

**RAPORT Z BADANIA:
ANALIZA ROZWOJU TECHNOLOGII SZTUCZNEJ INTELIGENCJI I
ROBOTYKI, W TYM ROBOTÓW HUMANOIDALNYCH, W KONTEKŚCIE
WYZWAŃ WSPÓŁPRACY CZŁOWIEK–AI–ROBOT ORAZ BUDOWANIA
KOMPETENCJI PRACOWNIKA PRZYSZŁOŚCI.**

Część I: aktualny stan rozwoju technologii

Interdyscyplinarny zespół naukowców z Politechniki
Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza oraz ekspertów z
Fundacji Human for Future

Spis treści

Wstęp.....	3
Kontekst globalny realizacji badania.....	4
Analiza literatury.....	4
Aktualny stan technologii i główne trendy rozwojowe.....	5
Sztuczna inteligencja - stan obecny i trendy.....	5
Robotyka przemysłowa - stan obecny i trendy.....	6
Roboty humanoidalne i fizyczna sztuczna inteligencja - dane, pilotaże i deklaracje.....	7
Skala rynku i trajektoria kosztów	8
Sygnały rynkowe: inwestycje, startupy, akcje i fundusze notowane na giełdzie.....	9
Analiza akcji wybranych spółek.....	10
Fundusze ETF jako barometr rynkowy.....	14
Perspektywa ogólnopolska i regionalna	16
Aktualny stan rozwoju robotyki humanoidalnej i główne trendy.....	17
Czym jest robot humanoidalny i czym różni się od dotychczasowych robotów.....	17
Ekosystem startupów i inwestycji korporacyjnych na rynku humanoidów.....	18
Główne trendy i bariery	19
Startupy oraz projekty dużych firm i korporacyjnych funduszy technologicznych.....	20
Modele podstawowe i infrastruktura danych w sektorze sztucznej inteligencji.....	20
Firmy rozwijające wielkie modele podstawowe	21
Agentowa AI - pionowe startupy i automatyzacja zadań	22
Fizyczna sztuczna inteligencja (Physical AI) - startupy robotyki i modele fundacyjne robotów.....	23
Projekty dużych firm - gotowe rozwiązania AI w skali	24
Ekosystem europejski i polski - budowanie suwerenności AI.....	24
Jak zmienia się praca pod wpływem sztucznej inteligencji, robotyki i robotów humanoidalnych.....	26
Zadania fizyczne i fizyczna sztuczna inteligencja: praca obok robota.....	27
Fizyczna sztuczna inteligencja a zawody manualne: przypadek elektryków i mechaników	28
Zmiana kompetencji	28
Bibliografia	31
Kontekst regionalny: Podkarpacie	34
Podsumowanie badania ankietowego wśród przedstawicieli biznesu.....	35
Streszczenie	36
Wprowadzenie: cel, zakres i sposób czytania raportu.....	38

Definicje używane w raporcie	39
Cztery wymiary oceny zadań	40
H - Zależność zadania od człowieka	40
Wyniki oceny zadań: obraz ogólny	42
Typy zadań oraz wynikające z nich typy ról	45
Typy zadań	45
Typy ról zawodowych	45
Wyniki w podziale na sektory	48
Walidacja z organizacjami i sposób wprowadzania korekt po warsztatach	49
Podsumowanie odpowiedzi z arkusza walidacyjnego	50
Rekomendowany sposób wprowadzania korekt po warsztatach.....	51
Wnioski dla rynku pracy w regionie z poziomem pewności	51
Rekomendacje	53
Rekomendacje dla WUP i powiatowych urzędów pracy	53
Rekomendacje dla systemu edukacji i szkoleń	53
Rekomendacje dla pracodawców	53
Rekomendacje dla polityki regionalnej.....	54
Jak interpretować wyniki raportu i czego raport nie pokazuje.....	54
Aneksy oraz pełny podręcznik metodologiczny	55

Wstęp

W poniższym dokumencie przedstawiamy wyniki badania zrealizowanego w maju 2026 r. we współpracy Politechniki Rzeszowskiej i Fundacji Human for Future, dla Wojewódzkiego Urzędu Pracy w ramach projektu **„Zbudowanie systemu koordynacji i monitorowania regionalnych działań na rzecz kształcenia zawodowego, szkolnictwa wyższego oraz uczenia się przez całe życie, w tym uczenia się dorosłych”**

Zespół Badawczy w składzie:

Politechnika Rzeszowska im Ignacego Łukasiewicza:

prof. dr hab. inż. Dorota Stadnicka; prof. dr hab. inż. Jacek Kluska; dr inż. Tomasz Żabiński ; dr inż. Grzegorz Piecuch; dr inż. Mateusz Pomianek; dr inż. Tomasz Mączka; dr inż. Paweł Kuraś; dr Ryszard Klamut; mgr inż. Katarzyna Barnuś; mgr inż. Marcin Goral; mgr inż. Dominik Ożóg

Fundacja Human for Future:

dr Paweł Szczęsny, dr Iwo Zmyślony, Inga Safader-Powroźnik, Marek Adamski

Kontekst globalny realizacji badania

Analiza literatury

- **GPTs are GPTs: An Early Look at the Labor Market Impact Potential of Large Language Models**

Eloundou, T., Manning, S., Mishkin, P., Rock, D. (2023 / 2024) | arXiv:2303.10130 | Science 384(6702):1306-1308

Pierwsze i do dziś najważniejsze badanie, które ocenia, jak bardzo zadania wykonywane przez pracowników są narażone na przejęcie przez duże modele językowe (AI). Autorzy przeanalizowali tysiące zadań z amerykańskiej bazy zawodów O*NET i dla każdego z nich odpowiedzieli na pytanie: czy AI mogłaby wykonać to zadanie co najmniej dwa razy szybciej niż człowiek? Oceny dokonali zarówno ludzie, jak i model GPT-4. Wynik: około 80% pracowników w USA może mieć dotknięty co najmniej co dziesiąty element swojej pracy przez AI. Ważne rozróżnienie: sam model AI ma mniejszy wpływ niż model AI połączony z dodatkowym oprogramowaniem -- tu scenariusz jest znacznie szerszy.

- **Labor market impacts of AI: A new measure and early evidence**

Massenkoff, M., McCrory, P. (Anthropic) (2026) | Anthropic Research Report, marzec 2026

Badanie Anthropic idzie o krok dalej niż Eloundou: nie pyta, co AI mogłaby robić, ale co faktycznie robi w miejscu pracy. Autorzy przeanalizowali milion rozmów z Claude (modelem AI firmy Anthropic) prowadzonych w kontekście zawodowym i sprawdzili, do jakich zadań pracownicy rzeczywiście używają AI. Porównali to z teoretycznym potencjałem i okazało się, że rzeczywiste użycie jest znacznie niższe od możliwości -- większość firm dopiero zaczyna wdrażać AI. Na razie nie widać wzrostu bezrobocia w zawodach najbardziej narażonych na AI. Jest natomiast sygnał, że młodszy pracownicy (22-25 lat) trudniej dostają pierwsze zatrudnienie w takich zawodach.

- **Generative AI and Jobs: A Refined Global Index of Occupational Exposure**

Troszynski, M. i in. (ILO-NASK) (2025) | ILO Working Paper 140, maj 2025

Międzynarodowa Organizacja Pracy (ILO) we współpracy z polskim NASK opublikowała najbardziej szczegółowe jak dotąd globalne badanie narażenia zawodów na AI generatywną. Szczególnie istotne dla tego projektu: badanie opiera się na polskiej 6-cyfrowej klasyfikacji zawodów zawierającej blisko 30 000 zadań. Dodano także ankiety wśród 1640 polskich pracowników. Metodologia jest trójwarstwowa - ludzie, eksperci i modele AI oceniają te same zadania -- co jest najbliższym odpowiednikiem wielomodelowej oceny z pomiarem zgodności zaplanowanej w tym projekcie. Kluczowy wniosek: 1 na 4 pracowników na świecie jest zatrudniony w zawodzie z pewnym stopniem narażenia na AI, ale prawdopodobniejsza jest zmiana charakteru pracy niż jej całkowita utrata.

- **The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market**

Webb, M. (2019 / 2020) | Working Paper SSRN:3482150

Webb zaproponował inne podejście do pomiaru narażenia: porównuje opisy zadań zawodowych z treścią patentów technologicznych dotyczących AI. Tam gdzie opis zadania i patent używa podobnych

słów - uznaje się, że zadanie jest narażone na daną technologię. Kluczowy wynik: w odróżnieniu od robotów i oprogramowania, AI jest ukierunkowana na zadania wymagające wysokich kwalifikacji -- co odróżnia AI od poprzednich fal automatyzacji. Badanie służy głównie jako historyczny punkt odniesienia i uzasadnienie, że AI jest inna niż wcześniejsze technologie.

- **Artificial Intelligence, Automation and Work**

Acemoglu, D., Restrepo, P. (2018) | NBER Working Paper No. 24196

To nie jest badanie empiryczne, lecz ramy teoretyczne -- model opisujący, jak nowe technologie wpływają na rynek pracy. Autorzy pokazują, że automatyzacja ma dwa przeciwstawne skutki: z jednej strony maszyny przejmują zadania od ludzi (efekt wypychania), z drugiej -- rośnie wydajność i powstają nowe zadania (efekt produktywności i tworzenia nowych ról). Oba procesy trzeba analizować razem. To uzasadnienie teoretyczne dla rozróżnienia w projekcie: możliwość automatyzacji kontra możliwość wspomagania pracy ludzkiej (augmentacja) kontra zakorzenienie ludzkie.

