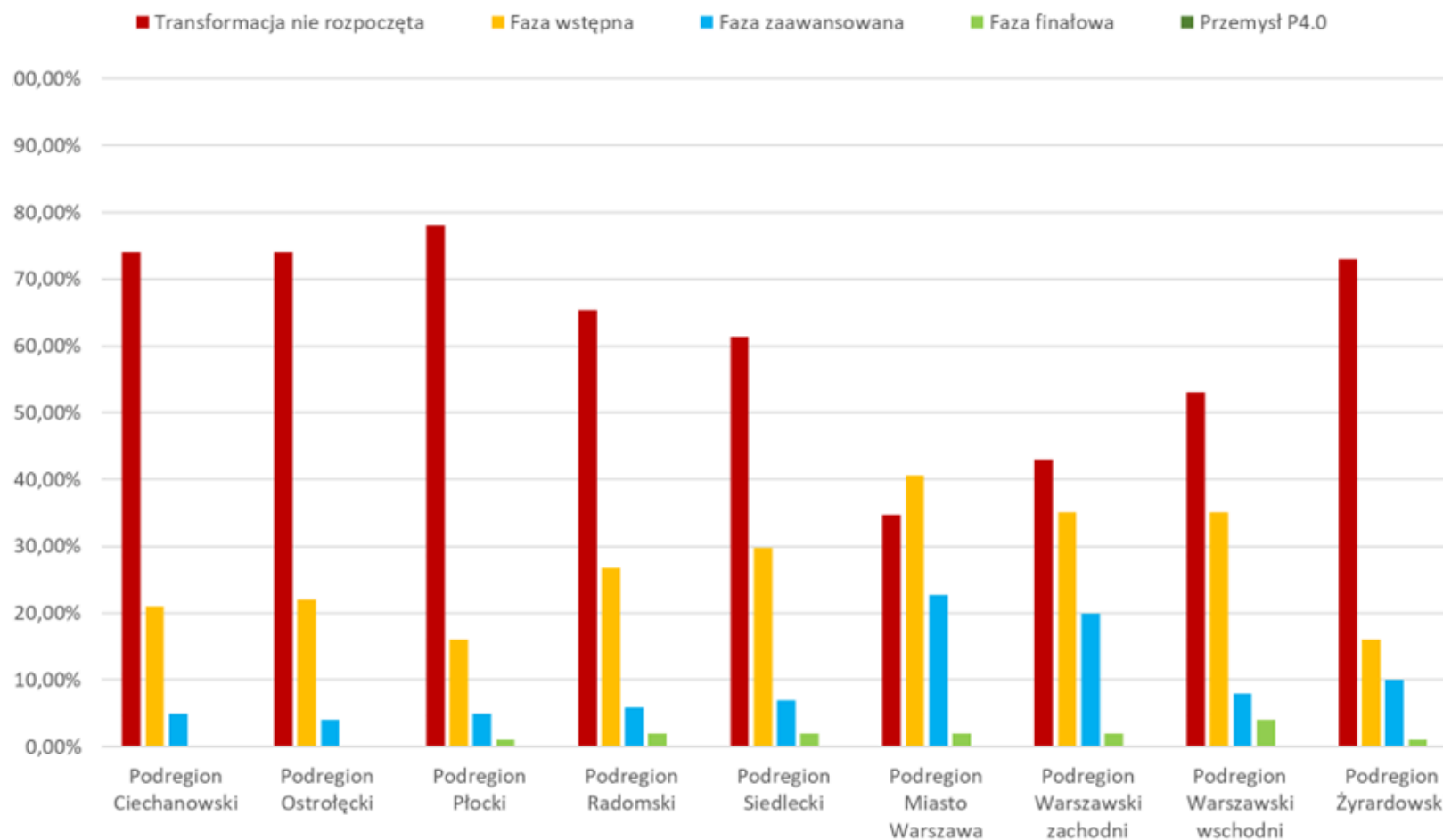
Kolejnym badaniem porównawczym – z uwagi na wykorzystanie podziału NUTS-2 - wskazującym na niską pozycję Mazowsza wśród europejskich liderów transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 jest badanie *Data describing the regional Industry 4.0 readiness index* (Honti i in., 2020). Stworzony przez autorów ranking regionów NUTS-2 wedle poziomu gotowości przedsiębiorstw europejskich do pracy w koncepcji Przemysłu 4.0 mierzonego indeksem Industry 4.0+ umiejscawia region warszawski stołeczny w połowie drugiej setki badanych regionów. Region mazowiecki regionalny znalazł się wśród pięćdziesięciu najmniej zaawansowanych pod kątem adaptacji Przemysłu 4.0 regionów. Jest to zrozumiałe, biorąc pod uwagę fakt, że na indeks Industry 4.0+ składały się takie czynniki jak poziom PKB czy liczba patentów i prac naukowych o tematyce związanej z Przemysłem 4.0. Region warszawski stołeczny jest głównym ośrodkiem akademickim zarówno województwa, jak i całego kraju. Wyróżnia się także pod kątem generowanego PKB.

Podsumowując – w ujęciu całościowym proces transformacji do modelu Przemysłu 4.0 na Mazowszu dopiero się rozpoczyna. Zdecydowanie nie można powiedzieć, żeby mazowieckie przedsiębiorstwa znajdowały się w gronie pionierów cyfrowej transformacji, wyraźny jest jednak pozytywny trend ostrożnego adaptowania się do rzeczywistości czwartej rewolucji przemysłowej. Rolę lidera we wdrażaniu innowacji z zakresu P4.0 w województwie pełni region warszawski stołeczny, co oczywiście podnosi średni poziom adaptacji dla całego województwa, ale jednocześnie zaburza nieco obraz przemysłu w regionie mazowieckim regionalnym. Warszawa, m.in. z uwagi na znaczenie ekonomiczne oraz fakt bycia centralnym ośrodkiem politycznym kraju, posiadająca największy stopień skomunikowania z całym światem spośród polskich miast, stanowi domyślne miejsce dla przedstawicielstw zagranicznych firm, chcących rozwijać swój biznes w Polsce. Tym samym to właśnie tu dochodzi do największego przepływu innowacji przynoszonych do Polski przez kapitał zagraniczny.

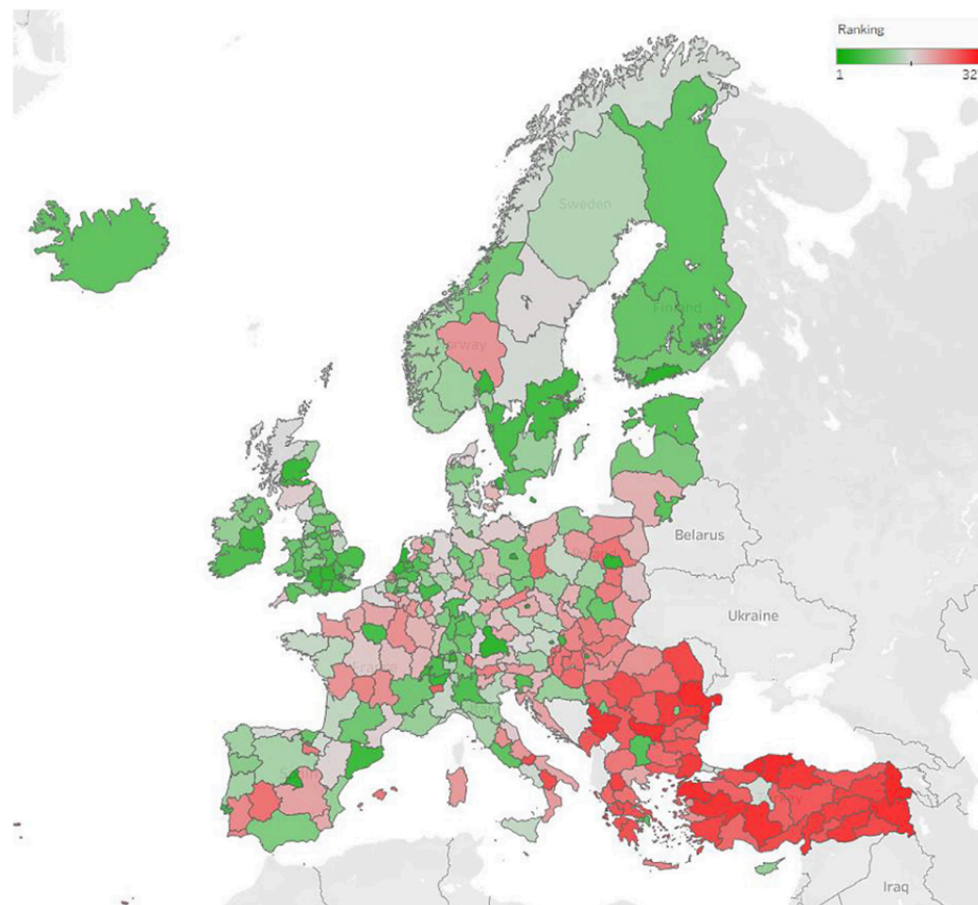
Wykres 1. Rozwiązania P4.0 w mazowieckich przedsiębiorstwach w podziale na NUTS-3
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania CATI N=903



Wykres 2. Odsetek przedsiębiorstw mazowieckich wg stopnia gotowości wdrażania modelu P4.0 – wszystkie badane branże
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania CATI, N=903



Wykres 3. Ranking zaawansowania transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 w podziale na regiony NUTS-2
Źródło: Data describing the regional Industry 4.0 readiness index (Honti i in., 2020).

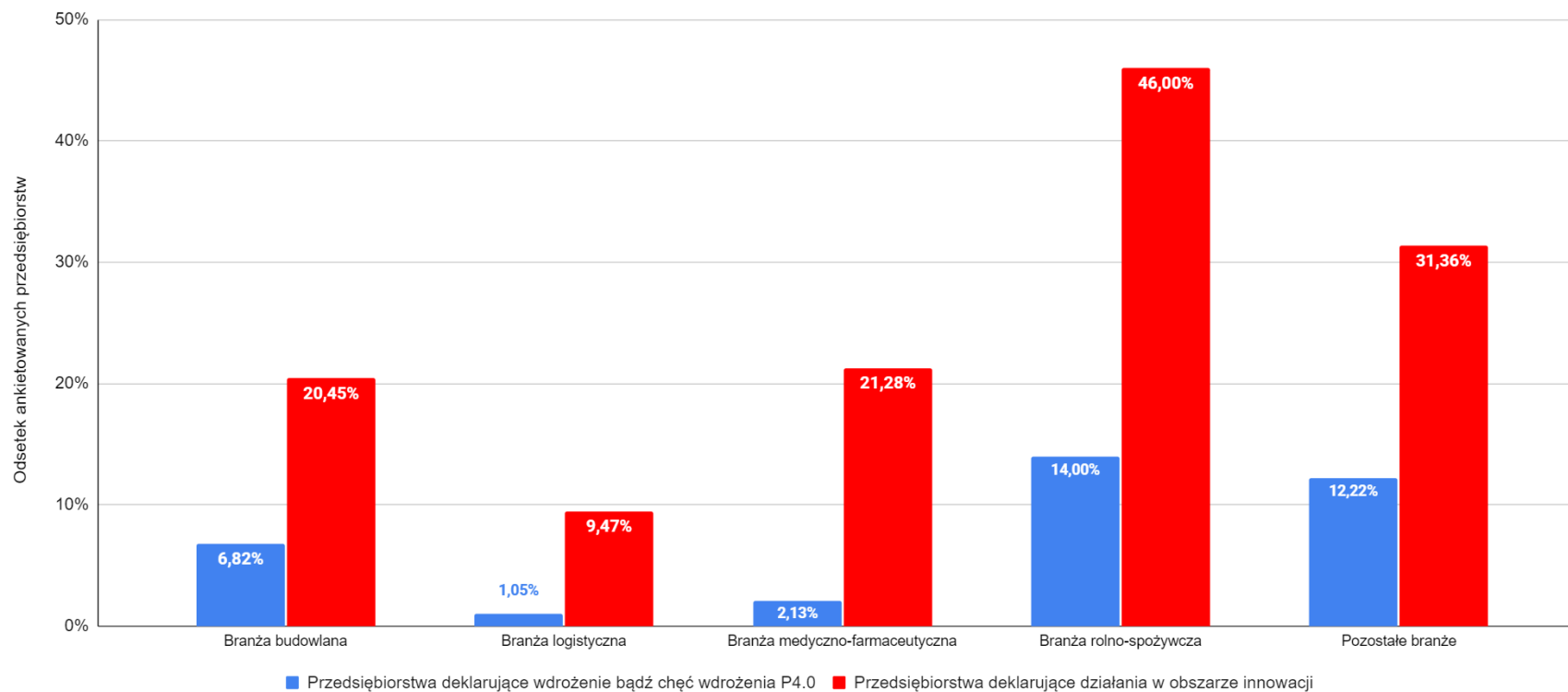


4.1 Przemysł 4.0 w branżach: budowlanej, logistycznej, medyczno-farmaceutycznej oraz rolno-spożywczej

W analizowanych branżach jedynie w rolno-spożywczej deklarowany poziom zrealizowanych i planowanych wdrożeń rozwiązań Przemysłu 4.0 był porównywalny z poziomem wdrożeń w mazowieckich przedsiębiorstwach spoza analizowanych branż (p. Wykres 4, „Pozostałe branże”). W kontekście deklaracji podejmowania działań innowacyjnych branża rolno-spożywcza przewyższa także przeciętny poziom mazowiecki, a w porównaniu do pozostałych analizowanych branż, poziom deklaracji jest prawie dwukrotnie wyższy. W obu powyższych aspektach (deklarowany poziom zrealizowanych i planowanych wdrożeń rozwiązań P4.0, deklarowane działania innowacyjne) pozostałe trzy branże - logistyczna, medyczno-farmaceutyczna oraz budowlana - wykazują znacznie niższe poziomy.



Wykres 4. Odsetek ankietowanych przedsiębiorstw mazowieckich wg deklarowanego wdrożenia P4.0 lub podjęcia działań innowacyjnych - porównanie branż



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania CATI (N=903)

Pod kątem gotowości we wdrażaniu Przemysłu 4.0 sytuacja jest bardzo zbliżona.

Wśród ankietowanych przedsiębiorstw jedynie branża rolno-spożywcza wykazuje poziom gotowości mierzony indeksem IAP40 zbliżony do poziomu mazowieckich przedsiębiorstw spoza analizowanych branż. (p. Wykres 5).

Należy zaznaczyć, że pojęcie branży nie jest pojęciem precyzyjnym - jest ono ściśle uzależnione od zastosowanego systemu kategoryzowania działalności gospodarczej. Dlatego też wyniki każdej analizy branżowej są silnie uzależnione od przyjętej metody klasyfikowania danego przedsiębiorstwa czy typu prowadzonej działalności gospodarczej do konkretnej branży. Metodę przyjętą w niniejszym badaniu oparto o kody PKD 2007, wskazane przez przedsiębiorstwa jako działalność dominująca.

Najmniej zaawansowana pod kątem wdrażania Przemysłu 4.0 jest branża logistyczna. Fakt ten wynika przede wszystkim ze zróżnicowanego rozumienia jakie rodzaje działalności gospodarczej tworzą tę branżę. Na potrzeby tego badania przyjęto interpretację branży logistycznej jako działalności polegającej na przewożeniu towarów. W myśl tej interpretacji nie można jej uznać za branżę produkcyjną - nie wytwarza ona ani nie przetwarza żadnych towarów. Oba główne procesy w ramach których branża operuje - transport oraz załadunek i rozładunek - to procesy stosunkowo proste, pracochłonne i niewymagające zaawansowanej kontroli parametrów, w związku z czym stosowanie do nich rozwiązań Przemysłu 4.0 - choć możliwe - nie zawsze jest ekonomicznie uzasadnione.

Na wdrożeniu cyfrowych rozwiązań Przemysłu 4.0 mogą za to skorzystać procesy wspierające branżę logistycznej - planowanie tras, optymalizowanie wykorzystania przestrzeni ładunkowej, sprzedaż i zarządzanie zleceniami. W wywiadach eksperci wskazywali na fakt, że z tego typu rozwiązań korzystają duże, zagraniczne firmy logistyczne, ale dla małych przedsiębiorstw wdrażanie ich nie jest uzasadnione ekonomicznie, ze względu na skalę działalności.

W powszechnym rozumieniu do działalności włączanych do branży logistycznej zalicza się także działalność magazynową. Z perspektywy Przemysłu 4.0 ten rodzaj działalności jest bardzo podatny na wdrożenia cyfrowych innowacji. Roboty i automaty magazynowe, paletyzatory, „inteligentne regały”, systemy identyfikacji towaru (systemy wizyjne, etykiety RFID, kody kreskowe) - ten szeroki mix cyfrowych technologii umożliwił powstanie całkowicie bezobsługowych magazynów, w których cała praca wykonywana jest bez udziału człowieka. Za nieuwzględnieniem działalności magazynowej w branży logistycznej w niniejszym badaniu przemawiały jednak dwa argumenty. Po pierwsze, w obecnym standardzie produkcji przemysłowej niemal każdy zakład prowadzi własne magazyny - czy to gotowych towarów czy materiałów lub półproduktów. Bardziej zatem niż branża jest to jeden z kluczowych procesów wewnętrznych każdego przedsiębiorstwa. Wnioskowanie o jego zaawansowaniu pod kątem cyfryzacji na podstawie firm skupiających się wyłącznie na działalności magazynowej prowadziłyby do błędnych wniosków. Po drugie - w idealnym modelu gospodarki operującej w ramach koncepcji Przemysłu 4.0 magazyny nie powinny istnieć. Magazynowanie jest postrzegane w ekonomice przedsiębiorstwa jako niezbędny do poniesienia koszt, który powinien być minimalizowany. Przemysł 4.0 niesie ze sobą obietnicę przejścia na produkcję bezmagazynową,

zgodnie z koncepcją „Just in Time” – produkcji i dostarczenia towaru „na czas”, wtedy, gdy jest on potrzebny.

Pod kątem postępów na drodze ku Przemysłowi 4.0 branża budowlana wypada podobnie do branży logistycznej. Według ekspertów, z którymi przeprowadzono wywiady w dominującym modelu, standardzie branży budowlanej, działalność produkcyjna przedsiębiorstwa jest wciąż na etapie pierwszej rewolucji przemysłowej - odbywa się dzięki zmechanizowanej pracy ludzkiej. Domy nie są produkowane w fabrykach na liniach montażowych, z których co kilkadziesiąt minut zjeżdża nowy, gotowy do użytkowania budynek. Podobnie jak w branży logistycznej, tak i w tej branży silny wpływ na wyniki miała wspomniana już metoda klasyfikacji przedsiębiorstwa do branży. W niniejszym badaniu skupiono się na podmiotach wykonujących roboty budowlane. W związku z tym, w wynikach nie znajdziemy odzwierciedlenia postępów związanych z transformacją w kierunku P4.0 w działalnościach włączonych w szerszy łańcuch wartości budownictwa – projektowania, analiz wytrzymałościowych, produkcji materiałów budowlanych czy w cyfrowym zarządzaniu budynkiem. Są to dziedziny działalności, w których rozwiązania czwartej rewolucji przemysłowej znajdują zastosowanie, lecz są to obszary głównie przedprodukcyjne (projektowanie, tworzenie dokumentacji przy wykorzystaniu systemów CAD, wykonywanie symulacji oraz obliczeń wytrzymałościowych przy pomocy modelowania komputerowego) oraz sprzedażowe (wizualizacje komputerowe, wirtualne wycieczki po nieistniejących budynkach). Choć pojawiają się już pierwsze roboty przeznaczone do pracy na placach budowy, to wciąż nie są to rozwiązania na tyle tanie i wydajne, by mogły stanowić konkurencję dla pracy człowieka w robotach budowlanych.