Aktualny stan technologii i główne trendy rozwojowe

Sztuczna inteligencja - stan obecny i trendy

Wielkie modele językowe i generatywna sztuczna inteligencja

Duże modele językowe (Large Language Models, LLM) stały się ważnym narzędziem sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence, AI), w tym generatywnej sztucznej inteligencji (GenAI), w biznesie, edukacji i administracji. Stopień faktycznego wykorzystania tych modeli jest jednak silnie zróżnicowany między branżami, krajami i wielkością organizacji. Modele z rodzin GPT (Generative Pre-trained Transformer, GPT), Claude i Gemini są głównymi komercyjnymi przykładami systemów multimodalnych, które przetwarzają tekst, obraz, dźwięk i kod, a ich adopcja w przedsiębiorstwach szybko rośnie. Raport AI Index 2025 Uniwersytetu Stanforda wskazuje, że w 2024 roku 78% badanych organizacji deklaroowało wykorzystanie AI, natomiast opracowanie OpenAI poświęcone zastosowaniom tej technologii w przedsiębiorstwach informuje o ponad milionie klientów biznesowych korzystających z oferowanych narzędzi [1, 2]. W Polsce istotne jest rozdzielenie dwóch kwestii: korzystania z narzędzi GenAI przez pracowników oraz podatności zadań na zmianę. Według raportu Naukowej i Akademickiej Sieci Komputerowej - Państwowego Instytutu Badawczego (NASK) oraz Międzynarodowej Organizacji Pracy (International Labour Organization, ILO), około 5,08 mln stanowisk pracy w Polsce, czyli 30,3% zatrudnienia, jest podatnych na pewien stopień oddziaływania generatywnej sztucznej inteligencji. W tej grupie około 817,5 tys. stanowisk pracy, czyli 4,9% zatrudnienia w Polsce, zalicza się do kategorii bardzo wysokiej podatności. Nie oznacza to automatycznej likwidacji tych stanowisk pracy. Oznacza to, że w tych rolach zawodowych występują zadania, które mogą zostać zautomatyzowane, częściowo wsparte przez narzędzia GenAI albo istotnie przekształcone [3].

Agenty sztucznej inteligencji

Agent sztucznej inteligencji (artificial intelligence agent, agent AI) to system, który planuje i wykonuje wieloetapowe działania z użyciem narzędzi, baz danych i aplikacji zewnętrznych. Typowe obszary zastosowań to obsługa dokumentów, przetwarzanie faktur, klasyfikacja zgłoszeń, wsparcie sprzedaży, wsparcie utrzymania ruchu i analiza danych operacyjnych. W zastosowaniach biznesowych kluczowy pozostaje nadzór człowieka, ponieważ błędy modeli, brak danych, ograniczenia prawne i bezpieczeństwo informacji nadal ograniczają pełną autonomię agentów. Równolegle rośnie znaczenie sztucznej inteligencji na brzegu sieci (edge artificial intelligence, edge AI) oraz lokalnych wdrożeń AI, szczególnie tam, gdzie przetwarzane są dane wrażliwe albo gdzie wymagana jest niska latencja działania.

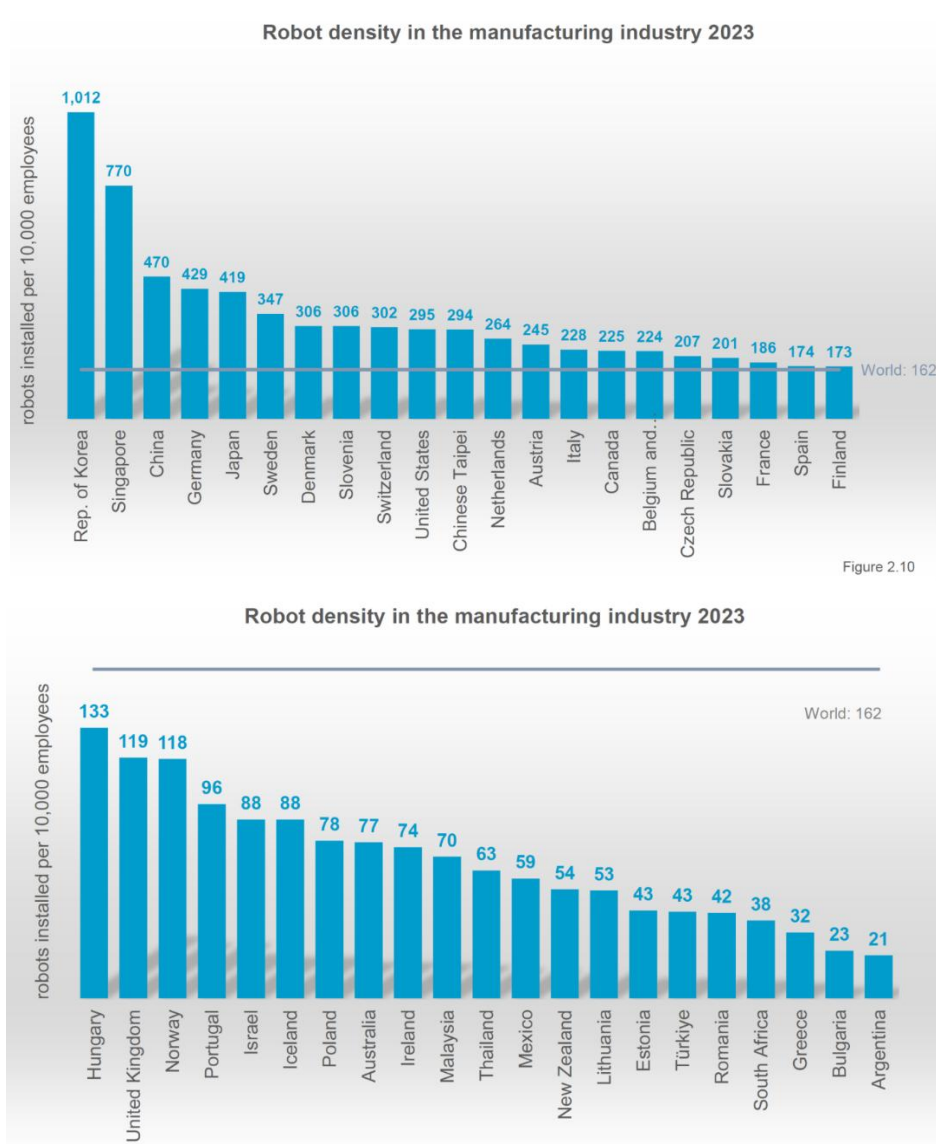
Robotyka przemysłowa - stan obecny i trendy

Skala i dynamika rynku

Robotyka przemysłowa jest technologią dojrzałą i powszechnie stosowaną. Według raportu Międzynarodowej Federacji Robotyki (International Federation of Robotics, IFR) World Robotics 2025, w 2024 roku na świecie zainstalowano około 542 000 robotów przemysłowych. Był to czwarty kolejny rok z liczbą instalacji przekraczającą 500 000 jednostek; poziom instalacji był ponad dwukrotnie wyższy niż dziesięć lat wcześniej [4].

Gęstość robotyzacji jest wskaźnikiem porównawczym, a nie bezpośrednią prognozą zatrudnienia. W danych IFR dla 2023 roku najwyższe wartości osiągały Korea Południowa, Singapur, Chiny, Niemcy i Japonia. Chiny wyprzedziły Niemcy pod względem gęstości robotyzacji i równocześnie stały się największym rynkiem instalacji robotów. W 2024 roku Chiny odpowiadały za około 54% globalnych nowych instalacji, czyli za około 295 000 robotów przemysłowych [4]. Polska pozostaje znacznie poniżej liderów robotyzacji, co oznacza zarówno lukę technologiczną, jak i potencjał modernizacji przemysłu.

Coboty, czyli roboty przemysłowe projektowane do pracy w aplikacjach współdzielonych z człowiekiem - najczęściej operatorem lub pracownikiem produkcji - są dojrzałym segmentem robotyki przemysłowej. Według prezentacji IFR World Robotics 2025 w 2024 roku zainstalowano 64 542 roboty współpracujące, co odpowiadało 11,9% nowych instalacji robotów przemysłowych; IFR podaje wzrost tej kategorii o 12% rok do roku [4]. Cobot nie musi wykonywać zadania bezpośrednio „ramię w ramię” z człowiekiem - istotą jest możliwość bezpiecznej pracy w tej samej lub współdzielonej przestrzeni roboczej po przeprowadzeniu oceny ryzyka. Coboty są szczególnie istotne dla małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP), ponieważ zwykle łatwiej je programować, relokować i integrować z istniejącym stanowiskiem niż klasyczne roboty przemysłowe. Dla Podkarpacia oznacza to realny, krótkoterminowy kierunek modernizacji, bardziej prawdopodobny niż masowe wdrożenia humanoidów.



Rys. 1. Gęstość robotyzacji - liczba robotów przemysłowych na 10 000 pracowników przemysłu w 2023 roku. Wykres górny poz. 1-15, dolny 16-30. Źródło: opracowanie na podstawie danych IFR World Robotics 2024/2025 [4].

Roboty humanoidalne i fizyczna sztuczna inteligencja - dane, pilotaże i deklaracje

Roboty humanoidalne i fizyczna sztuczna inteligencja (physical artificial intelligence, Physical AI) rozwijają się bardzo szybko. Termin „fizyczna sztuczna inteligencja” oznacza zastosowanie modeli AI w systemach działających w świecie fizycznym, czyli w robotach, pojazdach autonomicznych, maszynach przemysłowych lub innych systemach, które odbierają dane z czujników, rozumują o otoczeniu i wykonują działania za pomocą napędów, chwytaków albo innych elementów wykonawczych [5]. W latach 2025-2026 upubliczniono pierwsze wiarygodnie opisane pilotaże i ograniczone wdrożenia robotów humanoidalnych w przemyśle, zwłaszcza w

motoryzacji i logistyce. Nie oznacza to jednak, że humanoidy stały się standardowym narzędziem pracy. Technologia przechodzi z demonstracji do wczesnych pilotaży i ograniczonych wdrożeń, natomiast masowa, niezawodna praca obok ludzi pozostaje celem na kolejne lata. Poniżej podano obraz rynku.