W branży medyczno-farmaceutycznej odsetek ankietowanych przedsiębiorstw, które do tej pory nie wkroczyły na ścieżkę transformacji do modelu Przemysłu 4.0 jest niższy niż w branży logistycznej czy budowlanej, jednak żadna z ankietowanych firm nie osiągnęła poziomu wyższego niż faza początkowa transformacji. Przyczyny takiego stanu rzeczy są dwojakie. Po pierwsze: wśród ankietowanych przedsiębiorstw zaklasyfikowanych jako reprezentacja branży medyczno-farmaceutycznej, w wyniku losowości procesu ankietyzacji wystąpiła nadreprezentacja przedsiębiorstw zajmujących się przede wszystkim opieką zdrowotną - czyli przedsiębiorstw usługowych. Firmy te stanowiły 85% spośród ankietowanych, zaklasyfikowanych jako przedstawiciele branży medyczno-farmaceutycznej. Procesy opieki zdrowotnej znacząco różnią się w swym charakterze od procesów produkcji leków czy urządzeń medycznych - są ze swej natury usługowe i nie poddają się tak prosto procesom cyfryzacyjnym, gdyż zdecydowanie większa część pracy jest wykonywana za pomocą pracy ludzkiej. Mamy więc do czynienia z sytuacją zbliżoną do tej w branży logistycznej i budowlanej. Stąd też wynika niższy odsetek przedsiębiorstw na drodze do Przemysłu 4.0 niż w branżach nieobjętych szczegółową analizą. Po drugie: wyższy niż w branży logistycznej i budowlanej odsetek firm w początkowej fazie transformacji cyfrowej wynika z faktu, że opieka zdrowotna jest działalnością od dawna wymagającą prowadzenia dokładnej dokumentacji oraz nawykłą do pracy w ramach standardów operacyjnych, co stanowi jeden z pierwszych kroków na drodze do skutecznego przeprowadzenia transformacji w kierunku Przemysłu 4.0. Oba te obszary są również od dłuższego czasu cyfryzowane (elektroniczna dokumentacja), a wymogi prawne

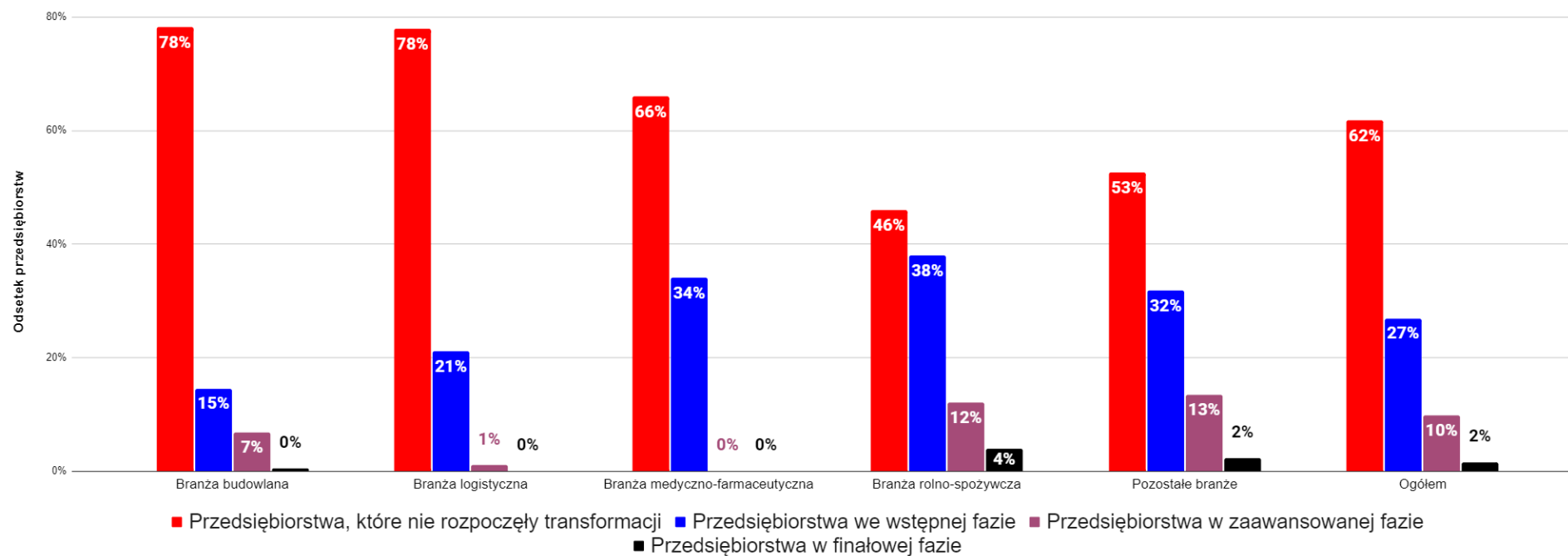
związane z posiadaniem przez firmy danych wrażliwych wymuszają na przedsiębiorcach dbałość o bezpieczeństwo cybernetyczne.

Najbardziej zaawansowaną z analizowanych branż pod kątem wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0 jest wedle wyników przeprowadzonego badania ankietowego branża rolno-spożywcza. Zachodzi w niej jednak podobna sytuacja, co w wypadku branży medyczno-farmaceutycznej. Przyjęta w metodologii zasada klasyfikowania przedsiębiorstw jako przynależnych do branży rolno-spożywczej zakłada, że do tej kategorii przypisano przedsiębiorstwa, których główną działalność stanowi przetwórstwo przemysłowe (sekcja C wg PKD2007) lub rolnictwo/rybołówstwo (sekcja A wg PKD2007), które tradycyjnie jest klasyfikowane jako działalność pozaprzemysłowa. W wyniku losowej natury doboru respondentów ankiety doszło do wystąpienia nadreprezentacji (86%) przedsiębiorstw zajmujących się przetwórstwem żywności. Branża przemysłowego przetwórstwa żywności - podobnie jak medyczno-farmaceutyczna - jest branżą, w której uwarunkowania jakościowe wymuszają wprowadzenie ścisłej kontroli procesowej oraz pracy według standardów operacyjnych i standardów bezpieczeństwa. Jednocześnie jest to branża mocno zautomatyzowana, silnie skoncentrowana na wykorzystaniu w procesie linii produkcyjnych. Ewolucja w kierunku metod Przemysłu 4.0 jest więc w branży przemysłowego przetwórstwa żywności wymuszona przez konkurencję. Wysoki poziom deklarowanych działań innowacyjnych może wynikać także z faktu, że branża rolno-spożywcza jest jedynym przedstawicielem branż dóbr szybkozbywalnych (FMCG), gdzie innowacje produktowe wprowadzane są na rynek o wiele częściej niż w przypadku pozostałych analizowanych w niniejszym badaniu branż.

Podsumowując analizę branżową należy zwrócić uwagę na fakt, że sam charakter branży nie określa czy może ona być elementem modelu Przemysłu 4.0 czy też nie. W każdym rodzaju działalności gospodarczej występują procesy, do których można zastosować pryncypia Przemysłu 4.0, nie w każdym jednak rodzaju są to procesy główne, trzonowe. Ponadto proces transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 w swym ogólnym ujęciu nie różni się w zależności od tego w jakiej branży będzie przeprowadzany (p. Rozdział 6.2). W związku z tym, chcąc oceniać gotowość każdej z analizowanych branż do wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0, należałoby stwierdzić, że jest ona dla każdej z nich taka sama. Niektóre branże (jak np. przetwórstwo żywności) są – w związku z zaadaptowaniem rozwiązań z poprzednich rewolucji przemysłowych oraz specyfiką pracy czy skalą działalności – już na samym starcie bardziej zaawansowane w transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 niż pozostałe, nie wpływa to jednak na ich gotowość. Transformację przedsiębiorstwa do modelu Przemysłu 4.0 można przeprowadzić sprawnie także “od zera”.

Analiza potrzeb pod kątem NUTS-2 i NUTS-3 nie wykazała istotnych statystycznie różnic między regionami i podregionami.

Wykres 5. Rozkład ankietowanych przedsiębiorstw mazowieckich wg stopnia gotowości we wdrażaniu Przemysłu 4.0 mierzonego indeksem IAP40 - porównanie branż



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania CATI (N=903)

5. Wpływ pandemii COVID-19 na funkcjonowanie przedsiębiorstw w zakresie transformacji cyfrowej w kierunku Przemysłu 4.0.

Proces transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 nie jest procesem, który można przeprowadzić w krótkim czasie. Pandemia COVID-19 trwająca w Polsce z różnym natężeniem od marca 2020 do maja 2022 - teoretycznie - nie mogła mieć znaczącego wpływu na transformację przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0, niemniej trudne kryzysowe warunki prowadzenia biznesu mogły przyczynić się do jej spowolnienia.

Wprowadzone w kraju obostrzenia bezpośrednio zablokowały przedsiębiorstwom możliwość prowadzenia działalności jedynie na samym jej początku. 24 marca 2020 roku rozporządzeniem Ministra Zdrowia dopuszczono przemieszczanie się w celu „wykonywania czynności zawodowych lub zadań służbowych, lub pozarolniczej działalności gospodarczej, lub prowadzenia działalności rolniczej, lub prac w gospodarstwie rolnym, oraz zakupu towarów i usług z tym związanych”. Działalność gospodarcza, mimo że w znacząco utrudnionych warunkach, mogła być więc prowadzona, choć nie dotyczyło to wszystkich branż⁴.

Pandemia wpłynęła na przedsiębiorców przede wszystkim w postaci spadku koniunktury oraz zwiększonej niepewności co do zmian w gospodarce. Mimo trudnych warunków polska gospodarka dobrze poradziła sobie z wyzwaniami czasu pandemii - takie wnioski płyną z wielu badań i analiz (Wieczorek, 2022; Szczepaniak, Ambroziak, i Drożdż 2020; Wojewódzki Urząd Pracy w Poznaniu, 2021) oraz danych statystycznych dotyczących sytuacji finansowej przedsiębiorstw (GUS, dostęp z dnia 22.06.2023). Po początkowym szoku i osłabieniu gospodarki krajowej w 2020 roku, w 2021 sytuacja w większości branż zaczęła się stabilizować.

Z danych statystycznych dotyczących województwa mazowieckiego z lat 2020 - 2021 wynika, że pod kątem wpływu pandemii COVID-19 na gospodarkę sytuacja Mazowsza nie odbiega od większości regionów kraju. Po załamaniu w roku 2020 nastąpiło silne odbicie w roku 2021. Ilustruje to poniższy wykres zmiany ogółu przychodów przedsiębiorstw mazowieckich w stosunku do lat poprzednich.

Wśród mazowieckich przedsiębiorstw działających w budownictwie negatywny wpływ pandemii jest w zasadzie niezauważalny. W roku 2020 odnotowano nieznaczny spadek przychodów, o około 7,5% spadły także nakłady inwestycyjne. W roku 2021 sytuacja uległa znacznej poprawie, choć poziom inwestycji wzrósł jedynie do poziomu o 37,7 mln zł niższego, niż wynosił przed pandemią.

⁴ Najbardziej dotknięte były branże, których kluczowym elementem były mniejsze lub większe zbiorowiska ludzi - branża gastronomiczna, turystyczna i widowiskowa. Utrudniony był także handel w kanałach tradycyjnych, mocno ucierpiały też usługi z zakresu sektora beauty.

W skali całej branży są to jednak wartości nieznaczne, świadczące o chwilowym spowolnieniu - zarówno w rozwoju ekonomicznym przedsiębiorstw, jak i w tempie przeprowadzanych inwestycji.

Dla transportu (wraz z gospodarką magazynową) okres pandemii był czasem dostosowywania się do panujących restrykcji. Ograniczenie mobilności, wynikające z wprowadzonych obostrzeń sanitarnych, przyczyniło się do wzrostu zapotrzebowania na indywidualne usługi transportowe. Jednocześnie okres zamknięcia granic państwa odbił się negatywnie na poziomie przychodów i zyskowności przedsiębiorstw w roku 2020. W roku 2021 sektor zwiększył przychody, a także nakłady inwestycyjne. W stosunku do czasu sprzed pandemii wzrosły one o ponad 10 mld zł, a mimo to przedsiębiorstwom udało się przywrócić poziom zysków z działalności do poziomu zbliżonego do osiągniętego w roku 2019.

Analogicznie pandemia wpłynęła na sektor opieki zdrowotnej i społecznej. Gwałtowny wzrost zapotrzebowania na towary i usługi związane ze zwalczaniem wirusa COVID-19 oraz obciążenie systemu państwowej opieki zdrowotnej do granic wydolności musiało zaowocować wzrostem popytu, na który przedsiębiorcy działający w tej branży odpowiedzieli.

Podobna analiza dla branży rolno-spożywczej jest utrudniona z uwagi na brak danych finansowych z lat 2019-2020 dla mazowieckich przedsiębiorców tego sektora. Nie istnieją jednak przesłanki pozwalające stwierdzić, że sytuacja Mazowsza w tym zakresie różniła się diametralnie od sytuacji rolnictwa i przetwórstwa spożywczego w innych regionach Polski. Ta zaś, mimo początkowego szoku wywołanego ograniczeniami nałożonymi na eksport, szybko dostosowała się do nowych warunków otoczenia (Szczepaniak, Ambroziak, i Drożdż 2020).

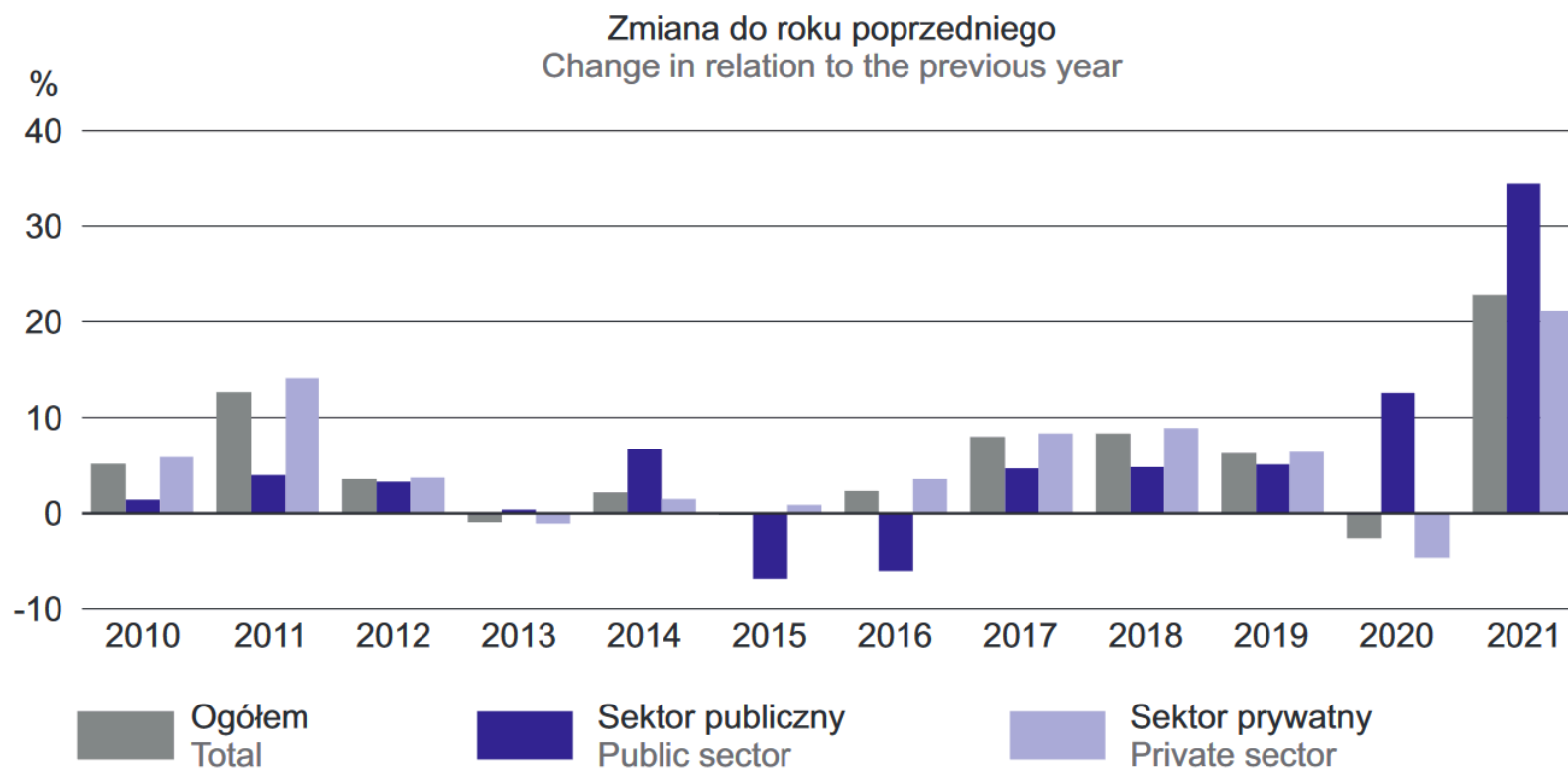
Nie można więc powiedzieć, że w branżach analizowanych w ramach tego badania kryzys spowodowany pandemią drastycznie ograniczył inwestycje. Środki na inwestycje dostępne były w stopniu zbliżonym do poziomu z roku 2019. Natomiast niski poziom IAP40 uzyskany przez zdecydowaną większość ankietowanych przedsiębiorstw w badaniu CATI nie wskazuje na to, by owe środki miały być przeznaczone na rozwój w kierunku P4.0 (61,79% ankietowanych przedsiębiorstw nie rozpoczęło procesu transformacji). Nie powinno to być niczym zaskakującym, biorąc pod uwagę niski poziom świadomości mazowieckich przedsiębiorców w kontekście znaczenia i potencjału, jaki niesie ze sobą Przemysł 4.0.

Ten stan potwierdziły także opinie ekspertów zebrane podczas indywidualnych wywiadów IDI. Eksperci głównie podkreślali wpływ pandemii na prace biurowe, które poprzez restrykcje sanitarne musiały zostać zaadaptowane przy pomocy technologii cyfrowych do warunków pracy zdalnej. Choć możliwości technologiczne do takiej adaptacji istniały jeszcze przed pandemią, to nie były one szeroko wykorzystywane z uwagi na lęk menedżerów przed spadkiem wydajności pracy pracowników w sytuacji braku bezpośredniego nadzoru. Okoliczności pracy w epidemii pokazały jednak, że przeniesienie pracy biurowej do sfery wirtualnej nie ma przełożenia na wydajność pracowników⁵,

⁵ Kagerl, C., Starzetz, J. Working from home for good? Lessons learned from the COVID-19 pandemic and what this means for the future of work. *J Bus Econ* 93, 229–265 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11573-022-01124-6>

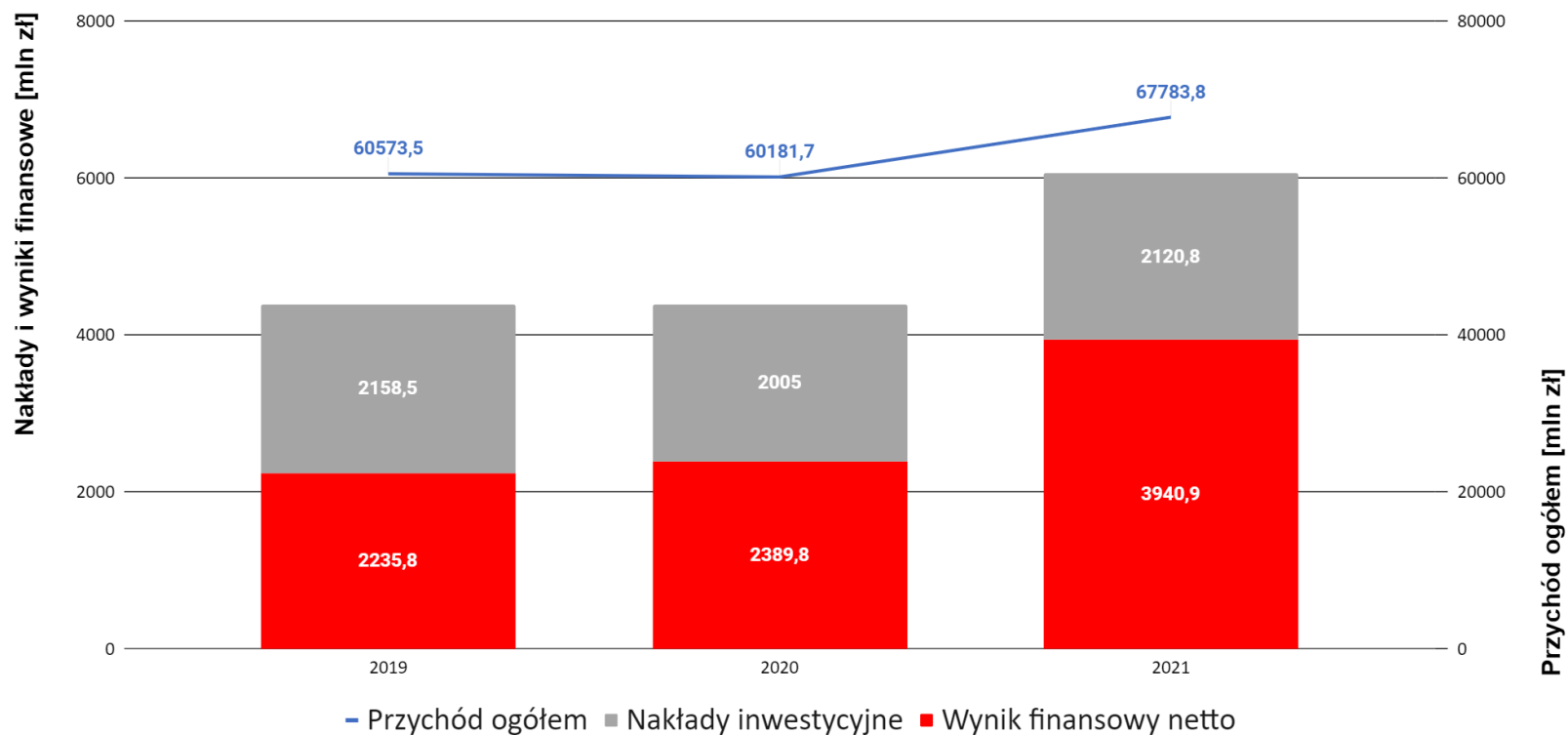
co w najbardziej rozbudowanej wersji prowadziło do zmiany modeli biznesowych (np. przeniesienia działalności handlowej w całości do kanałów on-line). Eksperti podkreślali, że znane im nieliczne przedsiębiorstwa, które przed epidemią inwestowały w rozwiązania i kompetencje cyfrowe, łagodniej odczuły jej skutki. Wynikało to nie tylko z możliwości technicznych, ale także z wdrożenia do kultury zarządzania tych podmiotów niezbędnego do przeprowadzenia transformacji w kierunku P4.0 długofalowego myślenia strategicznego oraz zdolności szybkiego adaptowania się do nagłych zmian.