1. Firma **Figure AI** przeprowadziła publicznie opisany projekt pilotażowy z BMW Group w zakładzie Spartanburg w Stanach Zjednoczonych. Według komunikatu Figure AI z 19 listopada 2025 roku roboty Figure 02, określane też jako F.02, pracowały w 10-godzinnych zmianach od poniedziałku do piątku, osiągnęły ponad 1 250 godzin pracy, załadowały ponad 90 000 części i wsparły produkcję ponad 30 000 samochodów BMW X3 [6]. Jest to silny dowód pilotażu w rzeczywistym środowisku produkcyjnym, ale nadal dotyczy wąskiego, dobrze kontrolowanego zadania typu „pobierz i odłóż” (pick-and-place), czyli pobierania i odkładania elementów blaszanych na stanowisku produkcyjnym.
2. **Agility Robotics** rozwija robota Digit dla logistyki i produkcji. W lutym 2026 roku Agility Robotics ogłosiła komercyjną umowę z Toyota Motor Manufacturing Canada po wcześniejszym pilotażu. Zgodnie z komunikatem firmowym roboty Digit mają wspierać pracowników w operacjach produkcyjnych, łańcuchu dostaw i logistyce [7]. Jest to istotny sygnał wdrożeniowy, ponieważ mowa o umowie komercyjnej po pilotażu, ale oficjalny komunikat nie podaje pełnej skali liczbowej wdrożenia ani danych o produktywności. Przykład ten potwierdza przejście do ograniczonego zastosowania komercyjnego, ale nie jest dowodem masowej substytucji pracy ludzkiej.
3. W przypadku **Tesli** konieczne jest rozdzielenie faktów od deklaracji. Publiczne dokumenty inwestorskie Tesli potwierdzają przygotowania do budowy dużej zdolności produkcyjnej robota Optimus. W aktualizacji za pierwszy kwartał 2026 roku Tesla podała, że pierwsza linia w Fremont ma być projektowana pod zdolność 1 miliona robotów rocznie [8]. Nie jest to jednak dowód, że w 2026 roku ponad 1 000 robotów Optimus Gen 3 regularnie pracuje w fabrykach Tesli. Taka teza ma charakter deklaracji lub informacji wymagającej dalszej weryfikacji.
4. **BMW Group** prowadzi pilotaż humanoidalnego robota AEON firmy Hexagon Robotics w zakładzie w Lipsku. Według komunikatu BMW Group z 27 lutego 2026 roku jest to projekt pilotażowy z udziałem robota humanoidalnego w europejskiej sieci produkcyjnej BMW Group, a nie dojrzałe wdrożenie na dużą skalę [9]. BMW podaje, że AEON ma wspierać integrację robotyki humanoidalnej w istniejącej produkcji seryjnej oraz badanie dalszych zastosowań w produkcji baterii i komponentów. AEON jest platformą Hexagon Robotics i nie jest następcą robota Figure 02.
5. **XPeng** zaprezentował humanoidalnego robota IRON podczas XPeng AI Day 2025 i zadeklarował cel dużej produkcji do końca 2026 roku [10]. Dostępne źródła wskazują na deklarację producenta i zapowiedź dalszych zastosowań, w tym w scenariuszach komercyjnych oraz przemysłowych, ale nie stanowią jeszcze dowodu dojrzałego wdrożenia przemysłowego na dużą skalę.

Skala rynku i trajektoria kosztów

Prognozy rynku robotów humanoidalnych są bardzo rozbieżne i mają charakter scenariuszy, a nie pewnych przewidywań.

Goldman Sachs Research szacował w 2024 roku, że całkowity adresowalny rynek robotów humanoidalnych może osiągnąć około 38 mld USD do 2035 roku, przy prognozie około 1,4 mln dostarczonych jednostek w tym samym horyzoncie [11]. Ta liczba nie oznacza jednak pewnej wartości sprzedaży, lecz scenariusz rynkowy zależny od wielu założeń, w tym postępu sztucznej inteligencji, spadku kosztów

komponentów, niezawodności robotów, dostępności serwisu, bezpieczeństwa pracy obok ludzi oraz realnej opłacalności wdrożeń. Goldman Sachs wskazywał również, że szacowany koszt wytworzenia robotów humanoidalnych spadł z wcześniejszego zakresu około 50 000-250 000 USD do około 30 000-150 000 USD za jednostkę, co może przyspieszyć komercjalizację, ale nadal nie przesądza o masowej adopcji [11].

Deloitte, powołując się na Bank of America Institute, wskazuje bardziej szczegółowy scenariusz kosztowy: koszt materiałowy robota humanoidalnego może spaść z około 35 000 USD w 2025 roku do około 13 000-17 000 USD w kolejnej dekadzie [12]. Jest to jednak prognoza kosztu materiałowego, a nie pełny koszt wdrożenia u użytkownika końcowego. Dla przedsiębiorstwa ważniejszy od ceny katalogowej albo kosztu materiałowego będzie całkowity koszt posiadania (total cost of ownership, TCO), obejmujący co najmniej: integrację z istniejącą linią lub stanowiskiem pracy, ocenę ryzyka i zabezpieczenia, certyfikację, przestoje, serwis, części zamienne, aktualizacje oprogramowania, cyberbezpieczeństwo, szkolenie pracowników, ubezpieczenie oraz odpowiedzialność prawną. Z tego powodu niska cena samego robota nie jest wystarczającym argumentem za wdrożeniem.

Wniosek biznesowy: w 2026 roku roboty humanoidalne są technologią pilotażową i wczesnowdrożeniową, szczególnie istotną dla dużych firm z motoryzacji, logistyki, magazynowania i produkcji seryjnej. Nie ma obecnie podstaw, aby uznać humanoidy za dojrzałe, powszechne narzędzie pracy dla większości przedsiębiorstw. Dla większości firm z województwa podkarpackiego bardziej prawdopodobną ścieżką modernizacji w horyzoncie 2-5 lat pozostają klasyczne roboty przemysłowe, coboty, systemy wizyjne, automatyzacja kontroli jakości, lokalne lub branżowe modele AI oraz narzędzia wspierające pracę specjalistów. Roboty humanoidalne pozostają jednocześnie ważnym sygnałem strategicznym i obszarem, w którym wybrane firmy regionu mogą pełnić rolę pionierów. Ich pilotaże wymagają dobrze zdefiniowanych zadań, wysokiej gotowości organizacyjnej oraz oceny całkowitego kosztu posiadania (TCO), bezpieczeństwa i niezawodności.

Sygnały rynkowe: inwestycje, startupy, akcje i fundusze notowane na giełdzie

W latach 2024-2025 napływ kapitału do AI, robotyki i infrastruktury obliczeniowej był bardzo wysoki. Finansowanie nie jest jednak równoznaczne z faktycznym wdrożeniem technologii w zakładach pracy. Jest przede wszystkim sygnałem oczekiwań inwestorów co do przyszłego rynku, a nie dowodem, że dana technologia już zwiększa produktywność, zmienia zatrudnienie albo działa niezawodnie w przedsiębiorstwach.

Według Crunchbase finansowanie przez kapitał wysokiego ryzyka (venture capital, VC) firm związanych z AI osiągnęło w 2025 roku około 211 mld USD, czyli około połowę globalnego finansowania VC, szacowanego przez Crunchbase na 425 mld USD [13]. Dane Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) pokazują jeszcze silniejszą koncentrację kapitału. Według tej instytucji inwestycje VC w firmy AI wyniosły w 2025 roku 258,7 mld USD, czyli 61% globalnych inwestycji VC [14]. Różnica między tymi wartościami wynika najprawdopodobniej z odmiennej metodologii klasyfikowania firm jako „firm AI” oraz z różnic w zakresie uwzględnianych transakcji. Najważniejszy jest jednak nie pojedynczy dokładny odsetek, lecz wniosek kierunkowy: sztuczna inteligencja stała się dominującym obszarem finansowania VC.

W przypadku robotyki i robotów humanoidalnych kapitał koncentruje się w niewielkiej liczbie firm i dużych rund finansowania. Przykładowo Figure AI ogłosiła w 2025 roku rundę finansowania przekraczającą 1 mld USD przy wycenie po zakończeniu rundy finansowania (post-money valuation, PMV) wynoszącej 39 mld USD [15]. Takie finansowanie pokazuje wysokie oczekiwania rynku, ale nie jest dowodem powszechnej adopcji humanoidów w przemyśle. Wycena startupu odzwierciedla oczekiwania inwestorów wobec przyszłego rynku, a nie aktualną, zweryfikowaną skalę produktywnej pracy robotów w fabrykach.

Nie ma wystarczająco mocnego, jednolitego źródła dla tezy, że w latach 2024-2025 dokładnie 40-45% kapitału inwestowanego w AI trafiło do sprzętu. Widoczny jest jednak wzrost znaczenia infrastruktury sprzętowej i technicznej, obejmującej procesory graficzne (Graphics Processing Units, GPU), jednostki przetwarzania tensorowego (Tensor Processing Units, TPU), centra danych, serwery AI, roboty, czujniki, systemy wizyjne i edge AI. Potwierdzają to dane OECD, według których firmy AI związane z infrastrukturą technologii informacyjnych oraz hostingiem przyciągnęły 109,3 mld USD inwestycji VC w 2025 roku [14]. Podobny kierunek pokazują analizy McKinsey, według których nakłady kapitałowe hiperskalerów (jak Amazon, Microsoft, Google czy Meta) na centra danych w 2025 roku mogą wynieść około 300 mld USD, a dalszy rozwój centrów danych będzie zależał od efektywniejszego projektowania, dostępności energii i skalowania infrastruktury obliczeniowej [16].