Wykres 6. Przychody ogółem mazowieckich przedsiębiorstw wg sektorów własności



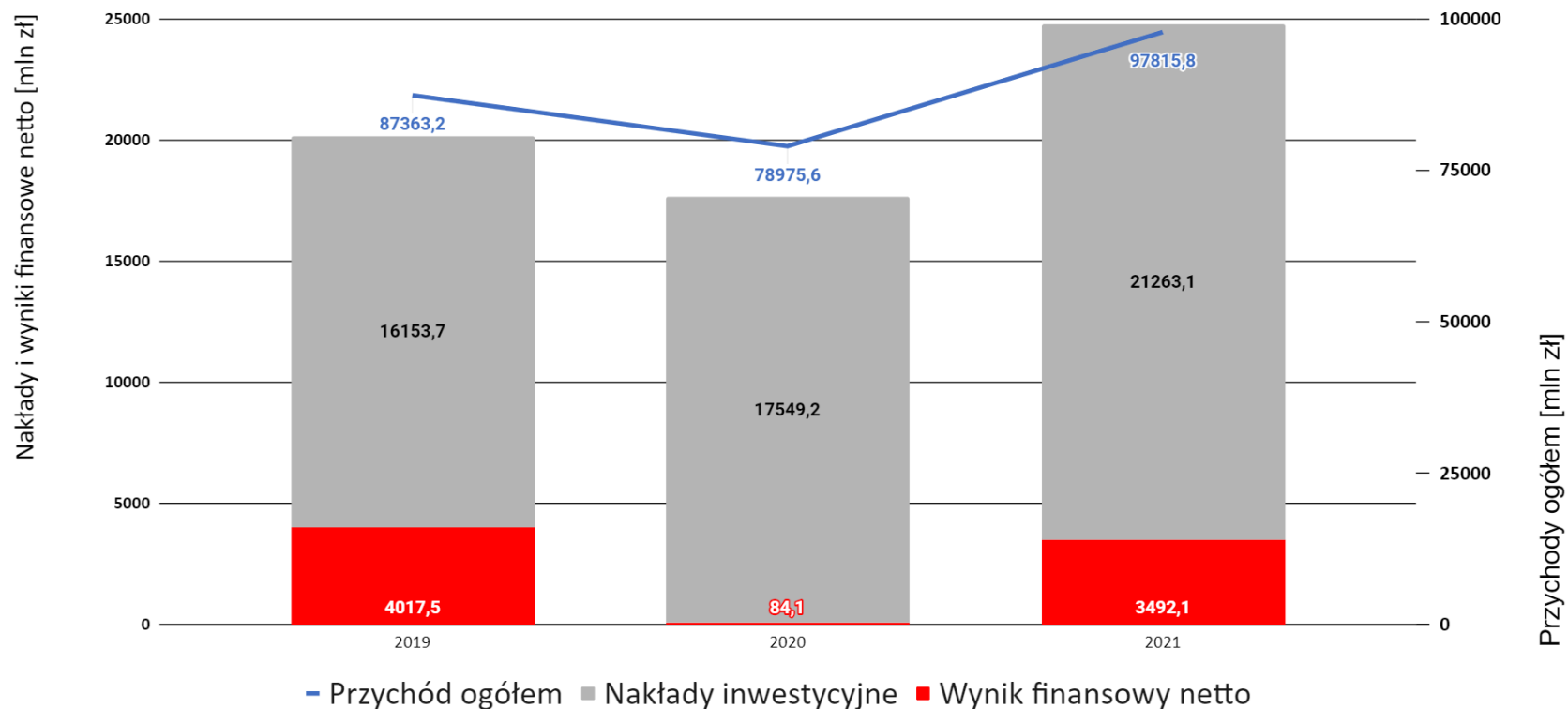
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS(dostęp: 23.06.2023)

Wykres 7. Wybrane dane finansowe mazowieckich przedsiębiorstw w milionach złotych – budownictwo. Lata 2019-2021



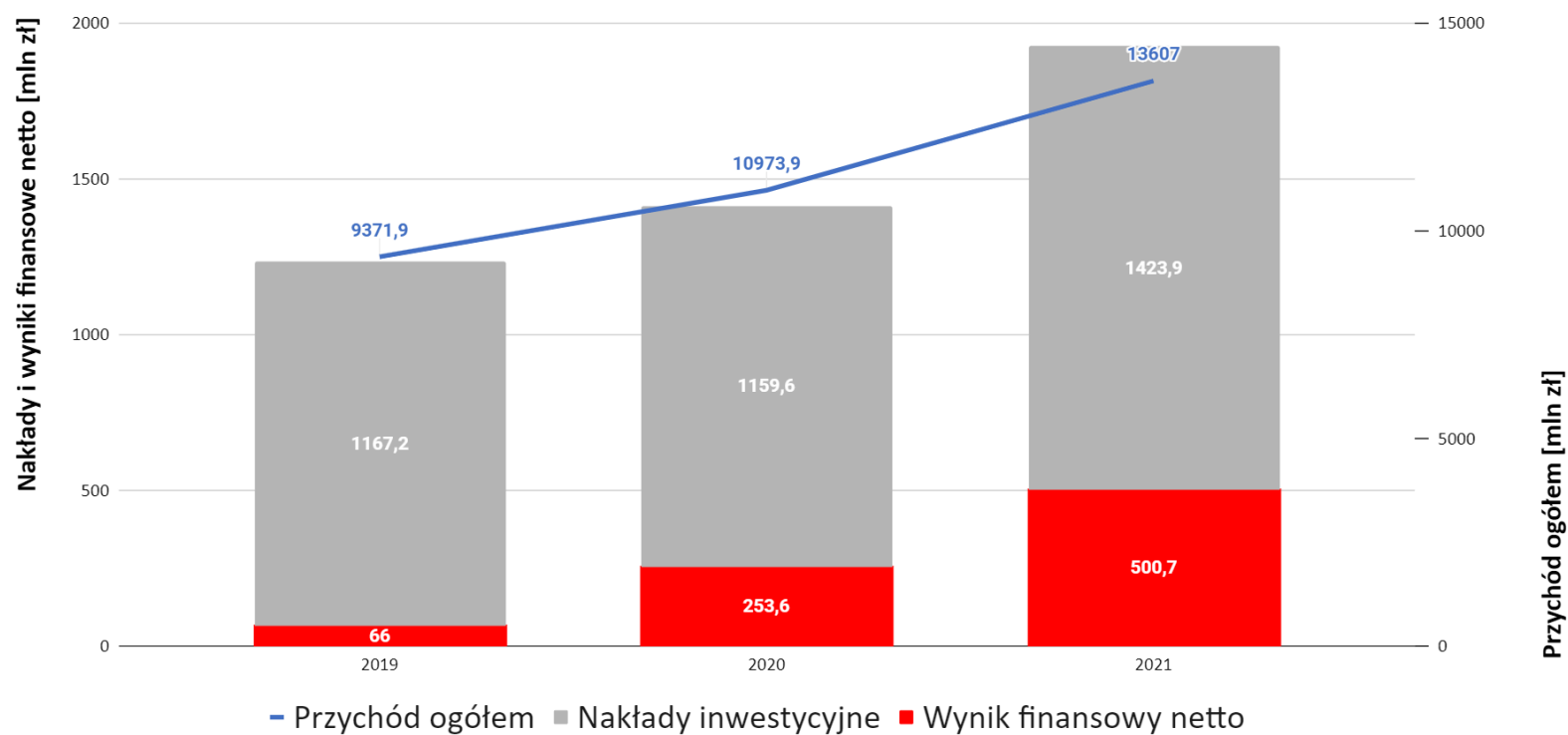
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (dostęp: 23.06.2023)

Wykres 8. Wybrane dane finansowe mazowieckich przedsiębiorstw w milionach złotych – transport. Lata 2019-2021



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (dostęp: 23.06.2023)

Wykres 9. Wybrane dane finansowe mazowieckich przedsiębiorstw w milionach złotych – opieka zdrowotna i społeczna. Lata 2019-2021



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (dostęp: 23.06.2023)

6. Analiza trendów i perspektywy rozwoju transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 wśród mazowieckich przedsiębiorstw

Wyniki przeprowadzonych w ramach badania wywiadów wskazują, że na Mazowszu można zidentyfikować **początki formowania się trendu bardzo ostrożnego unowocześniania przedsiębiorstw (proces cechuje się wysoką awersją przedstawicieli przedsiębiorstw do podejmowania ryzyka)**. Dotyczy to wykorzystywanych technologii, metod organizacji pracy oraz modeli biznesowych i kultury prowadzenia biznesu. Przedsiębiorcy mazowieccy są raczej konserwatystami, graczami z wieloletnim doświadczeniem o bardzo dobrym rozeznaniu w swojej branży. O ile z chęcią inwestują w rozwój przedsiębiorstw, o tyle głównie są to inwestycje bezpieczne, o krótkich okresach zwrotu i niskim ryzyku, najczęściej związane ze skalowaniem działania poprzez zwiększenie możliwości produkcyjnych.

Nie jest to podatny grunt dla Przemysłu 4.0, którego pełna implementacja jest trudnym zadaniem, wymagającym dużych zasobów wiedzy, energii, czasu i kapitału - co jest naturalne w przypadku inwestowania w nowoczesne technologie i eksperymentalne rozwijanie alternatywnych strategii biznesowych. Chęci transformacji nie sprzyja także niełatwa do uchwycenia natura Przemysłu 4.0, która jest rewolucją systemową, całościową, nie dającą zrównać się z jedną tylko technologią czy wynalazkiem. W wywiadach eksperci charakteryzowali rozwój Przemysłu 4.0 na Mazowszu jako powolną, naturalną ewolucję, w której ramach na jednym rynku konkurują ze sobą nieliczne, w większości duże organizacje - najczęściej wspierane zagranicznym kapitałem i know-how - stanowiące awangardę zmian w sposobie prowadzenia biznesu, pozostawiając jednak dość dużo przestrzeni rynkowej dla przedsiębiorstw wciąż jeszcze zanurzonych w poprzednich paradygmatach biznesowych. Miejsca na rynku jest na tyle dużo, że także te firmy - często mniejsze i dysponujące skromniejszą wiedzą i kapitałem - mogą nie tylko prowadzić działalność, ale nawet ją rozwijać i rosnąć.

Założenie dalszego trwania tego trendu i jego ekstrapolacja do roku 2030 stanowią podstawę umiarkowanego scenariusza rozwoju Przemysłu 4.0 na Mazowszu. Kolejne dwa scenariusze - optymistyczny i pesymistyczny bazują na scenariuszu umiarkowanym, uwzględniając dodatkowo korzystne i niekorzystne okoliczności dla przyspieszenia postępu transformacji w kierunku Przemysłu 4.0.

6.1 Scenariusze

6.1.1 Scenariusz umiarkowany

W scenariuszu umiarkowanym do 2030 roku nie zaszły żadne znaczące zmiany, które miałyby wpływ na tempo postępu procesu transformacji mazowieckich przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0. Przedsiębiorcy szybko zaadaptowali się do nowych warunków, jakie nastały po 2022 roku i wykorzystali następne 7 lat na umocnienie i uodpornienie swojej pozycji biznesowej na gwałtowne zmiany. Do 2030 roku nie doszło na szczęście do kolejnego kryzysu, ale nie pojawiły się też wyjątkowo sprzyjające okoliczności. Do puli środków finansowych dostępnych przedsiębiorcom w ramach krajowych i unijnych programów wsparcia doszły także pieniądze z tzw. pakietu odbudowy. Niestety, utrzymujący się brak wysoko wykwalifikowanych specjalistów, ostra konkurencja o wykwalifikowanych pracowników ze strony przedsiębiorstw z regionu warszawskiego stołecznego, oferujących wyższe uposażenia, a także utrzymujący się stosunkowo niski poziom wiedzy w temacie Przemysłu 4.0 nie pozwoliły na przyspieszenie tempa adaptacji mazowieckich przedsiębiorstw do modelu działania w ramach czwartej rewolucji przemysłowej.

Wyniki przeprowadzonego badania delfickiego pozwoliły na oszacowanie średniego poziomu indeksu IAP40 przy założeniu, że dominujący aktualnie wśród mazowieckich przedsiębiorstw trend ostrożnego unowocześniania utrzyma się. Wyniki przedstawiono zbiorczo na poniższym wykresie 10.

Wedle opinii ekspertów, w tym scenariuszu przeciętne przedsiębiorstwo mazowieckie w 2030 roku będzie miało już za sobą pierwsze działania na drodze ku transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 i powoli będzie przechodzić w jej fazę zaawansowaną. W dyskusji w badaniu delfickim zwracano uwagę, że silna współpraca polskiej i niemieckiej gospodarki będzie wspierała transformację mazowieckich przedsiębiorstw w kierunku P4.0. Eksperci podkreślili także wykładniczy charakter procesu transformacji – wraz z rozwojem zaawansowania do modelu P4.0 podnosi się efektywność przedsiębiorstwa, co ułatwia dalszą pracę nad transformacją.

6.1.2 Scenariusz optymistyczny

Scenariusz optymistyczny zakłada, iż do 2030 roku przedsiębiorcy mazowieccy będą mogli korzystać z okoliczności wyjątkowo sprzyjających transformacji w kierunku Przemysłu 4.0: sytuacja gospodarcza jest wzrostowa, a w ostatnich 7 latach nie wybuchł żaden znaczący kryzys. Źródła finansowania inwestycji niezbędnych do transformacji w stronę Przemysłu 4.0 są szeroko dostępne. Nowe roczniki absolwentów szkół technicznych dysponują lepszym zrozumieniem idei P4.0, a stworzenie w przedsiębiorstwie zespołu pracowników dysponujących pełną listą kompetencji koniecznych do skutecznego przeprowadzenia procesu transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 jest stosunkowo łatwe. Dzięki utrzymującej się korzystnej koniunkturze gospodarczej na terenie województwa mazowieckiego rozpoczęły działalność liczne firmy zagraniczne, przynosząc ze sobą *know-how* dotyczący nowoczesnych metod produkcji. Dzięki otwarciu m.in. w Niemczech i Polsce fabryk mikroprocesorów podzespoły automatyki nowoczesnego przemysłu stają się bardziej dostępne także

dla MŚP. Te wyjątkowo sprzyjające warunki oraz świetne wyniki firm, które wcześniej postawiły na ucyfrowienie swojej działalności, sprawiły, że wzrosła chęć mazowieckich przedsiębiorców do podjęcia zadania transformacji firm w kierunku Przemysłu 4.0.

Szacunkowe wartości średniego poziomu IAP40 dla scenariusza optymistycznego, opracowane na podstawie wyników przeprowadzonego badania delfickiego, przedstawiono na wykresie 11.

Wyeliminowanie głównych barier transformowania firm w kierunku Przemysłu 4.0, wzrost wiedzy i świadomości oraz chęci przedsiębiorców do zmian w kierunku czwartej rewolucji przemysłowej pozwolą na zakończenie przez przeciętne mazowieckie przedsiębiorstwo fazy wstępnej procesu transformacji i osiągnięcie znaczącego rozwoju w ramach fazy zaawansowanej.

Wyjątkiem na tle pozostałych branż jest branża budowlana, która we wszystkich trzech scenariuszach osiągnęła najniższy przyszły poziom IAP40 - jednak w scenariuszu optymistycznym różnica ta jest najbardziej wyrazista. Zdaniem ekspertów branża budowlana jako jedyna nie zakończy w scenariuszu optymistycznym wstępnej fazy transformacji w kierunku Przemysłu 4.0. W badaniu delfickim eksperci zwracali uwagę, że o ile część procesów związana z budownictwem, zwłaszcza te związane z projektowaniem i dokumentacją techniczną, jak najbardziej sprzyja cyfryzacji, o tyle procesy placu budowy oraz procesy wykończeniowe są pod tym względem trudne, choćby ze względu na niekorzystne dla urządzeń elektronicznych warunki pracy panujące na budowie (wysokie zapylenie, drgania) czy niski koszt pracy i niski poziom kompetencji cyfrowych pracowników fizycznych. Część ekspertów wskazywała na duży potencjał rozwijania modelu Przemysłu 4.0 wśród producentów materiałów budowlanych (nieuwzględnionych w niniejszym badaniu).

6.1.3 Scenariusz pesymistyczny

Scenariusz pesymistyczny to ten wariant przyszłości, w którym trend ostrożnej transformacji mazowieckich przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0 spowolnił na skutek wystąpienia niekorzystnych okoliczności dla długofalowych inwestycji. Wysoka niepewność związana z przedłużającym się impasem w działaniach wojennych w Ukrainie i zmianami klimatycznymi oraz globalny kryzys żywnościowy zaowocowały scenariuszem, w którym w 2030 roku dotychczasowi liderzy transformacji cyfrowej na Mazowszu zostali zmuszeni do przeznaczenia swoich zasobów inwestycyjnych na ratowanie biznesów, zamiast na dalszy rozwój firm w kierunku Przemysłu 4.0. Powrót zagranicznych korporacji do krajów macierzystych utrudnił transfer wiedzy do mazowieckich specjalistów. Odwrót liderów transformacji od dalszego przekształcania biznesów wywarł także wpływ na pozostałą część rynku. Mniej zaawansowane pod kątem innowacyjności firmy porzuciły plany ewentualnych wdrożeń do modelu Przemysłu 4.0, nie chcąc zwiększać i tak już znacznego poziomu ryzyka prowadzonej działalności.

W scenariuszu pesymistycznym postęp transformacji mazowieckich przedsiębiorstw ostro wyhamowuje względem pozostałych wariantów przyszłości. Co prawda we wszystkich branżach przeciętne przedsiębiorstwa wkraczają na poziom IAP40, odpowiadający wstępnej fazie wdrażania modelu Przemysłu 4.0, jednak w żadnej z branż poziom ten nie przekroczył połowy drugiego stopnia

(wartość IAP40 równa 30%). Co więcej, jeśli uwzględnić odchylenia standardowe w ocenach poziomu IAP40 dokonywanych przez ekspertów, scenariusz pesymistyczny przybierze postać całkowitej stagnacji rozwoju współczesnego przemysłu na Mazowszu. W tym wariancie w każdej z branż poziom IAP40 pozostaje taki sam jak w roku 2023, a w skrajnych przypadkach zmniejsza się o kilka punktów procentowych.