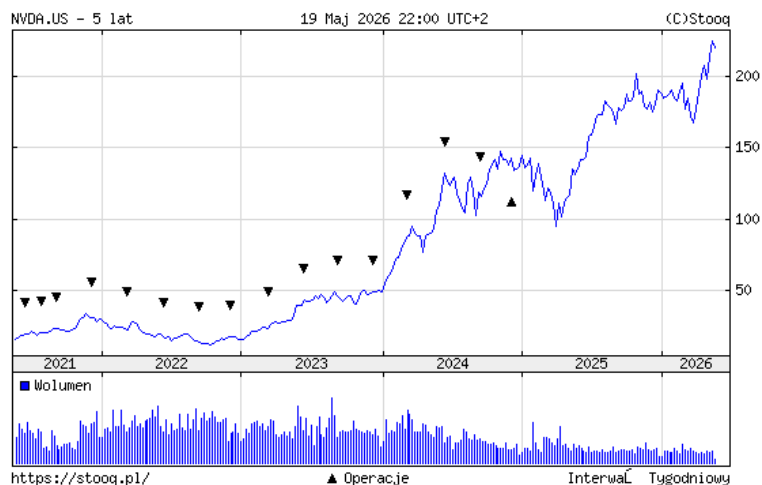
Wniosek biznesowy: inwestycje kapitałowe, rundy finansowania startupów, wzrosty cen akcji i fundusze notowane na giełdzie (Exchange-Traded Funds, ETF) są ważnymi sygnałami rynkowymi, ale nie są bezpośrednim dowodem wdrożenia technologii w przedsiębiorstwach. Wskazują przede wszystkim na oczekiwania rynku i kierunek rozwoju technologii. Dla decyzji regionalnych ważniejszymi parametrami są: liczba realnych wdrożeń, koszty integracji, dostępność kompetencji, bezpieczeństwo, zwrot z inwestycji (return on investment, ROI) i dopasowanie technologii do zadań wykonywanych w firmach województwa podkarpackiego.

Analiza akcji wybranych spółek

Rośnie znaczenie dostawców infrastruktury obliczeniowej, centrów danych, platform chmurowych, półprzewodników i robotyki. Wśród firm często wskazywanych w tym kontekście znajdują się m.in. NVIDIA, AMD, Alphabet/Google, Microsoft, operatorzy centrów danych oraz wyspecjalizowane spółki robotyczne. Wykresy kursów akcji są wyłącznie ilustracją nastrojów rynku kapitałowego; nie stanowią dowodu wdrożenia technologii ani rekomendacji inwestycyjnej.

1. NVIDIA dostarcza procesory graficzne, oprogramowanie CUDA oraz platformy dla AI i robotyki, w tym rozwiązania z rodziny Isaac/GR00T. Jest jednym z kluczowych dostawców infrastruktury obliczeniowej i narzędzi symulacyjnych dla AI oraz robotyki, a jej znaczenie wzrosło wraz z popytem na akceleratorzy AI i rozwój modeli multimodalnych. Udział rozwiązań NVIDIA w robotyce jest bardzo istotny, ale nie oznacza, że platforma NVIDIA stanowi fundament dla każdego producenta humanoidów. Informacje o kapitalizacji giełdowej i stopach zwrotu są zmienne i zależą od daty pobrania danych rynkowych.

Stopa zwrotu z 5 lat: +1 471,77%; od początku roku (year-to-date, YTD): +18,29% (rys. 2)



Rys. 2. Notowania akcji spółki NVIDIA za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

- Google DeepMind i Alphabet rozwijają modele AI dla robotyki oraz systemy multimodalne. Projekty takie jak Robotics Transformer 2 (RT-2) pokazują kierunek łączenia rozumowania językowo-wizyjnego z działaniem robotycznym, a Gemini 2.5 jest przykładem komercyjnego modelu o bardzo długim oknie kontekstowym i zdolnościach multimodalnych [27]. Wniosek dla rynku pracy: warto monitorować nie tylko same modele, lecz także ich integrację z narzędziami biurowymi, programistycznymi i przemysłowymi.

Stopa zwrotu z 5 lat: +242,56%; YTD: +23,85% (rys. 3)



Rys. 3. Notowania akcji spółki Alphabet (Google) za okres 5 lat (źródło: stooq.pl).

- AMD jest jednym z głównych konkurentów NVIDIA w segmencie akceleratorów AI oraz procesorów dla centrów danych i urządzeń brzegowych. W kontekście fizycznej sztucznej inteligencji znaczenie mają nie tylko układy GPU, lecz także energooszczędne procesory i akceleratory przeznaczone do pracy lokalnej, blisko maszyny lub robota.

Stopa zwrotu z 5 lat: +443,16%; YTD: +93,34% (rys. 4)



Rys. 4. Notowania akcji spółki AMD za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

- Equinix jest jednym z największych globalnych operatorów centrów danych i usług kolokacyjnych. W kontekście AI jego znaczenie polega na zapewnianiu infrastruktury, łączności i neutralnych punktów dostępu do chmur publicznych, dostawców sieci oraz usług obliczeniowych. Tak więc rozwój AI tworzy popyt nie tylko na programistów modeli, lecz także na specjalistów infrastruktury, sieci, cyberbezpieczeństwa, energetyki i utrzymania centrów danych.

Stopa zwrotu z 5 lat: +50,33%; YTD: +36,84% (rys. 5)



Rys. 5. Notowania akcji spółki Equinix za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

- Digital Realty jest dużym globalnym operatorem centrów danych i kampusów hyperskalowych. Jego rola w ekosystemie AI polega przede wszystkim na zapewnianiu infrastruktury dla dużych klientów chmurowych i korporacyjnych. Ten przykład pokazuje, że skutki rozwoju AI obejmują również energetykę, chłodzenie, budownictwo przemysłowe, sieci i zarządzanie infrastrukturą krytyczną.

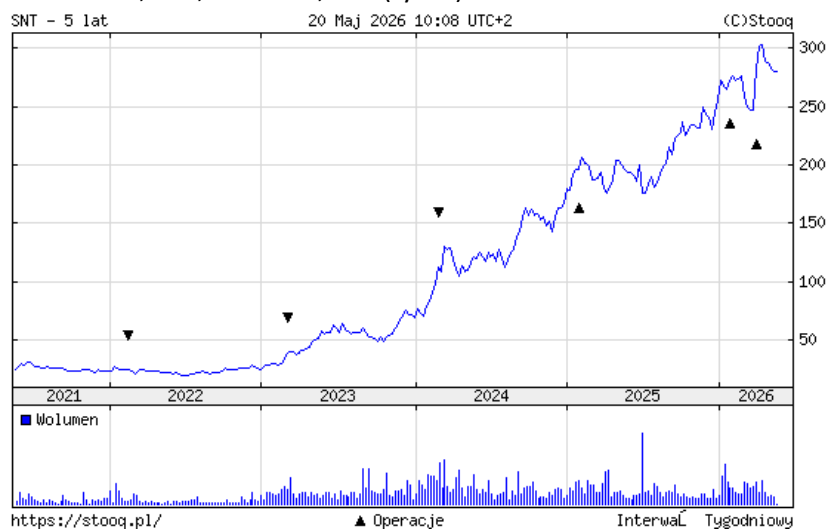
Stopa zwrotu z 5 lat: +32,04%; YTD: +20,41% (rys. 3.6)



Rys. 6. Notowania akcji spółki Digital Realty za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

6. Interesującym przykładem jest również polska spółka Synektik S.A., notowana na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie (GPW), specjalizująca się w dystrybucji i serwisie systemów robotyki medycznej, w tym systemów da Vinci. Przykład Synektik pokazuje, że Polska uczestniczy w globalnym łańcuchu wartości robotyki głównie jako dystrybutor, integrator i dostawca usług serwisowych, ale nie jest dowodem szerokiej krajowej produkcji zaawansowanych robotów. Z punktu widzenia rynku pracy rozwój robotyki tworzy popyt na serwis, integrację, szkolenia, walidację procedur i obsługę technologii wysokiej niezawodności.

Stopa zwrotu z 5 lat: +1 066,64%; YTD: +11,38% (rys. 7)



Rys. 7. Notowania akcji spółki Synektik za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

Wniosek z części giełdowej jest ostrożny: wzrosty kursów wybranych spółek pokazują oczekiwania rynku wobec AI, półprzewodników, centrów danych i robotyki, ale nie dowodzą szerokiego wdrożenia tych technologii w przedsiębiorstwach regionu. Dla polityki rynku pracy ważniejsze jest przełożenie trendu na zadania i

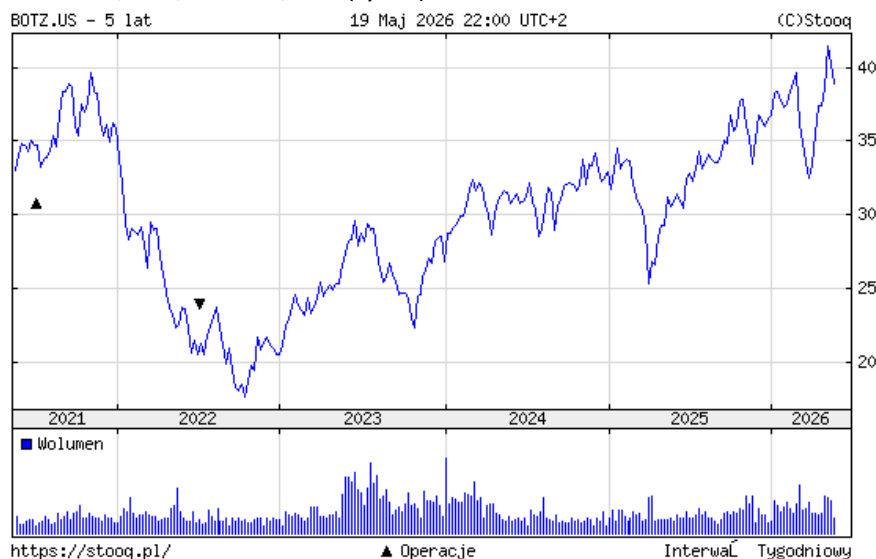
kompetencje: obsługę narzędzi AI, integrację systemów, cyberbezpieczeństwo, utrzymanie robotów, kontrolę jakości i analizę danych.