Trendy kształtujące przyszłość Przemysłu 4.0 do roku 2030 przedstawiono w Tabeli 2. Ponieważ koncepcja Przemysłu 4.0 jest abstrakcyjnym modelem funkcjonowania przemysłu w realiach pełnego usieciowienia maszyn i ludzi, trendy te są wspólne dla każdego z opisanych wcześniej scenariuszy.

Tabela 2. Trendy kształtujące rozwój Przemysłu 4.0. Opracowanie własne.

Trend	Branże, na które trend najbardziej oddziałuje	Źródła
Rosnąca liczba cyberprzestępstw	wszystkie	(Xu i in., 2018), (Ana Astri-O'Reilly, 2023)
Postępująca globalizacja obejmująca nowe regiony w ramach trendu <i>reshoringu</i>	logistyczno-magazynowa, medyczno-farmaceutyczna, budowlana	(Ewelina Gregolinska i in., b.d.), (Bossche i in., 2022), (Lömtschem, 2023)
Rosnąca złożoność technologiczna produktów	medyczno-farmaceutyczna, budowlana	(Ana Astri-O'Reilly, 2023)
Rosnąca presja konkurencyjna ze strony światowych graczy	wszystkie	(Ewelina Gregolinska i in., b.d.)
Rosnąca moc obliczeniowa oraz prędkość transmisji danych	wszystkie	(Xu i in., 2018), („Top 10 Industry 4.0 Trends & Innovations in 2023”, b.d.), (Ewelina Gregolinska i in., b.d.)
Malejąca cena technologii cyfrowych	wszystkie	(Ewelina Gregolinska i in., b.d.)

Mając na względzie powyższe oraz fakt, że na Mazowszu dopiero pojawiają się pierwsi propagatorzy Przemysłu 4.0, przeprowadzono analizę perspektyw rozwoju Przemysłu 4.0 z użyciem autorskiego narzędzia analitycznego - Macierzy 4CF. W jej ramach eksperci dokonali oceny rozwiązań technologicznych i organizacyjnych Przemysłu 4.0 pod kątem dwóch miar:

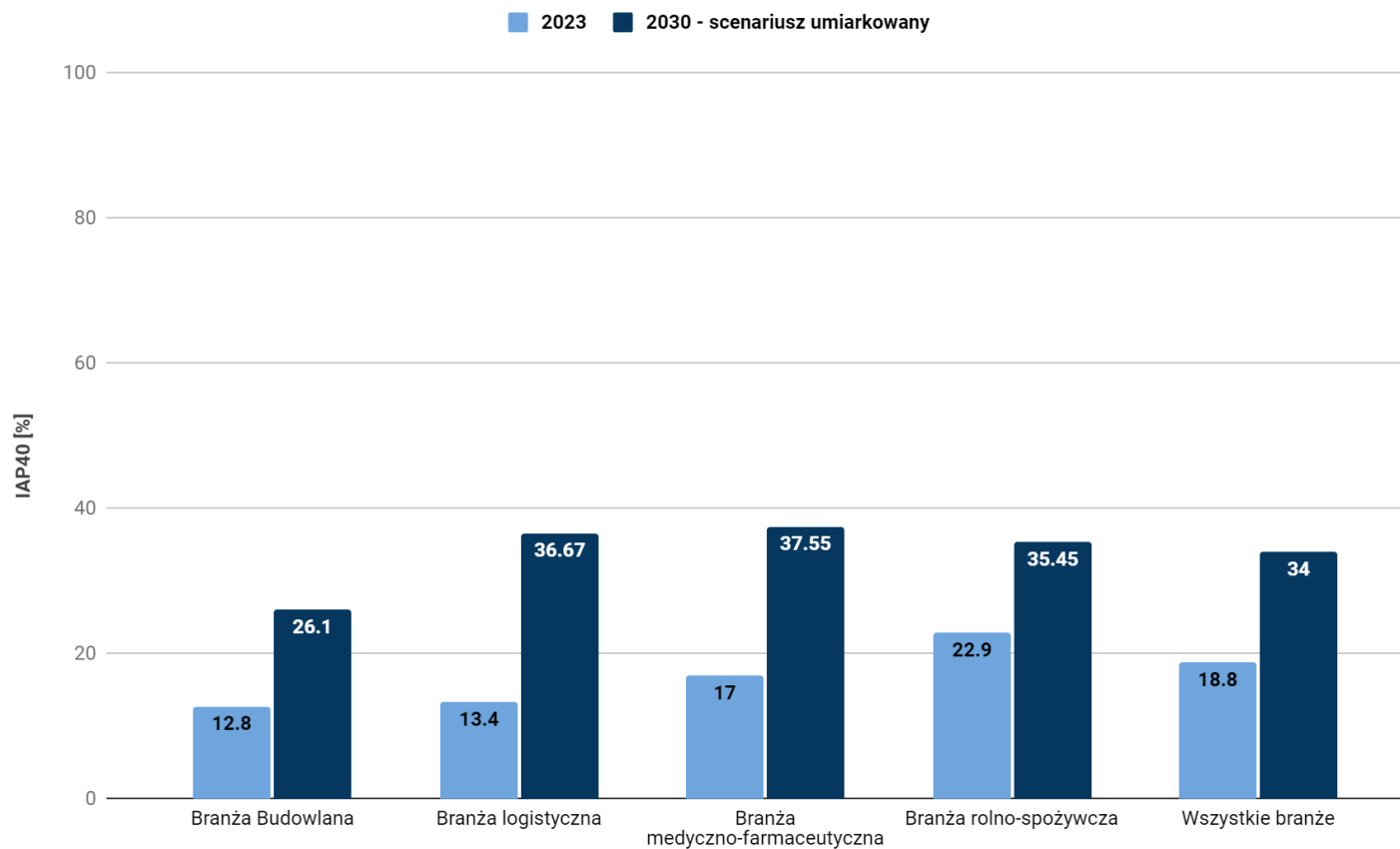
- istotności danego rozwiązania dla procesu transformacji przedsiębiorstwa w kierunku Przemysłu 4.0;
- najkrótszego możliwego czasu wdrożenia danego rozwiązania, przy założeniu maksymalnie korzystnych warunków otoczenia (dostępność finansowania, wiedzy, zasobów ludzkich).

Istotność oceniana była na skali od 0 do 10. 0 oznaczało całkowity brak znaczenia dla procesu transformacji. Ocenę 10 uzyskiwały zaś rozwiązania niezbędne do przejścia do modelu P4.0. Rozwiązania uszeregowane pod kątem tak zdefiniowanej istotności stanowią listę priorytetyzującą rozwiązania pod kątem kolejności ich wdrażania w przedsiębiorstwie.

Jednostką stosowaną przez ekspertów do oceny najkrótszego możliwego czasu wdrożenia były lata. Z uwagi na fakt, że proces adaptacji zależy od wielkości przedsiębiorstwa, eksperci oceniali tę miarę w dwóch wariantach: dla małych i średnich oraz dla dużych przedsiębiorstw.

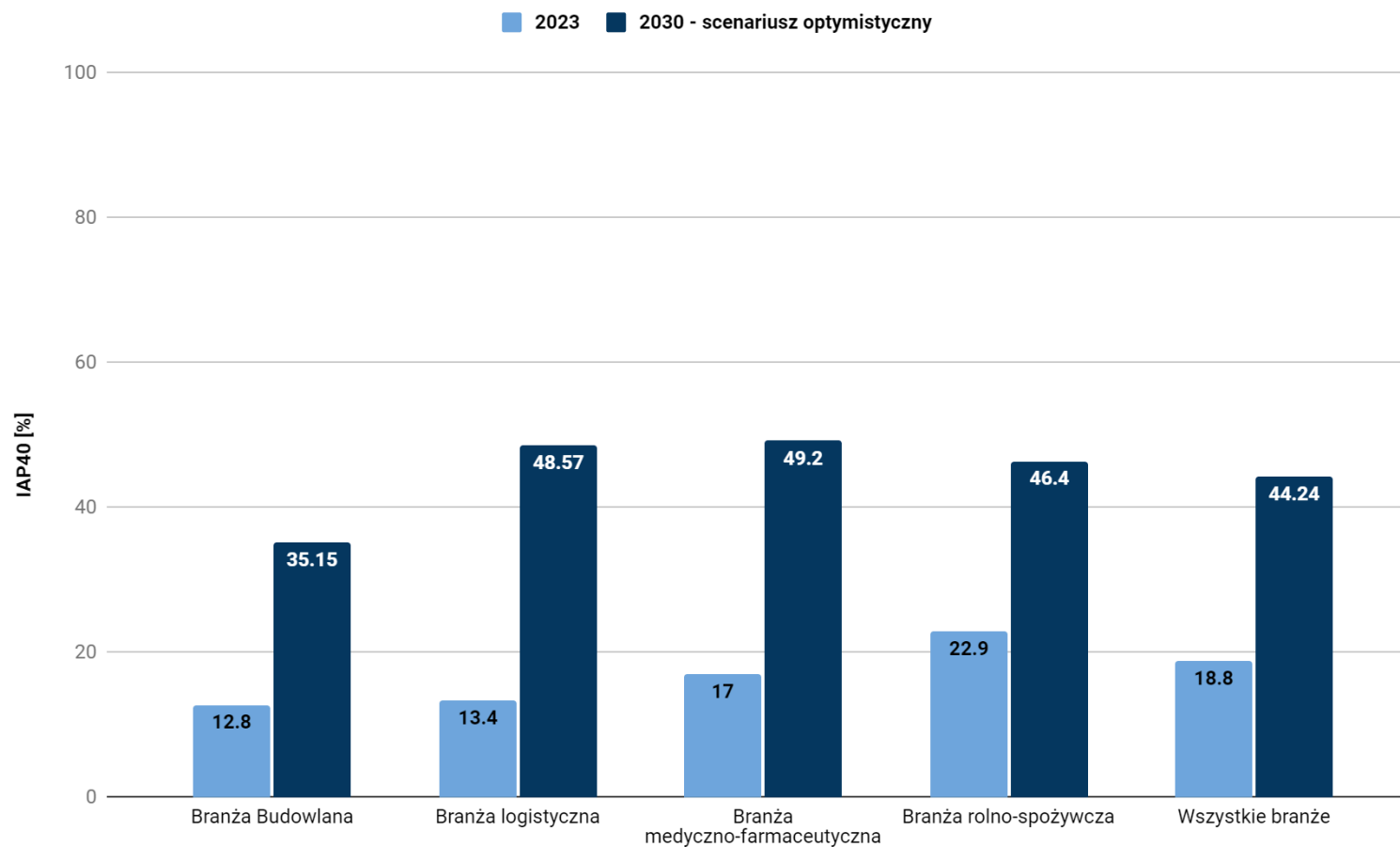
Rozwiązania, które zostały przedstawione ekspertom, przedstawiono zbiorczo poniżej. Są to rozwiązania uniwersalne, sprawdzające się równie dobrze w każdej z analizowanych w badaniu branż. Wynika to z faktu, że analizowane rozwiązania stanowią rodziny czy dziedziny rozwiązań, które mogą być odpowiednio modyfikowane w zależności od branży i rodzaju przedsiębiorstwa, w jakim będą implementowane.

Wykres 10. Średni poziom adaptacji mazowieckich przedsiębiorstw do modelu P4.0 w roku 2030 – scenariusz umiarkowany



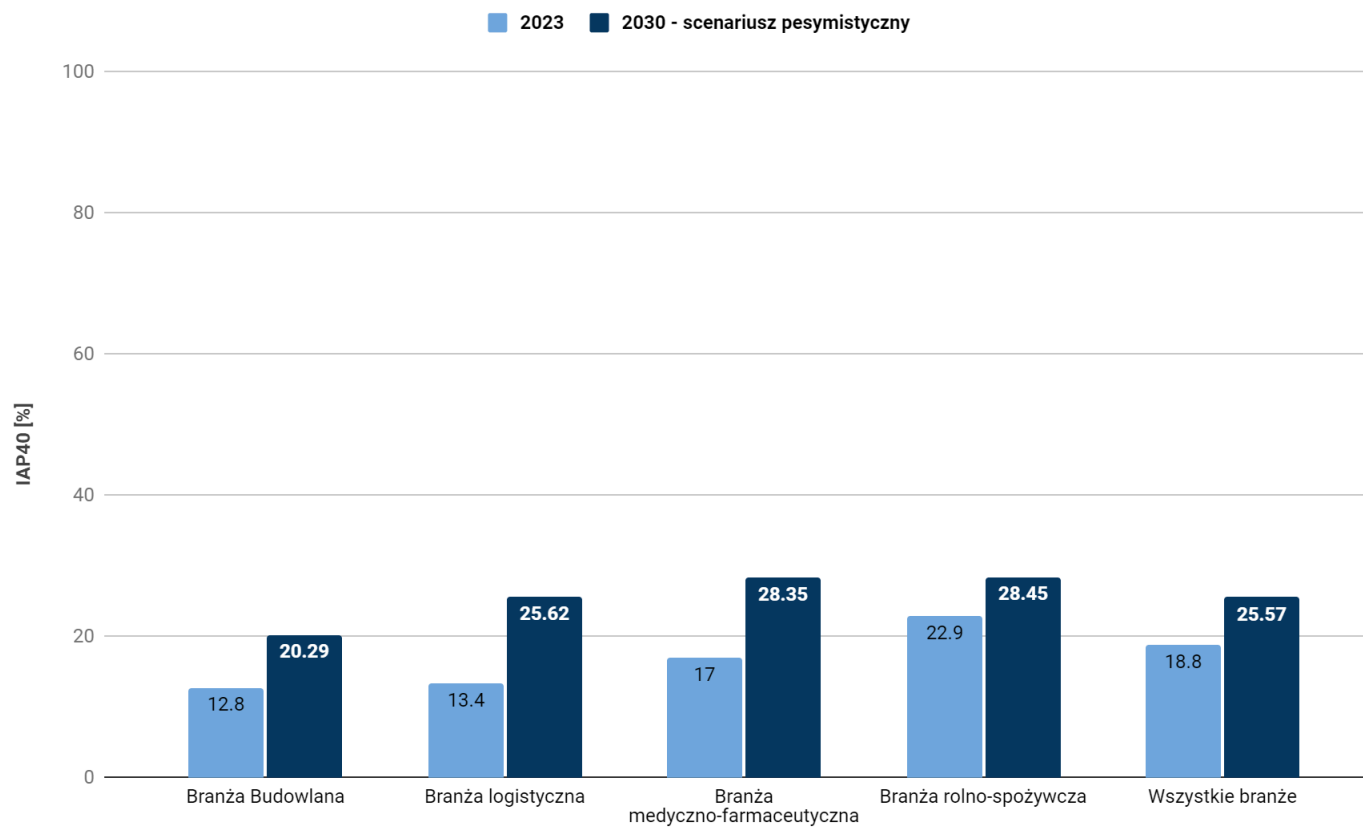
Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania delfickiego

Wykres 11. Średni poziom adaptacji mazowieckich przedsiębiorstw do modelu P4.0 w roku 2030 – scenariusz optymistyczny



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania delfickiego

Wykres 12. Średni poziom adaptacji mazowieckich przedsiębiorstw do modelu P4.0 w roku 2030 – scenariusz pesymistyczny



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania delfickiego

6.2 Analizowane rozwiązania

6.2.1 Cyberbezpieczeństwo

Cyberbezpieczeństwo jest nieodłącznym elementem nowoczesnego przemysłu, z uwagi na rosnącą cyfryzację i zależność od technologii. Zagrożenia związane z atakami cybernetycznymi, takie jak przerwanie produkcji, kradzież danych czy uszkodzenie infrastruktury mogą prowadzić do poważnych konsekwencji finansowych i wizerunkowych. Wdrożenie odpowiednich środków ochronnych - zabezpieczenia systemów sterowania, sieci komputerowych i urzędzeń, aktualizacje oprogramowania, silne hasła oraz szkolenia personelu - są kluczowe dla skutecznej ochrony przemysłowej infrastruktury oraz posiadanego know-how. Współpraca z dostawcami i partnerami biznesowymi w zakresie przestrzegania standardów bezpieczeństwa stanowi dodatkowy czynnik zwiększający odporność na ataki cybernetyczne. Inwestycje w cyberbezpieczeństwo są więc niezbędne dla utrzymania stabilności, bezpieczeństwa i konkurencyjności przedsiębiorstw przemysłowych.

6.2.2 Sztuczna Inteligencja

Sztuczna inteligencja (AI) wpływa na funkcjonowanie branż, wykorzystując zaawansowane algorytmy i techniki uczenia maszynowego do automatyzacji procesów, pozyskiwania informacji i podejmowania decyzji. W sektorze przemysłowym sztuczna inteligencja optymalizuje produkcję, poprawia wydajność i zwiększa bezpieczeństwo. Umożliwia konserwację predykcyjną⁶ poprzez analizę danych w celu wykrycia potencjalnych awarii sprzętu przed ich wystąpieniem. Roboty i systemy automatyzacji oparte na sztucznej inteligencji usprawniają procesy produkcyjne, zwiększając produktywność i uzyskiwaną, powtarzalną jakość produktów. Analityka oparta na sztucznej inteligencji może być wykorzystywana także w analizie strategicznej i biznesowej - wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość zbierania zmieniających się w czasie danych.

6.2.3 Druk 3D

Druk 3D, znany również jako produkcja addytywna, rewolucjonizuje proces produkcji poprzez tworzenie warstwa po warstwie fizycznych obiektów z modeli cyfrowych. Technologia ta umożliwia szybkie prototypowanie projektów, personalizację, a nawet produkcję złożonych struktur. Druk 3D oferuje liczne korzyści, w tym niższe koszty produkcji, szybsze cykle produkcyjne i większą elastyczność projektowania. Znajduje zastosowanie w różnych branżach, takich jak opieka zdrowotna, lotnictwo i motoryzacja, umożliwiając tworzenie skomplikowanych części, prototypów, a nawet urzędzeń medycznych dostosowanych do potrzeb pacjentów. Dzięki możliwości przekształcania

⁶ Konserwacja predykcyjna - z angielskiego predictive maintenance. Strategia zarządzania remontami i przeglądami maszyn i urzędzeń w przedsiębiorstwie polegająca na podejmowaniu decyzji o wymianie zużytych elementów na podstawie obserwowanej charakterystyki pracy maszyny, nie zaś na podstawie z góry określonego okresu.

cyfrowych projektów w namacalne obiekty, druk 3D napędza innowacje, przyspiesza rozwój produktów i zmienia tradycyjne podejście do produkcji.

6.2.4 Cyfrowe platformy zarządzania danymi

Cyfrowe platformy zarządzania danymi to centra (bazy) danych, które gromadzą, przechowują i analizują ogromne ilości danych z różnych źródeł. Umożliwiają one organizacjom uzyskiwanie cennych informacji, podejmowanie decyzji opartych na danych i zwiększanie wydajności operacyjnej. Centra te zapewniają bezpieczną i skalowalną infrastrukturę, ułatwiają integrację i interoperacyjność danych oraz obsługują zaawansowane aplikacje analityczne, uczenie maszynowe i sztuczną inteligencję. Dzięki możliwości centralizacji i przetwarzania różnych typów danych, cyfrowe centra umożliwiają firmom uwolnienie pełnego potencjału będących w ich posiadaniu informacji i napędzanie innowacji w erze cyfrowej.

6.2.5 Rozproszone sensory IoT

Rozproszone czujniki, kluczowy element Internetu rzeczy (IoT), umożliwiają gromadzenie i wymianę danych w czasie rzeczywistym z różnych środowisk fizycznych. Czujniki te, rozmieszczone w różnych lokalizacjach i połączone w sieć, ułatwiają monitorowanie i analizę warunków środowiskowych, procesów i zasobów. Rozproszone czujniki oferują cenny wgląd w obszary takie jak monitorowanie środowiska, inteligentna infrastruktura i automatyka przemysłowa. Umożliwiają zdalne monitorowanie, konserwację predykcyjną i lepszą alokację zasobów. Dzięki możliwości przechwytywania informacji w czasie rzeczywistym na dużą skalę, rozproszone czujniki umożliwiają organizacjom optymalizację operacji, usprawniają podejmowanie decyzji i tworzą inteligentniejsze, bardziej wydajne systemy w sieci połączonych urządzeń.