Fundusze ETF jako barometr rynkowy

Fundusze ETF mogą być pomocnym barometrem zainteresowania inwestorów sektorem AI i robotyki, ale są wyłącznie wskaźnikiem rynku kapitałowego. Nie mierzą bezpośrednio liczby wdrożeń, liczby robotów w firmach ani wpływu technologii na zatrudnienie.

- **Fundusz Global X Robotics & AI ETF (BOTZ, NASDAQ)** - śledzi Index Global Robotics & Artificial Intelligence. Największe pozycje w funduszu: NVIDIA, Intuitive Surgical, Keyence, Fanuc, ABB. Rok 2022 przyniósł stratę -43%, po czym nastąpiło odreagowanie: +39% w 2023 i +12% w 2024 [35].
- **ROBO Global Robotics & Automation ETF (ROBO, NASDAQ)** - portfel ok. 80 spółek z całego łańcucha wartości robotyki. Szerokie rozproszenie obniża ryzyko względem bardziej skoncentrowanych funduszy [36].

Stopa zwrotu: 5 lat: +20,67%; YTD: +7,34% (rys. 8)



Rys. 8. Notowania funduszu ETF Global X Robotics & AI ETF (BOTZ.US) za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

Stopa zwrotu: 5 lat: +35,42%; YTD: +19,04% (rys. 9)



Rys. 9. Notowania funduszu ETF Global Robotics & Automation ETF (ROBO.US) za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

- **Global X AI & Technology ETF (AIQ, NASDAQ)** - śledzi indeks Artificial Intelligence & Big Data; obejmuje także firmy stosujące AI: Meta, Salesforce, Baidu. Silniejszy związek z boomem na generatywną AI [37].

Stopa zwrotu z 5 lat: +118,15%; YTD: +18,76% (rys. 10)



Rys. 10. Notowania funduszu ETF Global X AI & Technology ETF (AIQ.US) za okres 5 lat (źródło: stooq.pl)

- **Themes Humanoid Robotics ETF (BOTT, NASDAQ)** jest przykładem funduszu skoncentrowanego na spółkach powiązanych z robotyką humanoidalną. Ze względu na krótką historię notowań i dużą zmienność sektora jego wyniki wymagają interpretacji z podaniem dokładnego okresu i daty wyceny; proste porównanie z funduszami o dłuższej historii może prowadzić do błędnych wniosków.

Stopa zwrotu w dostępnym okresie notowań i od początku roku zależy od daty pobrania danych rynkowych (rys. 11).



Rys. 11. Notowania funduszu ETF Themes Humanoid Robotics ETF (BOTT.US) za dostępny okres notowań (źródło: stoq.pl)

ETF-y i akcje spółek technologicznych wskazują na oczekiwania rynku kapitałowego wobec rozwoju sztucznej inteligencji i robotyki. Dla polityki rynku pracy kluczowe są jednak potwierdzone zastosowania, wymagane kompetencje i bariery wdrożeniowe, a nie sama dynamika notowań giełdowych.

Perspektywa ogólnopolska i regionalna

Polska ma niższy poziom robotyzacji niż liderzy europejscy i azjatyccy, a wdrażanie AI w przedsiębiorstwach postępuje nierównomiernie. Przyczyny są strukturalne: duży udział MŚP, ograniczenia inwestycyjne, niedobór specjalistów od danych i automatyki, zróżnicowana jakość danych firmowych oraz ostrożność regulacyjna. Dane globalne wymagają konfrontacji z regionalną strukturą branż, kwalifikacjami pracowników i gotowością organizacyjną firm, ponieważ nie można ich automatycznie przenosić na Podkarpacie.

Dane NASK oraz Międzynarodowej Organizacji Pracy dotyczą polskiego rynku pracy i opisują podatność zadań oraz stanowisk pracy w Polsce na oddziaływanie generatywnej sztucznej inteligencji, a nie prognozę automatycznej likwidacji zatrudnienia [3]. Polski Instytut Ekonomiczny (PIE) szacuje z kolei, że około 3,68 mln osób w Polsce pracuje w 20 grupach zawodów najbardziej wystawionych na wpływ sztucznej inteligencji [17]. Dane te wskazują na istotną skalę możliwych zmian w strukturze zadań, ale nie przesądzają o automatycznym zastępowaniu pracowników przez AI. Restrukturyzacje w firmach technologicznych potwierdzają, że przedsiębiorstwa przesuwają część inwestycji i zasobów w kierunku AI, automatyzacji i cyberbezpieczeństwa. Nie oznacza to jednak prostego związku przyczynowego między wdrożeniem AI a redukcją zatrudnienia w każdej organizacji. Najbardziej uzasadniony wniosek dotyczy zmiany struktury pracy: część zadań rutynowych może być automatyzowana lub wspierana przez AI, natomiast rośnie znaczenie kompetencji związanych z nadzorem nad systemami, weryfikacją wyników, odpowiedzialnością procesową, pracą z danymi i bezpieczeństwem.

Województwo podkarpackie jest regionem o silnym profilu przemysłowym, w dużej mierze dzięki koncentracji przedsiębiorstw przemysłu lotniczego, ich dostawców, ośrodków badawczo-rozwojowych oraz zaplecza edukacyjno-szkoleniowego skupionych wokół klastra Dolina Lotnicza. Według danych publikowanych przez Stowarzyszenie Dolina Lotnicza klastr obejmuje około 35 tys. pracowników, 212 członków i sprzedaż rzędu 3,5 mld euro [28]. Dla przemysłu lotniczego kluczowe znaczenie mają jakość, certyfikacja, identyfikowalność procesu, bezpieczeństwo i niezawodność. Wysokie wymagania jakościowe i regulacyjne mogą spowalniać część wdrożeń sztucznej inteligencji i robotyki, ale jednocześnie zwiększają zapotrzebowanie na kompetencje wyższego poziomu: kontrolę jakości wspieraną AI, analizę danych procesowych, cyberbezpieczeństwo przemysłowe, utrzymanie robotów, walidację modeli oraz audytowalność decyzji.

Aktualny stan rozwoju robotyki humanoidalnej i główne trendy

Czym jest robot humanoidalny i czym różni się od dotychczasowych robotów

Robot humanoidalny to maszyna zbudowana na wzór ludzkiego ciała - z tułowiem, dwiema rękami i zdolnością do poruszania się w przestrzeni zaprojektowanej dla człowieka. Odróżnia go to od dotychczasowych robotów przemysłowych, które są najczęściej nieruchomymi ramionami mocowanymi na podłodze i zaprogramowanymi do jednego konkretnego ruchu. Kluczową potencjalną przewagą ekonomiczną robota humanoidalnego jest możliwość działania w miejscach zaprojektowanych dla ludzi - korzystanie z tych samych narzędzi, poruszanie się tymi samymi korytarzami, praca na tych samych stanowiskach - bez konieczności przebudowy hali produkcyjnej. Przewaga ta jest na razie potencjalna, a nie potwierdzona w skali przemysłowej.

Dojrzałość technologiczna robotów humanoidalnych jest zróżnicowana i nie powinna być oceniana jedną wartością dla całej kategorii urządzeń. Skala gotowości technologicznej (Technology Readiness Level, TRL) obejmuje poziomy od 1 do 9. Poziom TRL 7 oznacza demonstrację prototypu systemu w warunkach operacyjnych, natomiast poziom TRL 9 oznacza rozwiązanie sprawdzone w rzeczywistych warunkach pracy i stosowane rutynowo. Publicznie opisane pilotaże przemysłowe robotów humanoidalnych, takie jak testy w zakładach motoryzacyjnych i logistycznych, wskazują, że wybrane zastosowania osiągają poziom zbliżony do TRL 7: robot działa w rzeczywistym środowisku produkcyjnym, ale wykonuje wąski zakres zadań, zwykle w kontrolowanych warunkach i pod nadzorem. Nie oznacza to jeszcze pełnej dojrzałości całej klasy robotów humanoidalnych do masowej, rutynowej pracy bez intensywnego monitoringu. W szczególności precyzyjna manipulacja, autonomia w zmiennym otoczeniu, niezawodność długoterminowa, bezpieczeństwo pracy obok ludzi oraz odpowiedzialność prawna pozostają obszarami wymagającymi dalszej weryfikacji. Roboty humanoidalne jako klasa rozwiązań nie osiągnęły jeszcze poziomu TRL 9 w zastosowaniach przemysłowych.

Różnica między cobotem a humanoidem jest kluczowa dla biznesu. Coboty są narzędziami dojrzałymi, tańszymi i dostępnymi w praktyce. Humanoid ma sens ekonomiczny tylko wtedy, gdy potrafi wykonać zadania w środowisku zaprojektowanym dla człowieka bez kosztownej przebudowy stanowiska. Dlatego humanoid konkuruje przede wszystkim z cobotem, manipulatorem, systemem wizyjnym, przenośnikiem, automatycznym wózkiem transportowym (Automated Guided Vehicle, AGV), autonomicznym robotem mobilnym (Autonomous Mobile Robot, AMR) i reorganizacją procesu - nie tylko z pracownikiem.

Na początku 2026 roku dostępnych komercyjnie lub w ramach pilotaży jest dwanaście platform humanoidalnych, podczas gdy w 2024 roku były trzy [44]. To szybki wzrost, lecz wciąż mowa o urządzeniach na wczesnym etapie dojrzałości technologicznej. Warto odróżnić dostępność od dojrzałości - większość z tych platform jest na etapie wczesnych pilotaży lub demonstracji.