6.2.6 Systemy CAD/CAM

Systemy CAD/CAM łączą technologie projektowania wspomaganego komputerowo (CAD) i wytwarzania wspomaganego komputerowo (CAM) w celu usprawnienia procesów opracowywania i wytwarzania produktów. CAD pozwala projektantom tworzyć szczegółowe cyfrowe modele produktów, podczas gdy CAM umożliwia generowanie ścieżek narzędzi i instrukcji dla zautomatyzowanych maszyn. Systemy te zwiększają precyzję, wydajność i współpracę w branży inżynierskiej i produkcyjnej. Eliminując zadania wykonywane ręcznie i optymalizując przepływy pracy, systemy CAD/CAM przyspieszają iteracje projektowe, poprawiają jakość produktów i obniżają koszty produkcji. Dzięki integracji możliwości projektowania i produkcji, systemy CAD/CAM odgrywają kluczową rolę w napędzaniu innowacji i produktywności w nowoczesnych środowiskach przemysłowych.

6.2.7 Cyfrowe bliźniaki

Cyfrowe bliźniaki to powszechne określenie odnoszące się do wirtualnej repliki fizycznego obiektu, procesu lub systemu. Łączy w sobie dane w czasie rzeczywistym, zaawansowaną analitykę i symulację w celu stworzenia dynamicznego modelu, który naśladuje zachowanie i cechy swojego fizycznego odpowiednika. Cyfrowe bliźniaki oferują liczne korzyści w różnych branżach, umożliwiając organizacjom optymalizację wydajności, monitorowanie zasobów i przewidywanie wyników. Ułatwiają konserwację predykcyjną, zwiększają wydajność operacyjną oraz umożliwiają szybkie prototypowanie i testowanie. Zapewniając całościowy obraz złożonych systemów, cyfrowe bliźniaki umożliwiają podejmowanie decyzji, ułatwiają rozwiązywanie problemów i wspierają innowacje. Dzięki zdolności do wypełniania luki między światem fizycznym i cyfrowym, cyfrowe bliźniaki rewolucjonizują branże i napędzają rozwój inteligentnych, połączonych systemów.

6.2.8 Elektroniczny obieg dokumentów

Dokumentacja cyfrowa odnosi się do praktyki tworzenia, przechowywania i zarządzania dokumentami w formatach elektronicznych zamiast tradycyjnych papierowych. Oferuje ona liczne korzyści w porównaniu z dokumentacją fizyczną, takie jak: lepsza dostępność, możliwość wyszukiwania informacji i trwałość. Dokumenty cyfrowe można łatwo przechowywać, organizować i wyszukiwać, oszczędzając przestrzeń fizyczną i zmniejszając ryzyko ich utraty lub uszkodzenia. Współpraca z wykorzystaniem elektronicznego obiegu dokumentów staje się bardziej wydajna, ponieważ wielu użytkowników może uzyskać dostęp do dokumentów i jednocześnie je edytować, niezależnie od ich fizycznej lokalizacji. Dodatkowo, dokumentacja cyfrowa umożliwia kontrolę wersji, realizację ścieżki audytu i zastosowanie środków bezpieczeństwa w celu ochrony poufnych informacji. Dzięki usprawnieniu pracy, udostępnianiu danych i zapewnieniu długoterminowej ochrony, elektroniczny obieg dokumentów zmienia sposób, w jaki organizacje zarządzają ważnymi dokumentami i informacjami.

6.2.9 Autonomiczne maszyny i roboty

Autonomiczne roboty i maszyny rewolucjonizują krajobraz przemysłowy, wykonując zadania bez bezpośredniej interwencji człowieka. Te inteligentne systemy wykorzystują zaawansowane czujniki, algorytmy i sztuczną inteligencję do działania w złożonych środowiskach, kierowania obiektami w ramach szerokiej gamy procesów przemysłowych. Autonomiczne roboty zwiększają produktywność przedsiębiorstw, wydajność i bezpieczeństwo procesów. Automatyzują powtarzalne lub niebezpieczne zadania, redukują ludzkie błędy, a jednocześnie mogą działać przez całą dobę. Są one wdrażane w różnych branżach, w tym w przetwórstwie przemysłowym, logistyce i opiece zdrowotnej, do zastosowań takich jak obróbka materiałów, kontrola jakości, a nawet procedury chirurgiczne. Dzięki zdolności adaptacji, uczenia się i współpracy z pracownikami, autonomiczne roboty i maszyny zmieniają krajobraz przemysłowy, napędzając innowacje i odblokowując nowe poziomy produktywności i wydajności.

6.2.10 Pełna analiza procesowa

Pełna analiza procesowa (mapowanie wszystkich procesów biznesowych w przedsiębiorstwie) ma kluczowe znaczenie dla pomyślnego wdrożenia Przemysłu 4.0. Obejmuje ona systematyczne dokumentowanie i wizualizację każdego etapu procesu i interakcji w ramach organizacji. Mapowanie procesów zapewnia kompleksowy przegląd przepływów zasobów - identyfikuje nieefektywności, wąskie gardła i obszary wymagające poprawy. Mapując procesy firmy uzyskują wgląd w zależności, alokację zasobów i przepływ danych. Umożliwia to optymalizację operacji, zwiększenie elastyczności i podejmowanie świadomych decyzji. Ułatwia to też automatyzację i integrację technologii takich jak IoT oraz AI dzięki lepszej identyfikacji obszarów, które mogą na tym najbardziej skorzystać. Mapowanie procesów biznesowych promuje również standaryzację, współpracę i skalowalność, umożliwiając płynną transformację cyfrową i maksymalizację korzyści płynących z inicjatyw Przemysłu 4.0.

6.2.11 Analiza strategiczna

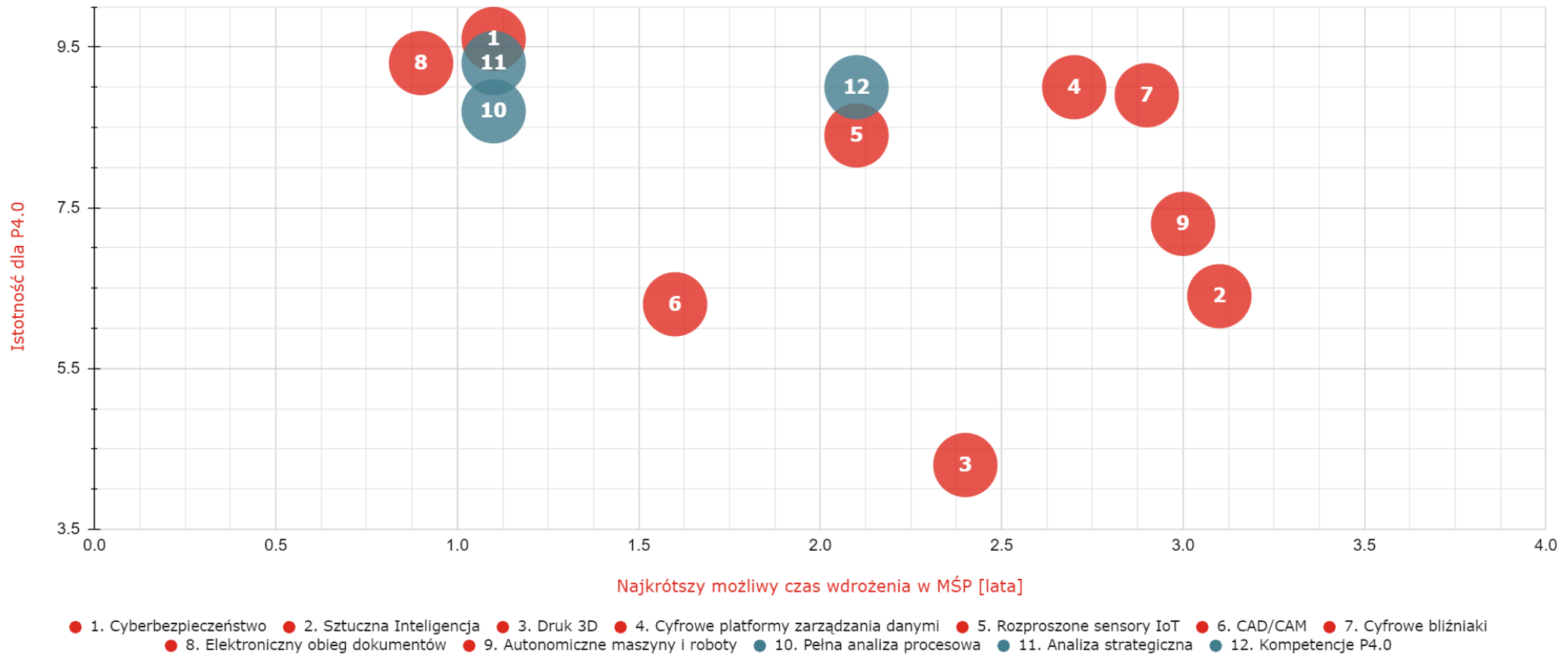
Analiza strategiczna jest istotnym procesem, który pomaga organizacjom oceniać ich wewnętrzne i zewnętrzne otoczenie. Ułatwia podejmowanie świadomych decyzji i opracowywanie skutecznych strategii. Obejmuje ocenę mocnych i słabych stron, szans i zagrożeń. Pozwala uzyskać wgląd w przewagę konkurencyjną, dynamikę rynku i trendy branżowe. Dzięki analizie strategicznej firmy identyfikują swoje kluczowe kompetencje, pozycję rynkową i potencjalne zagrożenia. Dzięki temu mogą dostosować swoje działania do celów, efektywnie alokować zasoby, aby w pełni wykorzystać możliwości rozwoju. Przeprowadzając analizę strategiczną, organizacje mogą dokonywać świadomych wyborów strategicznych, dostosowywać się do zmieniających się warunków rynkowych i zwiększać swoją długoterminową konkurencyjność.

6.2.12 Rozwój kompetencji Przemysłu 4.0 w przedsiębiorstwie

Pomyślne wdrożenie Przemysłu 4.0 w organizacji wymaga szeregu kluczowych kompetencji - zarówno wśród pracowników operacyjnych, jak i kadry zarządzającej. Lista tych kompetencji jest złożona. Jedną z najistotniejszych jest biegłość technologiczna i doświadczenie w zakresie nowych technologii, takich jak IoT, sztuczna inteligencja, robotyka i analiza dużych zbiorów danych. Umiejętności cyfrowe i zdolność adaptacji są niezbędne, aby pracownicy mogli korzystać z narzędzi cyfrowych i nowych sposobów pracy. Dobrze rozwinięte umiejętności analizy danych i zarządzania nimi umożliwiają organizacjom wyciąganie wniosków z ogromnych baz danych generowanych przez inteligentne systemy. Współpraca międzyfunkcyjna i umiejętności komunikacyjne sprzyjają integracji między różnymi działami i interesariuszami. Myślenie strategiczne oraz kompetencje związane z procesami odkrywania innowacji ułatwiają identyfikację obszarów o dużym potencjale do zwiększenia efektywności w wyniku transformacji cyfrowej. Wiedza z zakresu cyberbezpieczeństwa ma kluczowe znaczenie dla ochrony wrażliwych danych i unikania cyberzagrożeń. Wreszcie, kultura ciągłego uczenia się i gotowości do zmian umożliwia organizacjom ewolucję i utrzymanie przewagi konkurencyjnej w dynamicznym krajobrazie Przemysłu 4.0.

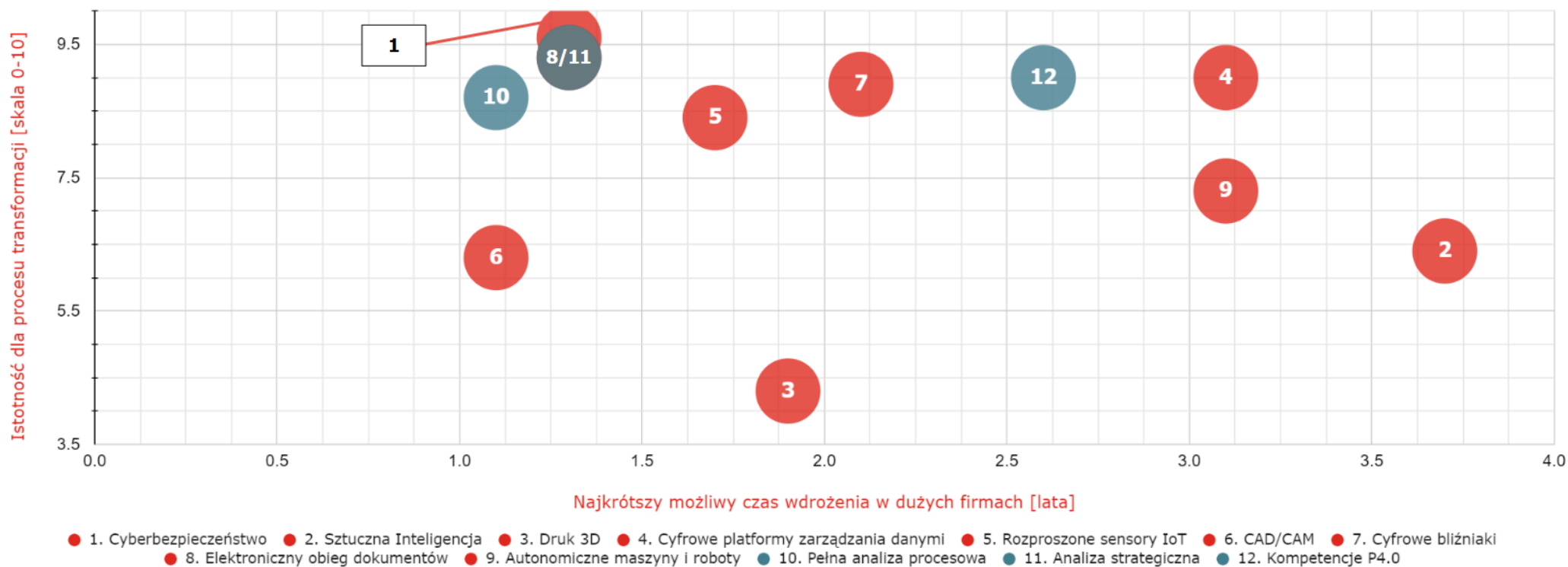
Po tym, jak eksperci ocenili przygotowany zestaw rozwiązań, zostały policzone średnie dla obu miar (istotności i czasu), a następnie rozwiązania przedstawiono na dwóch macierzach, odpowiednio dla małych i średnich oraz dla dużych przedsiębiorstw. Poszczególne punkty na macierzach odpowiadają opisanym w legendzie rozwiązaniom. Trzy ostatnie (numery od 10 do 12), wyróżnione kolorem szarzielonym, to rozwiązania organizacyjne, pozostałe zaś - rozwiązania technologiczne.

Wykres 13. Rozwiązania Przemysłu 4.0 dla MŚP – Macierz 4CF



Źródło: opracowanie własne

Wykres 14. Rozwiązania Przemysłu 4.0 dla dużych firm – Macierz 4CF



Źródło: opracowanie własne

6.3 Macierz 4CF - analiza

Większość analizowanych rozwiązań - za wyjątkiem Druku 3D - zostało ocenione przez ekspertów pod kątem istotności dla transformacji i uzyskało wynik powyżej 5, czyli zweryfikowano je jako istotne. Co więcej - aż osiem rozwiązań uzyskało średnią ocenę istotności na poziomie 8 lub więcej. Oznacza to, że są one niezbędne w procesie transformacji. Tak wysoka nota to kolejny dowód na wysoką złożoność koncepcji czwartej rewolucji przemysłowej.

Najistotniejszymi dla transformacji przedsiębiorstw - zarówno dla MŚP, jak i dużych - w kierunku Przemysłu 4.0 eksperci uznali następujące rozwiązania: **cyberbezpieczeństwo, elektroniczny obieg dokumentów, pełną analizę procesową oraz analizę strategiczną**. Eksperti wskazali również te rozwiązania jako najszybsze do potencjalnego wdrożenia w firmie. Jest to wyraźne wskazanie, że właśnie te rozwiązania powinny stanowić pierwsze kroki mazowieckich przedsiębiorstw na drodze ku Przemysłowi 4.0 (pozwalają one na względnie szybkie odniesienie korzyści ze zmiany).

Warto także zwrócić uwagę, że w porównaniu do pozostałych rozwiązań, te wskazane jako cztery najistotniejsze należą do stosunkowo niskokosztowych. Rozwiązania organizacyjne wymagają oczywiście odpowiednio kompetentnej kadry menedżerskiej, ale można je wdrożyć nawet wyłącznie przy pomocy własnych zasobów kadrowych.

Kwestia cyberbezpieczeństwa wiąże się z koniecznością wyposażenia firmy w odpowiednie oprogramowanie czy sprzęt zabezpieczający przed cyberatakami, ale rynek oferuje wiele takich (nawet bezpłatnych) rozwiązań. Poza tym, jak wskazują eksperci z serwisu Niebezpiecznik.pl, cyberbezpieczeństwo zależy w równym stopniu od zastosowanych zabezpieczeń technicznych, jak i od zachowań użytkowników systemu. Wzmacnianie świadomości istnienia cyberzagrożeń, regularne audytowanie zachowań pracowników w tym obszarze, a nawet organizacja szkoleń z podstaw cyberbezpieczeństwa są możliwe do przeprowadzenia bez dysponowania dużym budżetem.

Stworzenie systemu elektronicznego obiegu dokumentów może być już bardziej zasobożłonne, wymaga bowiem zakupu odpowiedniego do potrzeb przedsiębiorstwa oprogramowania i urządzeń, a także kompetencji w tworzeniu takich systemów. Wciąż jednak w porównaniu z kosztem zakupu nowej maszyny są to niskie kwoty.

Rozwiązania o średniej ocenie istotności powyżej 8 układają się w uproszczoną mapę drogową procesu transformacji przedsiębiorstwa w kierunku Przemysłu 4.0. Oczywiście nie należy jej traktować jako gotowego przepisu na udaną transformację, a raczej jako checklistę, ogólny szablon, który każde przedsiębiorstwo powinno dopasować do swoich potrzeb i możliwości podczas analizy strategicznej.

Należy jednocześnie podkreślić, że rozwiązania ocenione pod kątem istotności poniżej 8 nie są niezbędne w koncepcji Przemysłu 4.0, a przynajmniej nie w każdym przedsiębiorstwie znajdują zastosowanie. Przykładem jest druk 3D, którego istotność eksperci ocenili na poziomie 4,3. Druk 3D

może znaleźć zastosowanie w każdej z branż - czy to w zakresie prototypowania innowacyjnych rozwiązań, czy jako sposób na prowizoryczne naprawy - jednak nie jest technologią absolutnie niezbędną w przedsiębiorstwie, by mogło ono funkcjonować w ramach modelu Przemysłu 4.0.

7. Bariery stojące na drodze ku transformacji mazowieckich przedsiębiorstw w kierunku modelu Przemysłu 4.0

Największą barierą w transformacji mazowieckich przedsiębiorstw do modelu Przemysłu 4.0 jest **brak wiedzy i świadomości** w temacie czwartej rewolucji przemysłowej. Ta niewiedza dotyka zdecydowaną większość interesariuszy transformacji: przedsiębiorców, praktyków, dostawców rozwiązań, decydentów i badaczy. Taki stan rzeczy nie jest zaskoczeniem - P4.0 jest dziedziną nową, aktywnie badaną przez kręgi akademickie, a przy tym bardzo skomplikowaną. Jest to zjawisko wymagające przynajmniej dobrego rozeznania w szerokim portfolio dziedzin - zarządzania i ekonomiki przedsiębiorstwa przemysłowego, technologii komunikacyjnych, nowoczesnych metod analitycznych z wykorzystaniem danych, automatyzacji i robotyzacji, ale także makroekonomii i zagadnień gospodarki narodowej, takich jak globalne łańcuchy wartości. Poruszanie się przekrojowo wśród różnych specjalizacji wymaga także znajomości metod i pojęć stosowanych w analizie systemowej - specyficznej gałęzi nauki z pogranicza matematyki i teorii informacji.

Zrealizowane w ramach badania wywiady potwierdziły powyższą hipotezę. Eksperti, z którymi przeprowadzono IDI wskazywali brak wiedzy i świadomości wśród przedsiębiorców jako główną barierę w transformacji mazowieckiego przemysłu w kierunku P4.0. Wśród 482 ankietowanych przedsiębiorców, którzy stwierdzili, że nie stosują, nie planują wdrażać rozwiązań P4.0, ani nie prowadzą jakichkolwiek działań z obszaru innowacji, aż 154 osiągnęło wynik IAP40 powyżej 20%. Oznacza to, że mimo iż te przedsiębiorstwa są przynajmniej na początku procesu transformacji w kierunku P4.0, nie są tego świadome. Niezrozumienie występuje także w odwrotnym kierunku. Spośród przedsiębiorców deklarujących wdrażanie rozwiązań P4.0 blisko 18% uzyskało wyniki IAP40 poniżej 20% - klasyfikujące je w grupie firm, które nie rozpoczęły jeszcze transformacji w kierunku P4.0.

Wywiady potwierdziły także obserwacje publikowane w literaturze przedmiotu. Przedstawiona w opracowaniu NIK metaanaliza polskich badań wskazuje, że choć większość przedsiębiorców w Polsce deklaruje, iż przynajmniej zetknęło się z terminem Przemysł 4.0, to ich wiedza na jego temat jest minimalna. Przykładowo, jak podaje w opracowaniu Wieczorek: „(...) połowa przedsiębiorców deklarujących znajomość koncepcji przemysłu 4.0 ma problemy ze wskazaniem działań, które byłyby konieczne w procesie transformacji technologicznej ich przedsiębiorstw”⁷.

⁷ Wieczorek, P. (2022). Transformacja polskiego przemysłu przetwórczego – pandemia COVID-19 a technologia czwartej generacji. *Kontrola Państwowa*, 67(2), Article 2.
<https://doi.org/10.53122/ISSN.0452-5027/2022.1.16>

Eksperti, z którymi przeprowadzono wywiady w ramach badania, zwracali uwagę na dwie główne przyczyny takiego stanu rzeczy. Pierwszym z nich była mała dostępność rzetelnych źródeł wiedzy. Eksperti wskazywali na w większości niską jakość szkoleń przeprowadzanych przez firmy prywatne. Programy szkoleniowe cieszące się uznaną renomą - jak np. programy przygotowane przez mieszczącą się w Radomiu Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości - nie są w stanie odpowiedzieć na popyt ze strony przedsiębiorców. Dla przykładu program Szkoła Lidera oferowany przez PPP jest realizowany dla maksymalnie 20 podmiotów (FPPP, 2023) w ciągu roku. To zdecydowanie zbyt mało, by przyspieszyć transformację cyfrową mazowieckich przedsiębiorstw.

Bezpośrednio z brakiem wiedzy wiąże się **bariera kulturowa**: głębiej zakorzeniona, trudniejsza do zniwelowania i bardziej złożona. Składają się na nią różne przyczyny.

Pierwszą z nich jest pojawiające się zarówno w wywiadach eksperckich, jak i literaturze przedmiotu zachowawcze podejście do prowadzenia biznesu. Można określić to zjawisko jako lęk przed radykalnymi zmianami strukturalnymi i organizacyjnymi, występującymi zarówno wśród kadry kierowniczej, jak i pracowników (Autodesk, 2020; PSI Polska, 2019). Choć te obawy wyrażają się w różny sposób, ich źródło jest wspólne - brak wiedzy, deficyt kompetencji cyfrowych, brak poczucia, że te kompetencje mają znaczenie we współczesnej gospodarce. Kierujący przedsiębiorstwami postrzegają Przemysł 4.0 jako inwestycje o wysokim stopniu ryzyka - wyraźniej widzą związane z rozwojem koszty niż potencjalne zyski. Pracownicy zaś, kojarząc czwartą rewolucję przemysłową głównie z automatyzacją i robotyzacją, boją się utraty swoich miejsc pracy lub trudności z dostosowaniem się do nowych realiów.

Drugim elementem składającym się na kulturę mazowieckiego, ale także i polskiego biznesu jest **nastawienie na działanie "tu i teraz", w krótkim horyzoncie czasowym, bez szerszej analizy czy strategicznego planowania**. Przeprowadzone przez 4CF w 2018 roku na zlecenie Stowarzyszenia Emitentów Giełdowych oraz Fundacji Standardów Raportowania badanie raportów informacji niefinansowych 150 notowanych na polskiej giełdzie spółek giełdowych wykazało, że mniej niż połowa z nich posiadała jakkolwiek sformułowaną strategię biznesową. Z wywiadów CATI w ramach niniejszego badania płyną wnioski jeszcze bardziej zatrważające - jedynie 4,7% ankietowanych przedsiębiorców zadeklarowało posiadanie bądź chęć stworzenia strategii dostosowania przedsiębiorstwa do modelu Przemysłu 4.0. Tymczasem transformacja w kierunku P4.0 jest procesem bardzo złożonym i wymagającym podejścia strategicznego, gdyż oddziałuje na całą firmę, a nie jej pojedynczy element (gniazdo produkcyjne, dział). Zwracali na to uwagę także eksperci w wywiadach pogłębionych, wskazując brak długofalowego, perspektywicznego sposobu myślenia biznesowego jako główną barierę na poziomie organizacyjnym.

Brak długofalowego planowania może mieć także wpływ na inny czynnik, który zgłaszali eksperci w wywiadach, mianowicie na kwestię sukcesji w przedsiębiorstwach rodzinnych, stanowiących wg danych GUS z 2017 około 30% przedsiębiorstw zatrudniających 10 i więcej osób na Mazowszu (w zależności od regionu NUTS-2). Na Mazowszu jedynie około 17% przedsiębiorstw rodzinnych planowało sukcesję z wyprzedzeniem - mimo że jest to proces złożony, trudny i podobnie jak

transformacja w kierunku P4.0 wymagający podejścia strategicznego (Woźniak i in. 2022). W badaniach mazowieckich przedsiębiorstw rodzinnych główne przyczyny tego stanu rzeczy zostały zidentyfikowane jako bariery natury psychicznej i kulturowej - niechęć obecnych właścicieli (seniorów) do oddania sterów firmy oraz brak czasu na systematyczne przeprowadzenie sukcesji były wskazywane przez ponad 60% ankietowanych (Walaszczyk, b.d).

Skoro brak strategicznego podejścia ujawnia się w kwestii tak istotnej dla trwania przedsiębiorstwa jak przekazanie przywództwa, zrozumiałe jest, że tym bardziej nie będzie ono pojawiać się w kwestii transformacji cyfrowej czy też któregośkolwiek z długofalowych procesów biznesowych.

Ponadto nierozwiązana kwestia sukcesji będzie ze swej natury blokować jakiegokolwiek inwestycje o długim czasie zwrotu - trudno decydować o inwestowaniu realnej gotówki z perspektywą zwrotu za 20 lat, skoro można spodziewać się, że firma działać będzie jedynie 5 czy 10.

Trzecim elementem kultury mazowieckiego biznesu jest **stosunkowo niski poziom inwestycji w innowacje**. Wśród przedsiębiorstw mazowieckich ogół kosztów inwestycyjnych wyniósł w 2021 roku nieco ponad 5,6% z ogółu ponoszonych kosztów, z czego 64% to inwestycje w budynki i budowlę oraz w środki transportu (dane GUS). Nakłady przedsiębiorstw na badania i rozwój w całym województwie mazowieckim stanowiły zaś zaledwie 0,89% wszystkich kosztów ponoszonych przez mazowieckie przedsiębiorstwa. Jest to cecha charakterystyczna dla polskiej gospodarki - polskie firmy wciąż mają duże pole do rozwoju w tradycyjnych obszarach, stronią więc od inwestowania w innowacje. Mazowieckie przedsiębiorstwa nie różnią się od średniej polskiej pod tym względem.

W obliczu poprzednich dwóch barier - w zasadzie uniemożliwiających sam start transformacji w przedsiębiorstwie - **bariery finansowe** nie mogą zostać uznane za główną przeszkodę stojącą na drodze mazowieckich przedsiębiorstw ku transformacji w kierunku Przemysłu 4.0. Decyduje o tym także struktura kosztów związanych z transformacją. O ile pełna transformacja dużego zakładu produkcyjnego wiąże się ze znacznymi kosztami wynikającymi z zakupu urządzeń z obszaru wysokich, nowych technologii, o tyle przygotowanie do transformacji - mapowanie procesów, analiza strategiczna czy wdrożenie podstaw cyberbezpieczeństwa może być realizowane bez dodatkowych nakładów inwestycyjnych, jedynie przy wykorzystaniu środków własnych (przy założeniu, że pracownicy firmy mają do tego odpowiednie kompetencje). Ponadto, jak wspomniano już w rozdziale o istocie Przemysłu 4.0, z transformacją cyfrową kojarzą się głównie drogie rozwiązania z dziedziny robotyzacji i automatyki przemysłowej, reklamowane przez przedstawicieli handlowych zagranicznych dostawców. Przy takim wyobrażeniu o Przemysle 4.0 trudno dziwić się mazowieckim przedsiębiorcom, że nie widzą nawet potrzeby w podejmowaniu kroków w kierunku przejścia do nowoczesnego przemysłu⁸.

⁸ Należy zauważyć, że polski przemysł jest pod względem nowoczesności metod produkcji zapóźniony względem dostępnego na świecie "state-of-the-art". Badania przeprowadzone przez firmę ASTOR (Astor, 2016) wykazały, że większość polskich przedsiębiorców jest na etapie upowszechniania w swych zakładach automatyki przemysłowej lub dopiero snuje takie plany. Wskazuje to na to, że przed polskim przemysłem nie zakończyły się jeszcze wyzwania związane z trzecią rewolucją przemysłową.

Ten sam argument w innym ujęciu, po stronie barier finansowych, dodawali eksperci. Koszty automatyzacji są wysokie w ujęciu bezpośrednim, ale w porównaniu z kosztami pracy stają się tym bardziej nieuzasadnione. Automatyzacja po prostu nie jest ekonomicznie uzasadniona w znacznej części mazowieckich (i nie tylko) przedsiębiorstw - tańsze i mniej ryzykowne z perspektywy przedsiębiorcy wciąż pozostaje zrekrutowanie dodatkowych pracowników.

Z samą rekrutacją związana jest też dodatkowa kwestia - zaawansowane technologicznie przedsiębiorstwa co prawda wymagają mniejszej liczby pracowników obsługi, jednak muszą to być pracownicy wysoko wykwalifikowani. Ich koszt zaś na rynku pracy jest wyższy, a dostępność mniejsza niż nisko wykwalifikowanej siły roboczej, co stanowi kolejny argument powstrzymujący przedsiębiorców przed rozwijaniem modelu Przemysłu 4.0 w swoich organizacjach.

Kilkoro ekspertów zwróciło także uwagę na bariery wynikające z polityczno-kulturowego podejścia do Mazowsza, które - w ich opinii - nie było historycznie traktowane jako ośrodek, w którym rozwija się przemysł. Choć powiaty województwa mazowieckiego działają w aż pięciu specjalnych strefach ekonomicznych (starachowicka, tarnobrzaska, łódzka, warmińsko-mazurska, suwalska) to żadna z nich nie wywodzi się bezpośrednio z Mazowsza; są to strefy powstałe w sąsiednich województwach, do których dołączyły się graniczne powiaty mazowieckie. Niekorzystnie wygląda sytuacja parków technologicznych na Mazowszu. Państwowa Agencja Inwestycji i Handlu na swojej stronie wskazuje na istnienie jedynie dwóch takich jednostek, tj. Płockiego Parku Przemysłowo-Technologicznego S.A. oraz Parku Naukowo-Technologicznego "Świerk" (dostęp 23.06.202), podczas gdy w województwie śląskim jest ich wymienionych aż 23. Mazowiecki Park Naukowo-Technologiczny, który mógłby odegrać istotną rolę na Mazowszu regionalnym, wydaje się nie realizować jeszcze pełni potencjału swojej formuły instytucjonalnej.

W kontekście podziału regionalnego ww. wymienione bariery mają nieco mniejszy wpływ na transformację w kierunku Przemysłu 4.0 przedsiębiorstw ulokowanych w regionie warszawskim stołecznym, co widać także po stopniu ich cyfrowego zaawansowania. Wynika to z nadreprezentacji w regionie warszawskim stołecznym spółek zagranicznych, które wraz z dużym kapitałem inwestycyjnym transferują do Polski także nowoczesne metody zarządzania przedsiębiorstwem. Dodatkowym aspektem jest dominacja Warszawy jako ośrodka akademickiego.

Inaczej wygląda kwestia barier w wybranych branżach. Charakter każdej z branż wpływa na stopień jej adaptacji do modelu Przemysłu 4.0. Branże masowych towarów wysokomarżowych (np. samochodowa) chętniej inwestują w nowoczesne technologie, gdyż jest to dla nich bardziej opłacalne ekonomicznie. Drugą przyczyną różnic w stopniu zaawansowania w adaptacji do Przemysłu 4.0 jest stopień uregulowania prawnego danej branży. Eksperci wskazywali na fakt, że w silnie regulowanej przepisami branży budowlanej wprowadzanie innowacji jest trudniejsze niż w innych branżach, z uwagi na fakt, że regulacje prawne nie nadążają za postępem technologicznym. Regulator interweniuje dopiero wtedy, gdy dana technologia zaczyna przysparzać widocznych problemów - przykładem może być nierozstrzygnięta kwestia praw intelektualnych w kontekście generatywnej sztucznej inteligencji, blokująca jej stosowanie w projektowaniu nowych budynków.

W efekcie wdrażanie metod eksperymentalnych wiąże się najczęściej z wydłużeniem procesów administracyjnych przy inwestycji, co bezpośrednio wpływa na jej koszt. Trzecim wektorem oddziaływania jest wspomniany już brak wiedzy i świadomości odnośnie nowych technologii, w tym ujęciu dotyczący pracowników administracji odpowiedzialnych za wydawanie zgód na użycie innowacyjnych technologii. Zwracali na to uwagę eksperci w wywiadach IDI - z uwagi na braki w administracji fachowców znających technologie Przemysłu 4.0 przedsiębiorcy wolą trzymać się tradycyjnych metod niż podejmować ryzyko problemów przy uzyskaniu odpowiednich zezwoleń na korzystanie z nowoczesnych technologii.

Z drugiej strony silna regulacja prawna przynosi także pewne korzyści pod kątem tempa przechodzenia do modelu Przemysłu 4.0. Branże, które są zmuszone do spełniania konkretnych wymogów prawnych, muszą nauczyć się pracy w ramach standardów jakościowych. Tu obok branży budowlanej staje branża przetwórstwa spożywczego (w mniejszym stopniu rolnictwa), w której procesy produkcyjne muszą być przeprowadzane z poszanowaniem restrykcyjnych norm dotyczących bezpieczeństwa produktu (np. HACCP, ISO 22000), gdyż zaniedbania w tym obszarze narażają przedsiębiorstwo na bardzo poważne konsekwencje prawne lub wizerunkowe, mogące doprowadzić nawet do zamknięcia działalności. Każdy proces standaryzacji produkcji wymaga dokładnego opisu procesów wytwórczych oraz sformułowania strategii zapewnienia jakości. Obie te czynności dają przedsiębiorstwu kompetencje potrzebne także przy wdrażaniu kolejnych etapów rewolucji przemysłowych - na Przemysłu 4.0 kończąc. Podsumowując - te branże, w których kładziony jest nacisk na zapewnienie jakości produktu, są bliżej przejścia w kierunku Przemysłu 4.0⁹.

W branżach logistycznej i rolno-spożywczej kwestia adaptacji do modelu Przemysłu 4.0 jest utrudniona. Logistyka, rozumiana jako usługi transportowe, nie jest postrzegana jako obszar działalności przemysłowej stąd też innowacje związane z przemysłem nie docierają do niej tak szybko, jak do branż przetwórstwa przemysłowego. Przekształcenie transportowego przedsiębiorstwa usługowego w firmę działającą w modelu Przemysłu 4.0 jest możliwe, wymaga jednak bardzo dobrego zrozumienia jakie możliwości dla tego rodzaju biznesu oferują nowoczesne rozwiązania cyfrowe. Tego rodzaju rozwiązania zaszczipiają na mazowieckim rynku najczęściej międzynarodowe korporacje świadczące usługi logistyczne, gdyż skala ich działalności uzasadnia wdrożenie cyfrowych systemów. Tymczasem dane GUS dotyczące liczby zatrudnionych w branży transportu i magazynowania na Mazowszu wskazują, że są to głównie małe i mikroprzedsiębiorstwa - średnia zatrudnionych na jedno przedsiębiorstwo wynosi 13 osób.

Zupełnie odmiennie wygląda kwestia logistyki rozumianej jako zarządzanie magazynami i stanami magazynowymi. Technologicznie budowa w pełni zautomatyzowanych, bezobsługowych magazynów jest jak najbardziej możliwa. Są to jednak rozwiązania kosztowne i nie w każdym biznesie ich wdrożenie znajduje ekonomiczne uzasadnienie. Ponadto analiza przeprowadzona w niniejszym

⁹ Podręczniki zarządzania efektywnością (Smith, Hawkins, 2004; Suzuki, 1994) wskazują, że wdrażanie nowoczesnych metod zarządzania przemysłem najlepiej rozpoczynać od obszaru BHP, a następnie w jakości produkcji. W kolejnych etapach wdrożenia znajduje się utrzymanie ruchu i logistyka.

badaniu, wyróżniając branżę logistyczną jako oddzielną kategorię, pomija rozwiązania logistyczne wdrażane przez przedsiębiorstwa z innych branż w ramach ich wewnętrznej obsługi magazynu.

W branży rolno-spożywczej mieszczą się mocno zróżnicowane modele przedsiębiorstw: poza zróżnicowaniem w wielkości firm znaczące z punktu widzenia adaptacji do modelu Przemysłu 4.0 jest w tym sektorze pozycja firmy w łańcuchu wartości produktu, jakim jest żywność. W skład branży rolno-spożywczej wchodzi przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją żywności oraz przedsiębiorstwa zajmujące się jej przetwarzaniem. W przypadku rolnictwa - z uwagi na jego specyfikę - zyski płynące z ucyfrowienia produkcji nie są tak znaczące jak te możliwe do osiągnięcia z pomocą alternatywnych metod poprawy wydajności produkcji - stosowania nawozów, hodowania nowych, dających większe plony odmian. Operacje, które wykonuje w procesie produkcji żywności człowiek nie są związane bezpośrednio z jej wytwarzaniem, lecz z procesami towarzyszącymi (zbieranie plonów, wypas trzody, planowanie produkcji, itd.). Samo wytwarzanie żywności - czyli proces wzrostu roślin i zwierząt - jest procesem naturalnym, biologicznym, samoistnym, dziejącym się przy udziale czynników, które nie poddają się łatwo kontroli procesowej (np. warunki pogodowe czy podatność konkretnego zwierzęcia na choroby). W tych procesach jednym z głównych czynników wpływających na wydajność produkcji jest trudny do znacznego skrócenia czas trwania każdego z etapów, przez co mniej naturalne niż w zakładach produkcyjnych jest ich usieciowienie. W efekcie w rolnictwie wzrost wydajności produkcji wciąż odbywa się przede wszystkim poprzez zastępowanie pracy człowieka pracą bardziej wydajnych maszyn (traktorów, kombajnów, żniwiarek, itd.), zaś korzyści z adaptowania rozwiązań Przemysłu 4.0 nie są dla rolników tak ewidentne jak w przypadku działających w tej samej branży przedsiębiorstw przetwarzających żywność.

Nie oznacza to, że rozwiązania Przemysłu 4.0 nie mają zastosowania w rolnictwie, lecz że największy zysk wydajnościowy dają w operacjach pomocniczych. W związku z tym nie jawią się przedsiębiorcom, na co zwracali uwagę eksperci w wywiadach, jako rozwiązania dedykowane dla ich działalności, co stanowi barierę w transformacji cyfrowej działalności rolniczej w kierunku P4.0.

8. Potrzeby mazowieckich przedsiębiorców w kontekście transformacji w kierunku Przemysłu 4.0

Analiza potrzeb w świetle zdiagnozowanego braku wiedzy i świadomości na temat Przemysłu 4.0 wśród mazowieckich przedsiębiorców jest trudna, gdyż wyklucza zastosowanie bezpośredniego pytania o potrzeby w badaniu ankietowym. Trudno oczekiwać, że osoba nie mająca wiedzy w danym temacie będzie w stanie określić własne potrzeby z nim związane. Identyfikując potrzeby przedsiębiorców w kontekście transformacji bazowano więc przede wszystkim na wypowiedziach ekspertów oraz wnioskach płynących z diagnozy CATI.