Obecnie najlepiej udokumentowane zastosowania humanoidów dotyczą zadań powtarzalnych, dobrze zdefiniowanych i wykonywanych w kontrolowanym środowisku: przenoszenia pojemników, ładowania elementów, obsługi prostych materiałów i logistyki wewnętrznej. Pilotaż Figure 02 w BMW Spartanburg jest przykładem takiego zastosowania, ale nie dowodzi uniwersalnej zdolności humanoidów do zastępowania pracowników produkcyjnych. Precyzyjna manipulacja drobnymi elementami, praca z delikatnymi materiałami, diagnostyka w zmiennych warunkach i zadania wymagające odpowiedzialności technicznej nadal pozostają domeną człowieka albo wyspecjalizowanych maszyn.

Generalizacja uczenia się stanowi drugi fundamentalny problem - robot wytrenowany w jednym środowisku nie potrafi automatycznie działać w innym. Każde nowe wdrożenie wymaga czasu i specyficznych danych treningowych. Firmy takie jak Skild AI pracują nad rozwiązaniem tego problemu poprzez modele fundacyjne zdolne sterować dowolnym robotem bez osobnego trenowania dla każdej platformy [15]. Oprogramowanie sterujące w czasie rzeczywistym stanowi kolejną barierę. Robot nie może czekać na odpowiedź z serwera - decyzje musi podejmować lokalnie w ułamku sekundy. Obecne oprogramowanie do sterowania robotami jest mocno sfragmentowane: różni producenci chipów mają niekompatybilne architektury, co spowalnia wdrożenia bardziej niż ograniczenia sprzętowe [43].

Ekosystem startupów i inwestycji korporacyjnych na rynku humanoidów

Finansowanie startupów humanoidalnych jest ważnym sygnałem rynkowym, ale jego interpretacja wymaga ostrożności. Wartości rund inwestycyjnych i wycen firm zależą od metodologii źródeł, sposobu klasyfikowania transakcji oraz daty zamknięcia analizy. Rynek jest silnie skoncentrowany, ponieważ największe rundy finansowania trafiają do niewielkiej liczby podmiotów. Wysokie wyceny tych firm odzwierciedlają głównie oczekiwania inwestorów dotyczące przyszłego popytu na roboty humanoidalne, a nie potwierdzoną rentowność, dojrzałość technologiczną ani powszechne wdrożenia przemysłowe. Dane kapitałowe są więc wskaźnikiem kierunku rozwoju rynku, a nie dowodem masowej adopcji technologii.

1. **Figure AI** jest jednym z najlepiej rozpoznawalnych startupów humanoidalnych. Jej pilotaż z BMW Spartanburg jest ważnym dowodem praktycznym, natomiast wyceny i deklarowane modele biznesowe pozostają sygnałem oczekiwań inwestorów, a nie dowodem dojrzałości rynku.
2. **Skild AI** rozwija modele sterowania robotami różnych morfologii. Jest to ważny kierunek badawczo-inwestycyjny, ale sam poziom finansowania nie potwierdza jeszcze przemysłowej niezawodności technologii.
3. **Apptronik** zebrała około 935 milionów dolarów, przy wycenie szacowanej na około 5 miliardów dolarów [41]. Physical Intelligence skupia się wyłącznie na modelach AI do manipulacji - seria modeli pi0, pi0.5 i pi0.6 - bez produkcji własnego sprzętu [41].

4. **NEURA Robotics** pozyskała 120 milionów euro od Lingotto Investment Management, BlueCrest Capital i Volvo Cars Tech Fund [41]. Pokazuje to, że europejski ekosystem startupów humanoidalnych jest na wyraźnie wcześniejszym etapie niż amerykański i chiński.
5. **AgiBot**, chiński producent wspierany przez Tencent, BYD i LG Electronics, planuje debiut giełdowy w Hongkongu w 2026 roku z docelową wyceną negocjacyjną w przedziale 5-6,4 miliarda dolarów [40, 42].
6. **Unitree Robotics** jest ważnym chińskim producentem robotów koczających i humanoidalnych, a jego platformy o relatywnie niskich kosztach wzmacniają presję cenową na rynek. Informacje o rentowności, przychodach i dostawach pochodzą głównie z prospektów, komunikatów i źródeł chińskich, dlatego wymagają ostrożnej interpretacji, zwłaszcza przy porównywaniu z firmami zachodnimi skupionymi na segmencie przemysłowym.

Główne trendy i bariery

Na podstawie analizy literatury naukowej, raportów branżowych i danych o finansowaniu można zidentyfikować kilka trendów kształtujących kierunek sektora. Każdy jest oceniany według trzech kryteriów: potwierdzenia naukowego, potwierdzenia kapitałowego oraz istnienia wdrożeń na poziomie TRL 7 lub wyższym.

1. Koszty humanoidów prawdopodobnie spadają, ale analiza ekonomiczna wymaga rozróżnienia kosztu materiałowego, ceny zakupu, kosztu integracji i całkowitego kosztu posiadania. Goldman Sachs wskazywał spadek kosztów materiałowych i szacował rynek na 38 mld USD do 2035 roku [11], a Bank of America Institute wskazywał możliwy spadek kosztu materiałowego z około 35 000 USD w 2025 roku do 13 000-17 000 USD w kolejnej dekadzie [12]. Nie oznacza to, że przedsiębiorstwo będzie mogło wdrożyć humanoida za taką kwotę.
2. Motoryzacja jest jednym z głównych wczesnych odbiorców humanoidów, ponieważ ma powtarzalne procesy, wysoką skalę, kapitał inwestycyjny i doświadczenie w automatyzacji. Przykłady BMW, Toyota Canada i deklaracje Tesli pokazują kierunek trendu. Dla Podkarpacia istotne jest to pośrednio: firmy kooperujące z automotive i lotnictwem mogą szybciej odczuć wymagania dotyczące automatyzacji, jakości danych, śledzenia procesów i kompetencji mechatronicznych.
3. Chiny są jednym z głównych centrów robotyki przemysłowej i humanoidalnej, ale dane o dostawach humanoidów mają niższą porównywalność niż statystyki IFR dotyczące robotów przemysłowych. IFR potwierdza dominację Chin w instalacjach robotów przemysłowych w 2024 roku [4]. Dane o humanoidach pochodzą jednak często z raportów branżowych, prognoz lub komunikatów firmowych, dlatego są raczej sygnałem rynkowym niż twardą statystyką porównywalną z danymi IFR o robotach przemysłowych.
4. Coboty i klasyczne roboty przemysłowe pozostają dziś rozwiązaniem znacznie bardziej dojrzałym niż humanoidy. Nawet przy szybkim wzroście rynku humanoidów punkt startowy jest niski. Dla większości standardowych zadań produkcyjnych w horyzoncie najbliższych lat bardziej racjonalne ekonomicznie będą: cobot, manipulator, system wizyjny, autonomiczny wózek mobilny albo automatyzacja procesu, a nie robot humanoidalny.

5. Precyzyjna manipulacja, bezpieczeństwo i odpowiedzialność prawna pozostają barierami strukturalnymi. Normy dla robotów przemysłowych i współpracujących, takie jak ISO 10218 oraz ISO/TS 15066, nie rozwiązują w pełni problemu mobilnych humanoidów pracujących swobodnie wśród ludzi. Unijne rozporządzenie o maszynach 2023/1230 będzie stosowane od 20 stycznia 2027 roku, a unijny akt o sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence Act, AI Act) wszedł w życie 1 sierpnia 2024 roku i zasadniczo będzie stosowany od 2 sierpnia 2026 roku, z wyjątkami [18, 19]. Wynika stąd, że Europa może wdrażać humanoidy wolniej niż USA i Chiny, ale będzie wymagała większej audytowalności, bezpieczeństwa i zgodności regulacyjnej.
6. Barierą wdrożeniową jest nie tylko technologia, lecz także gotowość organizacyjna: jakość danych, opis procesów, cyberbezpieczeństwo, odpowiedzialność za decyzje, szkolenia pracowników i procedury awaryjne. W przypadku humanoidów szczególnie brakuje publicznych danych o całkowitym koszcie posiadania, średnim czasie między awariami, kosztach integracji, wpływie na przestoje i kosztach certyfikacji. Bez tych danych nie można rzetelnie ocenić opłacalności wdrożeń w małych i średnich przedsiębiorstwach.
7. Wdrożenie robotów przemysłowych, robotów współpracujących, czyli cobotów, oraz robotów humanoidalnych zmienia podział zadań między człowiekiem, maszyną i systemem informatycznym. Największe zmiany dotyczą nie tyle całych zawodów, ile konkretnych czynności: obsługi stanowiska, kontroli jakości, transportu wewnętrznego, przebrojeń, diagnostyki, monitorowania procesu i reagowania na błędy. Wpływ robotyki na produktywność zależy od rodzaju procesu, poziomu standaryzacji pracy, jakości integracji technologii, przygotowania pracowników, niezawodności urządzeń, organizacji serwisu oraz sposobu pomiaru efektów. Nie ma jednego uniwersalnego wskaźnika wzrostu wydajności, który można bezpiecznie przenieść na wszystkie branże i przedsiębiorstwa.

Najpewniejszy wniosek dla rynku pracy jest następujący: robotyzacja zwiększa znaczenie kompetencji techniczno-organizacyjnych. Rośnie zapotrzebowanie na obsługę interfejsów człowiek-robot, podstawy programowania i konfiguracji urządzeń, diagnostykę błędów, rozumienie zasad bezpieczeństwa, analizę danych z procesu, planowanie pracy w zmiennym otoczeniu oraz podejmowanie decyzji w sytuacjach awaryjnych lub nietypowych. Pracownik nie tylko wykonuje czynność produkcyjną, lecz coraz częściej nadzoruje system, interpretuje jego komunikaty, reaguje na zatrzymania i współpracuje z automatykami, utrzymaniem ruchu oraz działem jakości.