Zauważyć należy, że jeśli wśród zdecydowanej większości (61,8%) ankietowanych przedsiębiorców nie zidentyfikowano **woli** do transformacji swojego biznesu w stronę modelu Przemysłu 4.0, próżno szukać zgłaszanych przez nich potrzeb z nią związanych. Zdiagnozowanie przyczyn takiego stanu

rzeczy - czy jest to wyłącznie kwestia braku wiedzy, czy też świadomie prowadzonej strategii biznesowej - nie jest przedmiotem tego badania, jednak wyniki przeprowadzonych wywiadów jednoznacznie wskazują na ten problem, podobnie jak wypowiedzi ekspertów i obserwacje badaczy publikowane w literaturze przedmiotu. W kwestii potrzeb racjonalne jest więc odniesienie się przede wszystkim do potrzeb tych przedsiębiorstw, które **chcą podążać ścieżką Przemysłu 4.0.**

Jako najważniejszą potrzebę należy wymienić **pozyskanie kompetencji związanych z Przemysłem 4.0.** W tym miejscu należy podkreślić, że nie są to kompetencje, które byłyby charakterystyczne dla którejkolwiek z analizowanych branż. Z uwagi na fakt, że idea Przemysłu 4.0 bazuje na zwiększaniu produktywności poprzez sieciowanie (integrację pionową (jednego zakładu/firmy) oraz poziomą (zakładów/firm)), kompetencje z nią związane są uniwersalne dla wszystkich branż - oraz wszystkich szczebli organizacji - zarówno kadry menedżerskiej, jak i szeregowych pracowników. Jeśli osoby decyzyjne w przedsiębiorstwach nie będą rozumiały na czym polega model Przemysłu 4.0, z czym wiąże się jego wprowadzenie oraz jakie z tego płyną korzyści, to szanse na rozwój Przemysłu 4.0 na Mazowszu nie będą rosły. Jednocześnie przejście na tak odmienny model pracy jak Przemysł 4.0 wymaga od pracowników zarówno oswojenia, zrozumienia, że innowacje nie są zagrożeniem dla ich miejsc pracy, jak i opanowaniem nowych narzędzi w stopniu dającym poczucie pewności w wykonywanej na co dzień pracy. Co więcej, dynamika rozwiązań Przemysłu 4.0 wymaga wprowadzenia w przedsiębiorstwach ciągłego procesu zwiększania kompetencji pracowników, aby byli oni w stanie nadążyć za nowościami technologicznymi. Tymczasem jedynie 3,9% respondentów CATI stwierdziło, że posiada program koncentrujący się na ciągłym rozwoju umiejętności pracowników.

Chęć i wola do szkolenia jest oczywiście warunkiem koniecznym do rozwinięcia kompetencji. Jednakże przedsiębiorcy muszą także znaleźć źródła wiedzy, z których mogliby czerpać. Zwiększenie dostępności wysokiej jakości programów szkoleniowych oraz rzetelnych źródeł wiedzy na temat Przemysłu 4.0 jest niezbędne, by mazowieccy przedsiębiorcy mogli włączyć się w proces transformacji w kierunku Przemysłu 4.0.

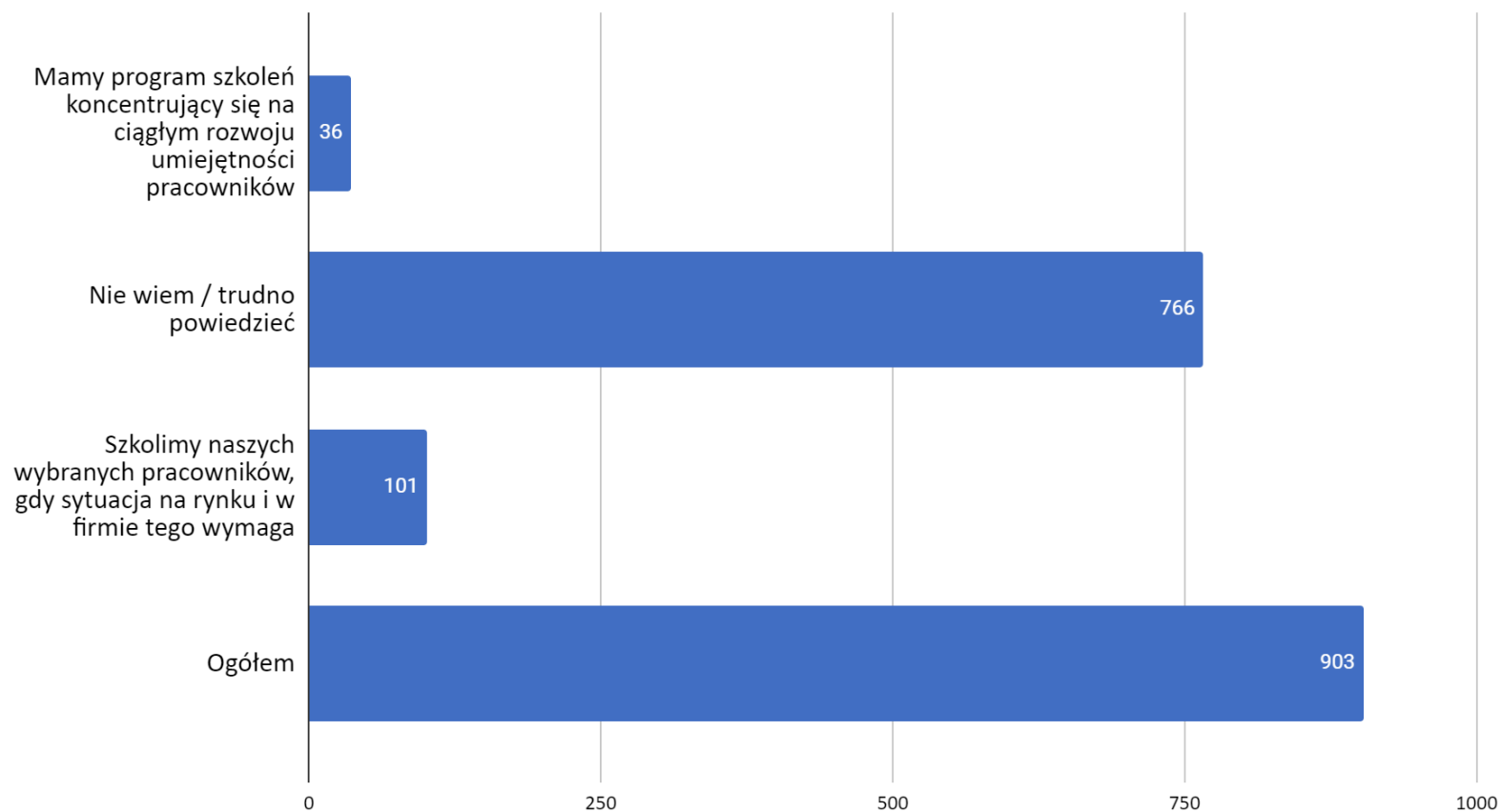
Eksperci zwracali również uwagę na **niską dostępność na rynku pracy specjalistów Przemysłu 4.0.** Brakuje zarówno odpowiednio wykwalifikowanych absolwentów, jak i pracowników o większym doświadczeniu. Z jednej strony jest to naturalne zjawisko, gdy mamy do czynienia z młodą dziedziną nauki, a taką, jak wspomniano, jest technologia i zarządzanie wdrażaniem Przemysłu 4.0. Z drugiej strony dysproporcja między przeciętnymi zarobkami oferowanymi w dwóch regionach Mazowsza sprawia, że wysoko wyspecjalizowani pracownicy decydują się raczej na pracę w regionie warszawskim stołecznym - ze szkodą dla regionu mazowieckiego regionalnego. Dominującej pozycji Warszawy sprzyja także fakt, że dwie z trzech uczelni technicznych ulokowanych na Mazowszu znajdują się właśnie w stolicy (Politechnika Warszawska oraz Wojskowa Akademia Techniczna), co ułatwia warszawskim przedsiębiorstwom rekrutację ich absolwentów. Trzeci z ośrodków - Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu - stanowi zaś przede wszystkim kuźnię kadr dla silnie reprezentowanej w podregionie radomskim branży metalowej. Problem braku odpowiednio wykwalifikowanej kadry - zarówno technicznej, jak i menedżerskiej -

nie jest nowy dla Mazowsza, dokładnie na te same kłopoty wskazywali przedsiębiorcy branży metalowej, fotonicznej i opakowaniowej w badaniach potencjałów tych branż wykonywanych na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Mazowieckiego w Warszawie w 2018 roku. Eksperti zwracali uwagę w wywiadach uwagę na dwie przyczyny tego stanu. Pierwszą z nich jest mała liczba absolwentów kierunków technicznych o wykształceniu skorelowanym z technologiami cyfrowymi. Drugim czynnikiem jest bardzo duża konkurencja ze strony sektora IT na rynku pracy. Branża informatyczna z uwagi na swoją pozycję rynkową oferuje potencjalnym pracownikom znacznie wyższe uposażenia niż mogą zaoferować przedsiębiorstwa mazowieckie spoza tego sektora. Doniesienia portali branżowych IT („Rekrutacja IT w Polsce: 6 powodów, dla których amerykańskie firmy przenoszą swoje centra technologiczne”, 2022; „USA: rośnie zainteresowanie polskim sektorem IT. Nowe firmy zza oceanu inwestują w naszym kraju”, 2019; adj & mms, 2023) wskazują na dalszy wzrost znaczenia polskiego (a specyficznie - warszawskiego) rynku pracowników IT na świecie, co stanowi znaczne zagrożenie dla dostępności wykwalifikowanej kadry dla mazowieckiego przemysłu.

Jak wskazano wcześniej, kompetencje niezbędne do przeprowadzenia transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 są potrzebne także wśród kadry zarządzającej. Edukacja wyższa na terenie Mazowsza w tym kierunku - Zarządzanie i Inżynieria Produkcji - jest prowadzona przez 5 uczelni mazowieckich: Politechnikę Warszawską, Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego, Wyższą Szkołę Ekologii i Zarządzania, Wyższą Szkołę Menedżerską (wszystkie cztery mieszczą się w Warszawie) oraz Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu. Dominująca pozycja Warszawy ujawnia się także i na tym polu, co jest dodatkowym utrudnieniem w pozyskiwaniu przygotowanej do zarządzania nowoczesnym przemysłem kadry menedżerskiej przez przedsiębiorstwa z regionu mazowieckiego regionalnego. Wydaje się także ważnym punktem odnotowanie, że kierunek - choć najbardziej zbliżony do przedmiotu niniejszego badania - nie jest całościowo poświęcony Przemysłowi 4.0. Porównanie dostępnych programów studiów inżynierskich pierwszego stopnia na tym kierunku na rok akademicki 2023/2024 wskazuje, że spośród (średnio) 3000 godzin zajęć około 550 poświęcone jest tematyce związanej z Przemysłem 4.0.

Trudno ocenić, na ile **potrzeba zewnętrznego finansowania** transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 jest faktyczną potrzebą przedsiębiorców, a na ile atrakcyjną możliwością zdobycia dodatkowych środków na rozwój firmy. W wywiadach z ekspertami poruszony został problem finansowania dużych inwestycji w przedsiębiorstwach, takich jak zakup nowego sprzętu. Inwestowanie własnego kapitału czy zaciąganie zobowiązań kredytowych wciąż jest dla MŚP dużym ryzykiem i nie każdy menedżer chce je podejmować. Jednocześnie dane statystyczne dotyczące poziomu inwestycji wśród mazowieckich przedsiębiorstw pokazują raczej, że kapitał inwestycyjny jest dostępny - brakuje jednak chęci inwestowania akurat w transformację w kierunku Przemysłu 4.0. Oczywiście zewnętrzne źródło finansowania z pewnością minimalizuje obawy związane z niepewnością, jednak trzeba też zwrócić uwagę na fakt, że inwestycje w początkowej fazie wdrażania Przemysłu 4.0 należą do inwestycji niskokosztowych (rozwiązania organizacyjne, CAD/CAM, dokumentacja cyfrowa).

Wykres 15. Procesy szkoleniowe w ankietowanych mazowieckich przedsiębiorstwach



Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badania CATI (N=903)

9.1 Wnioski i rekomendacje

9.1.1 Wnioski

Brak świadomości i wiedzy na temat Przemysłu 4.0 jest bezpośrednią przyczyną niewielkiego zainteresowania mazowieckich przedsiębiorców transformowaniem swoich firm w kierunku modelu Przemysłu 4.0.

Brak szeroko dostępnych źródeł, z których przedsiębiorcy mogliby czerpać rzetelną wiedzę o tym, czym jest Przemysł 4.0, jakie daje korzyści, po co weń inwestować i jak przeprowadzić swoje przedsiębiorstwo w rzeczywistość czwartej rewolucji przemysłowej, stanowi znaczącą barierę dla tych nielicznych przedsiębiorców, którzy chcą unowocześnić swoje firmy zgodnie z koncepcją P4.0. Powołana z poziomu krajowego Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości jest ośrodkiem działającym na terenie całej Polski, a skala jej działania jest zbyt szeroka na potrzeby związane z planem transformacji gospodarki Mazowsza w kierunku P4.0.

Kwestie finansowania innowacji technologicznych nie są główną barierą we wdrażaniu Przemysłu 4.0 na Mazowszu. Nie oznacza to jednak, że programy bazujące na wsparciu finansowym są skazane na brak zainteresowania. Ich sukces zależy będzie od rachunku ekonomicznego: jak wysokie są potencjalne zyski w stosunku do kosztów pracy włożonej przez przedsiębiorców w uzyskanie finansowania.

Brak działań przyspieszających tempo adaptacji do Przemysłu 4.0 na Mazowszu doprowadzić może do zapóźnienia mazowieckiego przemysłu względem świata, co w przyszłości może utrudniać integrację i chęć do inwestycji w tym regionie, czy nawet szerzej - nawiązywania współpracy. Biorąc pod uwagę różnice między regionami NUTS-2, należy spodziewać się, że taki obrót spraw doprowadzi do dalszego powiększenia rozwarstwienia między regionem warszawskim stołecznym, a mazowieckim regionalnym.

Przemysł 4.0 to koncepcja prowadzenia przemysłu, której elementami wykonawczymi są technologie cyfrowe. W obecnych realiach technologicznych oznacza to całkowite uzależnienie od energii elektrycznej oraz infrastruktury przesyłu danych teleinformatycznych. Zagwarantowanie bezpieczeństwa energetycznego i infrastrukturalnego w każdym regionie NUTS-3 obniży ryzyko związane z podjęciem decyzji o rozpoczęciu procesu transformacji.

Do dalszego zbadania pozostaje rola, jaką w transformacji mazowieckich przedsiębiorstw w stronę Przemysłu 4.0 mają odegrać dostawcy przemysłowych rozwiązań cyfrowych. Z analizy Macierzy 4CF wynika, że proces inwestowania w cyfrowe rozwiązania technologiczne oferowane przez tych dostawców (sensoryka, roboty, platformy integracji) należą do fazy finałowej wdrażania Przemysłu 4.0 i dla zdecydowanej większości mazowieckich przedsiębiorców zakup tych rozwiązań nie przyniesie oczekiwanych rezultatów, jeśli nie zostanie poprzedzony rzetelnymi przygotowaniem organizacyjnymi,

tj. analizą strategiczną czy mapowaniem procesów. W związku z tym należy raczej wspierać działania podmiotów takich jak Platforma Przemysłu Przyszłości czy EDIHy (European Digital Innovation Hubs).

9.1.2 Rekomendacje dla przedsiębiorców w zakresie rozwoju najbardziej perspektywicznych rozwiązań cyfrowych w mazowieckich MSP niezbędnych do przyspieszenia wdrażania Przemysłu 4.0 w odniesieniu do branż objętych badaniem

1. W każdym przedsiębiorstwie - niezależnie od branży - proces transformacji w kierunku Przemysłu 4.0 powinien być realizowany **po dokonaniu wcześniejszej analizy procesowej oraz zdefiniowaniu indywidualnej strategii przeprowadzenia transformacji**. Dlatego też przedsiębiorstwa, które nie przeprowadziły tych działań powinny potraktować je priorytetowo, niezależnie od stopnia zaawansowania we wdrażaniu P4.0.
2. We wszystkich analizowanych branżach (budowlanej, logistycznej, medyczno-farmaceutycznej oraz rolno-spożywczej) jako najbardziej perspektywiczne wskazano wdrożenie cyfrowych technologii z dziedziny cyberbezpieczeństwa oraz elektronicznego obiegu dokumentów. **Wdrożenia te powinny być poprzedzone wcześniejszą analizą specyfiki działalności, stopnia zaawansowania i potrzeb danego przedsiębiorstwa w zakresie transformacji**. Jak wskazywali w wywiadach eksperci, zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi przedsiębiorstwami w województwie jest bardzo wysokie i niewskazane jest określanie ogólnych prawideł specyficznych dla branż czy regionów. Próba ich ogólnego określenia mogłaby negatywnie odbić się na skuteczności i sensowności działań wspierających transformację, prowadząc do kuriozalnych sytuacji w których potrzebujące wsparcia wysoce innowacyjne podmioty nie wpiszą w ramy rozwoju cyfryzacji w danym podregionie czy branży.
3. Po wdrożeniu technologii z dziedziny cyberbezpieczeństwa oraz elektronicznego obiegu dokumentów cyfrowych, **kolejnym etapem transformacji przedsiębiorstw w kierunku P4.0 powinno być wdrożenie rozwiązań z dziedziny sensoryki** (w tym rozproszonych czujników IoT) oraz akwizycji i przechowywania danych procesowych. Podobnie jak wyżej, rekomendacja ta dotyczy się jednakowo wszystkich analizowanych branż.
4. Kolejnym rozwiązaniem po wdrożeniu w przedsiębiorstwie technologii akwizycji danych z sensorów powinno być **wykorzystanie do ich analizy cyfrowych platform do zarządzania danymi**.
5. Finałowym etapem transformacji w kierunku P4.0 powinno być **stworzenie wirtualnego odpowiednika przedsiębiorstwa** - cyfrowego bliźniaka - będącego wierną, aktualizowaną w czasie rzeczywistym kopią sieci wszystkich procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. Cyfrowy bliźniak stanowi podstawę do umożliwienia przekazania zarządzania przedsiębiorstwem komputerom, co umożliwi dalszą optymalizację jego działania.
6. Kojarzone z Przemysłem 4.0 w literaturze następujące technologie: **systemy CAD/CAM, druk 3D, algorytmy sztucznej inteligencji oraz automatyzacja procesów nie są technologiami niezbędnymi do tego, by w myśl przyjętej w niniejszym badaniu definicji uznać je za niezbędne w procesie transformacji w kierunku Przemysłu 4.0**. Dlatego też zaleca się, by wdrożenia tych

technologii w przedsiębiorstwach z analizowanych branż były każdorazowo poprzedzone indywidualną analizą biznesową.

9.1.3 Rekomendacje w zakresie narzędzi wspierających transformację przedsiębiorstw Mazowsza w kierunku Przemysłu 4.0, możliwe do wdrożenia przez Samorząd Województwa Mazowieckiego

1. Należy dążyć do opracowania przez Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości przewodnika transformacji w stronę Przemysłu 4.0, w którym zawarte byłyby:
 - a. wskazówki co do sposobów dostosowania ogólnych rozwiązań cyfrowych P4.0 w zależności od rozmaitych modeli działalności występujących w danej branży
 - b. opisy poszczególnych etapów procesu transformacji dla małych, średnich i dużych przedsiębiorstw
 - c. opisy case study reprezentujących daną branżę, działających w ramach P4.0
2. Wykorzystanie środków europejskich w ramach działania FEMA 01.01 Badania, rozwój i innowacje przedsiębiorstw, do sfinansowania mapowania procesów oraz przygotowania strategii transformacji w kierunku P4.0. Zarówno mapowanie procesów jak i przygotowanie strategii można uznać za badanie z dziedziny nauki o zarządzaniu, ewentualnie jako studia wykonalności (Badanie potencjału konkretnego przedsiębiorstwa pod kątem transformacji w kierunku Przemysłu 4.0). Te działania wpisują się w ramy interwencji 010, 011, 012. Również ich wdrożenie, które jest warunkiem rozliczenia środków, jest mniej problematyczne niż w przypadku innowacji technologicznych czy procesowych. Strategia transformacji powinna zawierać w sobie gotowy do wdrożenia plan działań. Mapa procesów powinna stanowić podstawę do ich optymalizacji. Oba dokumenty powinny być regularnie poddawane rewizji.
3. Wykorzystanie środków europejskich do wyposażenia pracowników przedsiębiorstw mazowieckich z analizowanych branż w kompetencje trenera Przemysłu 4.0, np z działania FEMA 01.01. W ramach działania FEMA 01.01. w module dotyczącym podnoszenia kompetencji oraz kwalifikacji kwalifikowalne będą koszty dotyczące pracowników wykonujących zadania związane z pracami B+R. Nabywanie kwalifikacji powinno dotyczyć w szczególności zakresu inteligentnej specjalizacji, przedsiębiorczości, cyfrowej i niskoemisyjnej transformacji przemysłu, transferu technologii, innowacyjnych modeli biznesowych, zarządzania innowacjami, (...). W ten sposób przedsiębiorcy mogliby wyszkolić w swojej firmie pracowników do roli Trenera (czasem takie osoby nazywa się Czempionami bądź Ambasadorami) Przemysłu 4.0. Trener nie musi posiadać szczegółowej wiedzy na temat technologii oraz ich implementacji; nie musi być ekspertem technicznym. Jego rolą powinno być przede wszystkim szerzenie w firmie kultury transformacji i innowacji. Powinien doskonale rozumieć nowoczesne metody i procesy podnoszenia wydajności, rozumieć konieczność wdrażania ich w sposób ciągły i długofalowy. Trener musi posiadać także kompetencje trenerskie - umieć przekazywać swoją wiedzę pozostałym pracownikom w odpowiednim do ich funkcji zakresie.
4. Motywowanie przedsiębiorców do szybszej transformacji w kierunku P.4.0 za pośrednictwem kryteriów przyznawania środków finansowych, w zależności od możliwości. Np. uzupełnienie

- kryteriów do przyznania dofinansowania ze środków europejskich do inwestycji w zakup środków trwałych warunkiem przedstawienia mapy procesów (przynajmniej w obrębie rozwijanej linii technologicznej/działu/gniazda produkcyjnego) i/lub strategii transformacji w kierunku Przemysłu 4.0; (podobnie do warunku przedstawienia agendy badawczej realizowanej na zakupionym sprzęcie ze środków w ramach działania FEMA 01.01 i wykazania ich związku z RIS).
5. Organizacja przez Samorząd Województwa zagranicznych misji gospodarczych w celu ułatwienia transferu wiedzy. Przede wszystkim powinny to być wyjazdy terenowe dla przedsiębiorców mazowieckich do zagranicznych zakładów już operujących w ramach Przemysłu 4.0. Innym wartym rozważenia narzędziem jest ułatwienie przedstawicielom MŚP zorganizowania wyjazdów na międzynarodowe targi przemysłowe dla konkretnych branż, gdzie przedsiębiorcy mieliby okazję zapoznać się z najnowszymi możliwościami technologicznymi i ich zastosowaniami w swoich branżach.
 6. Przygotowanie przez SWM programu stypendialnego, w ramach którego chętni uczniowie będą mogli uczestniczyć w zajęciach/szkoleniach przygotowanych przez organizacje zajmujące się szkoleniami do Przemysłu 4.0. Należy wyróżnić odrębne profile dla uczniów szkół technicznych i odrębne dla uczniów szkół o profilu ekonomiczno-zarządczym.

9.2. Conclusions and recommendations (ENG)

9.2.1 Conclusions

Lack of awareness and knowledge about Industry 4.0 is a direct cause of low interest of the Mazovian entrepreneurs in transforming their companies towards the Industry 4.0 model.

The lack of widely available sources from which entrepreneurs could draw reliable knowledge on what Industry 4.0 is, what benefits it provides, why to invest in it and how to lead their company into the reality of the fourth industrial revolution is a significant barrier for those few entrepreneurs who want to modernise their companies in accordance with the P4.0 concept. The Future Industry Platform Foundation, established from the national level, is a centre operating on the territory of the whole Poland and the scale of its activities is too broad for the needs related to the plan for transformation of the Mazovian economy towards P4.0.

Technological innovation financing issues are not the main barrier to the implementation of Industry 4.0 in Mazovia. However, this does not mean that programmes based on financial support are doomed to lack interest. Their success will depend on the economic calculation: how high the potential profits are in relation to the cost of work put in by entrepreneurs to obtain financing.

The lack of actions accelerating the pace of adaptation to Industry 4.0 in Mazovia may lead to the backwardness of the Mazovian industry in relation to the world, which in the future may hinder integration and willingness to invest in the region, or even more broadly - to establish cooperation. Given the differences between the NUTS-2 regions, it is to be expected that such a turn

of events will lead to a further widening of the stratification between the Warsaw capital region and the regional Mazovian region.

Industry 4.0 is a concept of running an industry with digital technologies as its implementing elements. In the current technological reality, this means total dependence on electricity and ICT data transmission infrastructure. Guaranteeing energy and infrastructure security in each NUTS-3 region will reduce the risks associated with the decision to embark on a transformation process.

The role to be played by industrial digital solution providers in the transformation of Mazovian enterprises towards Industry 4.0 remains to be further explored. The analysis of the 4CF Matrix shows that the process of investing in digital technological solutions offered by these suppliers (sensors, robots, integration platforms) belongs to the final phase of the implementation of Industry 4.0 and for the vast majority of Mazovian entrepreneurs the purchase of these solutions will not bring the expected results if it is not preceded by reliable organisational preparations, i.e. strategic analysis or process mapping. Therefore, the activities of entities such as the Future Industry Platform or EDIHs (European Digital Innovation Hubs) should rather be supported.

9.2.2 Recommendations for entrepreneurs in the area of development of the most prospective digital solutions in Mazovian SMEs necessary to accelerate the implementation of Industry 4.0 in relation to industries covered by the study

1. In every company - regardless of the industry - the process of transformation towards Industry 4.0 should be carried out after a prior process analysis and the definition of an individual strategy to carry out the transformation. Therefore, companies that have not carried out these activities should prioritise them, regardless of the degree of progress in implementing P4.0.
2. In all of the industries analysed (construction, logistics, medical/pharmaceutical and agri-food), the implementation of digital technologies in the field of cyber security and electronic document workflow were identified as the most promising. These implementations should be preceded by a prior analysis of the specifics of the business, the degree of sophistication and the transformation needs of the company in question. As experts pointed out in interviews, the variation between individual enterprises in the province is very high and it is inadvisable to define general rules specific to industries or regions. An attempt to define them top-down could have a negative impact on the effectiveness and meaningfulness of actions supporting the transformation, leading to bizarre situations in which highly innovative entities in need of support do not fit into the framework of digitisation development in a given sub-region or industry.
3. After the implementation of cyber-security and digital workflow technologies, the next step in the transformation of enterprises towards P4.0 should be the implementation of sensor solutions (including distributed IoT sensors) and process data acquisition and storage. As above, this recommendation applies equally to all analysed industries.
4. The next step after implementing sensor data acquisition technology in the enterprise should be to use digital data management platforms to analyse the data.

5. The final stage of the transformation towards P4.0 should be the creation of a virtual equivalent of the enterprise - a digital twin - which is a faithful, real-time updated network copy of all processes taking place in the enterprise. The digital twin provides the basis for enabling the management of the enterprise to be handed over to computers to further optimise its operations.
6. The following technologies associated with Industry 4.0 in the literature: CAD/CAM systems, 3D printing, artificial intelligence algorithms and process automation are not technologies that, according to the definition adopted in this study, should be considered essential in the process of transformation towards Industry 4.0. It is therefore recommended that the implementation of these technologies in companies in the analysed industries be preceded each time by an individual business analysis.

9.2.3 Recommendations in the area of tools supporting the transformation of Mazovian enterprises towards Industry 4.0, possible to be implemented by the Mazowieckie Voivodeship local government.

1. Efforts should be made for the Future Industry Platform Foundation to develop a transformation guide towards Industry 4.0, which would include:
 - a. guidance on how to adapt general P4.0 digital solutions according to the various business models found in a given industry
 - b. descriptions of the various stages of the transformation process for small, medium-sized and large companies
 - c. descriptions of P4.0 case studies representing the industry in question.
2. The use of European funds under FEMA measure 01.01 Research, Development and Innovation of Enterprises, to finance process mapping and the preparation of a strategy for transformation towards P4.0. Both process mapping and strategy preparation can be considered as research in the field of management science, possibly as feasibility studies (Investigation of the potential of a specific enterprise for transformation towards Industry 4.0). These activities fall within the framework of interventions 010, 011, 012. Also their implementation, which is a condition for the settlement of funds, is less problematic than in the case of technological or process innovations. The transformation strategy should include an action plan ready for implementation. The process map should form the basis for their optimisation. Both documents should be reviewed regularly.
3. Use of European funds to equip employees of Mazovian enterprises from the analysed industries with competences of an Industry 4.0 trainer, e.g. from the FEMA 01.01 measure. Under the FEMA 01.01 measure, costs concerning employees performing tasks related to R&D work will be eligible in the module on increasing competences and qualifications. The acquisition of qualifications should relate in particular to the fields of smart specialisation, entrepreneurship, digital and low-carbon industrial transformation, technology transfer, innovative business models, innovation management, (...). In this way, entrepreneurs could train employees in their company

to become Trainers (sometimes called Champions or Ambassadors) of Industry 4.0. A trainer does not need to have detailed knowledge of technologies and their implementation; he or she does not need to be a technical expert. His or her role should primarily be to spread a culture of transformation and innovation within the company. He or she should have an excellent understanding of modern methods and processes for improving productivity, understanding the need to implement them continuously and in the long term. The trainer must also have coaching competence - to be able to pass on his or her knowledge to the rest of the workforce in a scope appropriate to their functions.

4. Motivate entrepreneurs to accelerate the transformation towards P.4.0 through criteria for awarding funds, depending on the opportunities. E.g. Supplementing the criteria for the award of European funding to investments in the purchase of fixed assets with the condition to present a process map (at least within the developed technological line/department/production outlet) and/or a transformation strategy towards Industry 4.0; (similarly to the condition to present a research agenda implemented on the purchased equipment with funds under FEMA measure 01.01 and to demonstrate their relation to RIS).
5. Organisation of foreign economic missions by the local government in order to facilitate knowledge transfer. First of all, these could be field trips for Mazovian entrepreneurs to foreign plants already operating within the framework of Industry 4.0. Another tool worth considering is to facilitate the organisation of trips for representatives of SMEs to international industrial fairs for specific industries, where entrepreneurs would have the opportunity to learn about the latest technological opportunities and their applications in their industries.
6. Preparation of a scholarship programme by the local government whereby willing students would be able to participate in classes/training prepared by organisations involved in training for Industry 4.0. There should be separate profiles for students from technical schools and separate ones for students from schools with an economic and management profile.

10. Bibliografia

Adam Smith. (2020). *Badania nad naturą i przyczynami bogactwa narodów 1*. PWN.

Adj & Mms. (2023). Polska wśród najbardziej konkurencyjnych rynków dla branży IT. *Bankier.pl*.
<https://www.bankier.pl/wiadomosc/Polska-wsrod-najbardziej-konkurencyjnych-rynkow-dla-branzy-IT-8535466.html>

Alaloul, W. S., Liew, M. S., Zawawi, N. A. W. A., & Mohammed, B. S. (2018). Industry Revolution IR 4.0: Future Opportunities and Challenges in Construction Industry. *MATEC Web of Conferences*, 203, 02010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820302010>

Bossche, P. van den, Troncoso, O., Hales, M., Luo, S., & Dotterer, S. (2022). *America is ready for re-shoring. Are you?* Kearney.
https://www.kenarney.com/service/operations-performance/us-reshoring-index?utm_medium=pr&utm_source=prnewswire&utm_campaign=ReshoringIndex

Autodesk. (2020). *Sukcesy i wyzwania w cyfryzacji polskich przedsiębiorstw przemysłowych. Wyniki raportu*. Autodesk.

Astri-O'Reilly, A., (2023, styczeń 9). *What Are the Industry 4.0 Trends for 2023?*
<https://4iplatform.com/blog/industry-4-0-trends-for-2023/>

Astor. (2016). *Przemysł 4.0 Rewolucja już tu jest. Co o niej wiesz?*
<https://automatykaonline.pl/en/content/download/24433/394825/file/ASTOR%20Whitepaper%20-%20Przemys%C5%82%204.0.pdf>, dostęp 23.06.2023

Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: An overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245–1252. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>

Basl, J. (2017). Pilot Study of Readiness of Czech Companies to Implement the Principles of Industry 4.0. *Management and Production Engineering Review*, 8(2), Article 2.
<https://doi.org/10.1515/mper-2017-0012>

Bielenberg, J. (1992). [Goiter-inducing substances]. *Medizinische Monatsschrift Fur Pharmazeuten*, 15(4), Article 4.

Brodny, J., & Tutak, M. (2022). The Level of Digitization of Small, Medium and Large Enterprises in the Central and Eastern European Countries and Its Relationship with Economic Parameters. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(3), Article 3.
<https://doi.org/10.3390/joitmc8030113>

Capturing value at scale in discrete manufacturing with Industry 4.0 | McKinsey. (2022, grudzień 27). <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-with-industry-4-0>

Czwarta rewolucja przemysłowa. (2023). W Wikipedia, wolna encyklopedia. https://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Czwarta_rewolucja_przemys%C5%82owa&oldid=70131572

Digitalisation in Europe 2020-2021: Evidence from the EIB Investment Survey. (b.d.-a).

Dokument bez tytułu. (2023, luty 9). Google Docs. https://docs.google.com/document/d/1YwvUjmE_QzVq-gkgSGxfZbjVIJQWXEuahAbQ03D2jjc/edit?usp=drive_web&oid=110990840931622913448&usp=embed_facebook

Dołącz do tego spotkania wideo. (2023, luty 9). <https://meet.google.com>

Ficarra, M., Rückert, D., Weiss, A., & Weiss, C. (2021). *Digitalisation in Europe 2020-2021.* European Investment Bank.

Food Industry 4.0: Opportunities for a digital future. (2022). *Food Engineering Innovations Across the Food Supply Chain*, 357–368. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821292-9.00011-X>

FPPP. (2023). *Regulamin projektu "Szkoła Lidera"*. <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/szkola-lidera/#zasady-uczestnictwa-1>

Ewelina Gregolinska, Rehana Khanam, Frédéric Lefort, & Prashanth Parthasarathy. (b.d.). Capturing the true value of Industry 4.0. *McKinsey Insights on Operations*. Pobrano 23 czerwiec 2023, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/capturing-the-true-value-of-industry-four-point-zero>

Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster, & Johannes Helbig. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0* (s. 84). Acatech. <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>

Honti, G., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2020). Data describing the regional Industry 4.0 readiness index. *Data in Brief*, 33, 106464. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106464>

Industry 4.0: Capturing value at scale in discrete manufacturing. (b.d.-a).

Javid, M., & Haleem, A. (2019a). Industry 4.0 applications in medical field: A brief review. *Current Medicine Research and Practice*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.1016/j.cmrp.2019.04.001>

Karol Marks. (1951). *Kapitał. Krytyka ekonomii politycznej* (T. 1). Książka i Wiedza.

Maffezzoli, F., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., & Renga, F. (2022). Agriculture 4.0: A systematic literature review on the paradigm, technologies and benefits. *Futures*, 142, 102998. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102998>

Meindl, B., & Mendonça, J. (b.d.-a). *Mapping Industry 4.0 Technologies: From Cyber-Physical Systems to Artificial Intelligence*.

Nagahi, M., Maddah, A., Jaradat, R., & Mohammadi, M. (2021). Development of Perceived Complex Problem-Solving Instrument in Domain of Complex Systems. *Systems*, 9(3), Article 3.

<https://doi.org/10.3390/systems9030051>

Nowotarski, P., & Paslawski, J. (2017). Industry 4.0 Concept Introduction into Construction SMEs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245, 052043.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/5/052043>

PAIH, b.d., Województwo mazowieckie, <https://www.paih.gov.pl/regiony/wojewodztwa/mazowieckie#>, dostęp 19.06.2023

Petrillo, A., Felice, F. D., Cioffi, R., & Zomparelli, F. (2018). Fourth Industrial Revolution: Current Practices, Challenges, and Opportunities. W A. Petrillo, R. Cioffi, & F. D. Felice (Red.), *Digital Transformation in Smart Manufacturing*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72304>

Popov, V. V., Kudryavtseva, E. V., Kumar Katiyar, N., Shishkin, A., Stepanov, S. I., & Goel, S. (2022a). Industry 4.0 and Digitalisation in Healthcare. *Materials*, 15(6), Article 6.

<https://doi.org/10.3390/ma15062140>

PSI Polska. (2019). *Polska droga do Przemysłu 4.0: Firmy produkcyjne w kontekście potrzeb rynkowych, koniunktury oraz innowacyjnych technologii. Raport z badania rynkowego*. PSI Polska.

Rekrutacja IT w Polsce: 6 powodów, dla których amerykańskie firmy przenoszą swoje centra technologiczne. (2022, wrzesień 2). *Next Technology Professionals*.

<https://nexttechnology.io/pl/rekrutacja-it-w-polsce-6-powodow-dla-ktorych-amerykanske-firmy-przenosza-swoje-centra-technologiczne/>

Romanello, R., & Veglio, V. (2022). Industry 4.0 in food processing: Drivers, challenges and outcomes. *British Food Journal*, 124(13), Article 13. <https://doi.org/10.1108/BFJ-09-2021-1056>

Silesian University of Technology, Faculty of Organisation and Management, & Miśkiewicz, R. (2019). ITS IINDUSTRY 4.0 IN POLAND SELECTED ASPECTS OF ITS IMPLEMENTATION. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*, 2019(136), Article 136. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2019.136.31>

Szczepaniak, I., Ambroziak, Ł., & Drożdż, J. (2020). Wpływ pandemii COVID-19 na przetwórstwo spożywcze i eksport rolno-spożywczy Polski. Impact of the COVID-19 pandemic on food processing and Polish agri-food exports. *Ubezpieczenia w Rolnictwie - Materiały i Studia*, 117–163.

<https://doi.org/10.48058/urms/73.2020.3>

Taher, G. (2021). Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities. *Management Studies and Economic Systems*, 6(4–3), Article 4–3. <https://doi.org/10.12816/0060000>

Tang, C. S., & Veelenturf, L. P. (2019). The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 129, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.004>

USA: rośnie zainteresowanie polskim sektorem IT. Nowe firmy zza oceanu inwestują w naszym kraju. (2019). *Forsal*. <https://forsal.pl/artykuly/1426217,polskie-it-atrakcyjne-w-usa-inwestycje.html>

Veza, I., Mladineo, M., & Peko, I. (2015). ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF CROATIAN MANUFACTURING INDUSTRY WITH REGARD TO INDUSTRY 4.0.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966>

Walaszczyk, L. (b.d.). *Family business succession in the Mazovian Region in Poland – needs and barriers*.

Wef digital transformation of industries 2016 exec summary by Laszlo Pacso—Issuu. (2022, grudzień 27). <https://issuu.com/laszlopacso/docs/wef-digital-transformation-of-indus>

Wieczorek, P. (2022). Transformacja polskiego przemysłu przetwórczego – pandemia COVID-19 a technologia czwartej generacji. *Kontrola Państwowa*, 67(2), Article 2.
<https://doi.org/10.53122/ISSN.0452-5027/2022.1.16>

Woźniak, H., Cybulski, L., Dudek, A., Łobos, K., Obrębalski, M., Safin, K., Stańczyk, E., Wojciech, M., & Pawlaczek, G. (Red.). (2022). *Determinanty sukcesu małych i średnich przedsiębiorstw =: Determinants of success of small and medium-sized enterprises*. Główny Urząd Statystyczny; Urząd Statystyczny we Wrocławiu.

Wypracowanie metodologii oraz badanie stopnia dostosowania wybranych przedsiębiorstw do wymogów gospodarczych, jakie stawia czwarta fala rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0). (b.d.-a).

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), Article 8. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Zakrzewska-Bielawska, A. (organizacja i zarządzanie). (b.d.). Relacje między strategią a strukturą organizacyjną w przedsiębiorstwach sektora wysokich technologii. *Zeszyty naukowe*, 1095, Article 1095.

Kagerl, C., Starzetz, J. Working from home for good? Lessons learned from the COVID-19 pandemic and what this means for the future of work. *J Bus Econ* 93, 229–265 (2023).
<https://doi.org/10.1007/s11573-022-01124-6>