Startupy oraz projekty dużych firm i korporacyjnych funduszy technologicznych

Modele podstawowe i infrastruktura danych w sektorze sztucznej inteligencji

Rok 2025 był bardzo silny kapitałowo dla sektora sztucznej inteligencji. Według Crunchbase finansowanie firm AI przez kapitał wysokiego ryzyka osiągnęło około 211 mld USD, co oznaczało wzrost o 85% wobec 114 mld USD w 2024 roku i około połowę globalnego finansowania VC, szacowanego przez Crunchbase na 425 mld USD

[13]. Finansowanie to jest przede wszystkim sygnałem oczekiwań inwestorów oraz koncentracji kapitału w sektorze AI. Nie stanowi ono bezpośredniego dowodu natychmiastowego wpływu na lokalne zatrudnienie ani na produktywność przedsiębiorstw. Szczególnie dużo kapitału trafia do firm rozwijających modele podstawowe oraz infrastrukturę danych i obliczeń, ponieważ od tych elementów zależy późniejsze tworzenie aplikacji sektorowych.

Firmy rozwijające wielkie modele podstawowe

Jednym z głównych kierunków finansowania w sektorze AI są firmy rozwijające wielkie modele podstawowe (foundation models), czyli modele trenowane na bardzo dużych zbiorach danych i wykorzystywane później w wielu zastosowaniach: od narzędzi biurowych, przez programowanie, analizę dokumentów i obsługę klienta, po rozwiązania dla przemysłu, medycyny, edukacji i administracji. Znaczenie tych firm wynika nie tylko z wartości pozyskanego kapitału, lecz także z tego, że ich modele oraz interfejsy programowania aplikacji (Application Programming Interfaces, API) stają się warstwą technologiczną, na której inne organizacje budują własne narzędzia.

- **OpenAI** ogłosiła 31 marca 2025 roku finansowanie w wysokości 40 mld USD przy wycenie PMV wynoszącej 300 mld USD. Finansowanie było prowadzone z udziałem SoftBanku i miało zostać przeznaczone m.in. na rozwój badań nad AI, rozbudowę infrastruktury obliczeniowej oraz dostarczanie narzędzi użytkownikom i firmom [20]. Znaczenie OpenAI dla rynku pracy nie wynika wyłącznie z wyceny spółki. Ważniejszy jest wpływ narzędzi generatywnych na sposób wykonywania zadań biurowych, programistycznych, analitycznych, edukacyjnych i komunikacyjnych. W praktyce zmieniają się czynności takie jak: przygotowywanie tekstów, streszczanie dokumentów, tworzenie kodu, analiza danych, generowanie wariantów decyzji oraz obsługa zapytań.
- **Anthropic** ogłosił 2 września 2025 roku rundę finansowania serii F (Series F) w wysokości 13 mld USD przy wycenie po rundzie wynoszącej 183 mld USD [21]. Firma rozwija rodzinę modeli Claude i akcentuje bezpieczeństwo, kontrolowalność oraz zastosowania przedsiębiorstwowe. Dla rynku pracy istotne jest to, że tego typu modele są kierowane nie tylko do użytkowników indywidualnych, lecz także do organizacji wdrażających AI w procesach wymagających nadzoru, ochrony danych i kontroli jakości. W sektorach regulowanych, takich jak finanse, administracja, medycyna i przemysł wysokiej niezawodności, szczególnego znaczenia nabierają: ocena jakości odpowiedzi modelu, ochrona danych, rejestrowanie decyzji, możliwość audytu oraz zachowanie odpowiedzialności człowieka za wynik procesu.
- **xAI** jest przykładem firmy rozwijającej własne modele AI oraz infrastrukturę obliczeniową dla systemów konwersacyjnych i analitycznych. W styczniu 2026 roku xAI ogłosiła pozyskanie 20 mld USD w rundzie finansowania serii E (Series E), wskazując, że środki mają wspierać rozwój infrastruktury obliczeniowej, dużych klastrów procesorów graficznych (GPU) oraz modeli z rodziny Grok [29]. Przykład xAI pokazuje, że konkurencja między dostawcami modeli podstawowych zwiększa popyt nie tylko na specjalistów od uczenia maszynowego, lecz także na centra danych, moc obliczeniową, energię, cyberbezpieczeństwo, integrację systemów i zarządzanie infrastrukturą techniczną.
- **Databricks** reprezentuje drugi ważny element ekosystemu AI: infrastrukturę danych potrzebną do wdrażania modeli w przedsiębiorstwach. W grudniu 2025 roku spółka poinformowała, że przekroczyła 4,8 mld USD rocznej wartości przychodów liczonej w ujęciu bieżącego tempa (revenue run-rate) i rozpoczęła pozyskiwanie ponad 4 mld USD w rundzie finansowania serii L (Series L) przy wycenie 134 mld USD [30]. Przykład Databricks pokazuje, że skuteczne zastosowanie AI w firmach wymaga nie tylko

dostępu do modelu, lecz także uporządkowanych danych, integracji z systemami informatycznymi, mocy obliczeniowej, cyberbezpieczeństwa, monitorowania jakości działania modeli oraz procedur odpowiedzialności za wyniki. Bez tych elementów AI pozostaje narzędziem eksperymentalnym, a nie stabilnym rozwiązaniem operacyjnym.

Wynika stąd, że największe rundy finansowania w sektorze AI koncentrują się wokół dwóch grup firm: dostawców modeli podstawowych oraz dostawców infrastruktury danych i obliczeń. Dla rynku pracy oznacza to przesunięcie zapotrzebowania kompetencyjnego w kierunku pracy z danymi, integracji systemów, nadzoru nad modelami, cyberbezpieczeństwa, oceny jakości wyników AI oraz odpowiedzialnego wykorzystania narzędzi generatywnych w procesach organizacyjnych.

Agentowa AI - pionowe startupy i automatyzacja zadań

Poza sektorem modeli bazowych szybko rośnie kategoria systemów agentowych AI, czyli narzędzi planujących i wykonujących wieloetapowe zadania. Deklarowany poziom adopcji nie jest jednak równoznaczny z produkcyjnym wdrożeniem. W praktyce wiele firm testuje agentów w wybranych procesach, a pełna automatyzacja wymaga integracji z systemami technologii informacyjnych (Information Technology, IT), kontroli jakości, bezpieczeństwa danych i jasno określonej odpowiedzialności człowieka.

- **Cursor (Anysphere)** jest przykładem narzędzia AI dla programistów, które pokazuje przesuwanie pracy programisty w kierunku projektowania, weryfikacji i integracji kodu generowanego przez AI. Dane o przychodach i wycenach mają charakter rynkowy i zmienny. Istotniejszy jest wniosek kompetencyjny: rośnie znaczenie umiejętności specyfikowania problemu, testowania, przeglądu kodu i oceny bezpieczeństwa.
- **Harvey** jest przykładem pionowego zastosowania AI w usługach prawnych. AI wykorzystywana jest do takich zadań, jak analiza dokumentów, wyszukiwanie argumentów, tworzenie projektów pism i przegląd kontraktów. Wymaga to nadzoru eksperta, ponieważ odpowiedzialność prawna pozostaje po stronie człowieka lub organizacji.
- **Sierra Technologies** pokazuje kierunek automatyzacji obsługi klienta i procesów kontaktowych. Firma dostarcza narzędzie ogólne, ale głęboko integrowane z procesami konkretnych organizacji. To zwiększa użyteczność, lecz także zależność klienta od dostawcy i jakość integracji danych.
- **Abridge** rozwija rozwiązania AI dla medycyny, w szczególności narzędzia do automatycznego dokumentowania wizyt lekarskich. Spółka pozyskała 300 mln USD przy wycenie 5,3 mld USD [38].
- **Hippocratic AI** rozwija systemy AI wspierające procesy pracy w ochronie zdrowia i skaluje je w placówkach medycznych w Stanach Zjednoczonych. Shield AI rozwija autonomiczne systemy dla sektora obronności. Spółka jest zaliczana do szybko rosnących prywatnych firm technologicznych o wycenie przekraczającej 1 mld USD, czyli tzw. jednorożców technologicznych, w obszarze technologii obronnych [38, 39].

Fizyczna sztuczna inteligencja (Physical AI) - startupy robotyki i modele fundacyjne robotów

W fizycznej AI kluczowym trendem jest finansowanie modeli i oprogramowania dla robotów, nie tylko samych konstrukcji mechanicznych. Firmy próbują zbudować modele „fundacyjne” (duże modele bazowe AI) dla robotów, które łączą percepcję, język i działanie. Jest to obszar intensywnych inwestycji, ale niezawodność przemysłowa takich modeli jest nadal ograniczona.

- **Physical Intelligence** rozwija modele typu „wizja–język–działanie” (vision-language-action, VLA) dla robotów. Modele z serii $\pi 0$ oraz $\pi 0.5$ łączą percepcję wzrokową, instrukcje językowe i generowanie działań robota. Ich celem jest zwiększenie zdolności robotów do wykonywania złożonych zadań manipulacyjnych w realnym środowisku, w tym zadań wymagających pewnego stopnia generalizacji poza warunkami laboratoryjnymi. Opisane przykłady, takie jak składanie prania, sprząatanie stołu, pakowanie produktów lub wykonywanie zadań domowych w nowych pomieszczeniach, pokazują postęp techniczny w robotyce uczenia maszynowego. Nie są jednak równoważne certyfikowanemu wdrożeniu przemysłowemu w środowisku wymagającym wysokiej niezawodności, powtarzalności, bezpieczeństwa i odpowiedzialności operacyjnej [31].
- **Skild AI** rozwija modele podstawowe dla robotyki, których celem jest sterowanie robotami o różnych konstrukcjach i przeznaczeniach. Firma określa ten kierunek jako budowę skalowalnego modelu AI dla robotów działających w świecie fizycznym. Wysokie finansowanie Skild AI potwierdza zainteresowanie inwestorów tym obszarem, ale nie stanowi jeszcze dowodu szerokiego wdrożenia przemysłowego. Jeżeli modele tego typu osiągną niezawodność produkcyjną, mogą zmniejszyć koszt programowania i adaptacji robotów do nowych zadań. Na obecnym etapie jest to przede wszystkim ważny kierunek rozwoju robotyki, a nie dojrzały standard przemysłowy [32].
- **Figure AI** jest jednym z najlepiej udokumentowanych przykładów pilotażu robota humanoidalnego w produkcji motoryzacyjnej. Robot Figure 02 pracował w zakładzie BMW Group w Spartanburgu w Stanach Zjednoczonych przy zadaniu ładowania i pozycjonowania elementów blaszanych. Według Figure AI robot pracował przez ponad 1 250 godzin, obsłużył ponad 90 000 części i wsparł produkcję ponad 30 000 samochodów BMW X3. Był to pilotaż w rzeczywistym środowisku produkcyjnym, ale dotyczył wąskiego, dobrze określonego zadania [6]. Odrębnym przypadkiem jest robot AEON firmy Hexagon Robotics, testowany przez BMW Group w zakładzie w Lipsku. AEON nie jest następcą Figure 02, lecz inną platformą humanoidalną, rozwijaną przez innego dostawcę [9].
- **Agility Robotics** rozwija robota Digit do zastosowań w logistyce, produkcji i łańcuchach dostaw. W lutym 2026 roku Agility Robotics ogłosiła komercyjną umowę z Toyota Motor Manufacturing Canada po wcześniejszym pilotażu. Robot Digit ma wspierać pracowników w operacjach produkcyjnych, łańcuchu dostaw i logistyce. Jest to ważny przykład przejścia od pilotażu do ograniczonego zastosowania komercyjnego, ale dostępne publicznie informacje nie wskazują na masową skalę wdrożenia. Przypadek ten potwierdza praktyczne zainteresowanie humanoidami w motoryzacji i logistyce, lecz nie stanowi dowodu powszechnej automatyzacji stanowisk manualnych [7].
- **1X Technologies**, norweski startup wspierany m.in. przez OpenAI, ogłosił sprzedaż robota konsumenckiego Neo w cenie 20 000 USD z planowaną dostawą w 2026 roku. Jest to próba komercjalizacji humanoidów w przestrzeni domowej, lecz dostawa na szeroką skalę pozostaje deklaracją producenta [32].

Projekty dużych firm - gotowe rozwiązania AI w skali

Obok startupów bardzo istotnym kanałem adopcji AI są duże platformy technologiczne, ponieważ trafiają do codziennych narzędzi pracy: poczty, edytorów tekstu, arkuszy kalkulacyjnych, komunikatorów, narzędzi programistycznych oraz systemów zarządzania relacjami z klientami (Customer Relationship Management, CRM). Są to wdrożenia produkcyjne w sensie dostępności narzędzi, ale nie zawsze w sensie głębokiej zmiany procesów organizacji.

- **Microsoft Copilot** jest zintegrowany z ekosystemem Microsoft 365, a Microsoft zapowiedział inwestycje około 80 mld USD w roku fiskalnym 2025 w centra danych umożliwiające trenowanie i uruchamianie modeli AI [22]. Dla polskich firm oznacza to niską barierę dostępu do AI w pracy biurowej. Nie oznacza to jednak automatycznego wzrostu produktywności: efekt zależy od jakości danych, organizacji procesu, zasad bezpieczeństwa, szkoleń i nadzoru nad wynikami generowanymi przez AI.
- **Azure OpenAI Service** łączy modele z infrastrukturą chmurową Microsoftu i systemami firmowymi. Dla biznesu kluczowa jest nie sama dostępność modelu, lecz jego integracja z danymi, procesem, bezpieczeństwem i odpowiedzialnością organizacyjną.
- **Google Gemini 2.5** jest przykładem modelu multimodalnego z długim oknem kontekstowym; dokumentacja Google wskazuje zastosowania modeli z oknami kontekstowymi rzędu 1 mln tokenów i więcej [27]. Dla firm praktyczne znaczenie ma możliwość analizy długich dokumentów, kodu, nagrań i danych projektowych, ale wynik nadal wymaga kontroli jakości i odpowiedzialności człowieka.
- **Meta AI** osiągnęła około 1 mld aktywnych użytkowników miesięcznie w 2025 roku [23]. Modele otwarte i półotwarte Meta/Llama są istotne dla firm, które chcą wdrażać AI lokalnie lub ograniczać zależność od zamkniętych interfejsów programistycznych (Application Programming Interfaces, API). Nie oznacza to jednak braku kosztów: lokalne wdrożenia wymagają infrastruktury, kompetencji, aktualizacji, bezpieczeństwa i testów jakości.

Ekosystem europejski i polski - budowanie suwerenności AI

Europa ma słabszą pozycję kapitałową w sektorze sztucznej inteligencji niż Stany Zjednoczone, ale większy nacisk kładzie na regulacje, prywatność, bezpieczeństwo danych i suwerenność technologiczną. Akt o sztucznej inteligencji (Artificial Intelligence Act, AI Act) oraz ogólne rozporządzenie o ochronie danych (General Data Protection Regulation, GDPR; w Polsce: RODO) zwiększają wymagania dla wdrożeń AI, zwłaszcza w sektorach regulowanych i w zastosowaniach wysokiego ryzyka [18, 33]. Jednocześnie wzmacniają znaczenie rozwiązań audytowalnych, zgodnych z prawem, możliwych do nadzorowania przez człowieka i odpornych na niekontrolowany transfer danych poza organizację. W tym kontekście suwerenność technologiczna oznacza zdolność państw, firm i instytucji publicznych do kontroli nad danymi, infrastrukturą obliczeniową, modelami, cyberbezpieczeństwem oraz zależnością od dostawców spoza Europy.

Polski i europejski ekosystem AI rozwija się szybciej niż w poprzednich latach, choć nadal pozostaje mniejszy kapitałowo niż rynek amerykański. W Polsce rośnie liczba firm wykorzystujących AI w produktach, usługach cyfrowych, automatyzacji procesów, analizie danych, cyberbezpieczeństwie, edukacji, mediach i rozwiązaniach głosowych. Znaczenie tego trendu dla rynku pracy polega nie tylko na tworzeniu nowych startupów, ale

również na wzroście zapotrzebowania na kompetencje związane z danymi, integracją systemów, bezpieczeństwem, walidacją modeli, projektowaniem procesów i odpowiedzialnym wdrażaniem AI.

- **Mistral AI** ogłosił we wrześniu 2025 roku rundę finansowania serii C (Series C) w wysokości 1,7 mld euro (EUR) przy wycenie PMV wynoszącej 11,7 mld EUR. Rundę prowadziła spółka ASML, jeden z najważniejszych europejskich dostawców technologii dla przemysłu półprzewodnikowego [24]. Mistral AI jest jednym z najważniejszych europejskich dostawców modeli AI i wzmacnia europejską zdolność do budowy własnych rozwiązań modelowych. Jego znaczenie wykracza poza same modele językowe, ponieważ europejska suwerenność technologiczna zależy również od centrów danych, półprzewodników, danych sektorowych, kompetencji wdrożeniowych, cyberbezpieczeństwa, regulacji oraz zdolności firm do integrowania AI z procesami biznesowymi.
- **Aleph Alpha** jest niemiecką firmą AI rozwijającą rozwiązania dla organizacji wymagających kontroli, transparentności i zgodności regulacyjnej. Firma zebrała znaczące finansowanie w 2023 roku, a w latach 2024-2025 przesunęła akcent z samego trenowania dużych modeli językowych na rozwiązania wdrożeniowe dla przedsiębiorstw i administracji. Przykładem jest Pharia - platforma umożliwiająca wykorzystanie modeli AI w procesach organizacyjnych, z naciskiem na kontrolę, zgodność i zastosowania instytucjonalne. Znaczenie Aleph Alpha dla rynku europejskiego polega na wzmacnianiu kompetencji wdrożeniowych i regulacyjnych, a nie na rywalizacji skalą obliczeniową z największymi firmami amerykańskimi.
- **Bielik** to polski otwartoźródłowy model językowy rozwijany przez społeczność SpeakLeash. Jego znaczenie polega na budowie kompetencji językowych dla języka polskiego oraz na tworzeniu lokalnej alternatywy dla części zastosowań edukacyjnych, badawczych i organizacyjnych. Bielik nie konkuruje skalą finansowania, wielkością infrastruktury obliczeniowej ani globalną dystrybucją z modelami OpenAI, Anthropic czy Google. Może jednak mieć znaczenie dla organizacji, które potrzebują pracy na języku polskim, lokalnej kontroli nad wdrożeniem, możliwości testowania modeli otwartych oraz rozwoju krajowych kompetencji w obszarze AI.
- **ElevenLabs**, spółka założona przez polskich przedsiębiorców, jest jednym z najbardziej rozpoznawalnych startupów AI w obszarze syntezy mowy, klonowania głosu i dubbingu. W styczniu 2025 roku firma ogłosiła rundę finansowania serii C (Series C) w wysokości 180 mln USD przy wycenie 3,3 mld USD [25]. Rozwiązania tego typu mogą zmieniać zadania w obsłudze klienta, edukacji, mediach, tłumaczeniach, lokalizacji treści, dostępności cyfrowej oraz produkcji materiałów audio-wideo. Znaczenie ElevenLabs dla polskiego ekosystemu polega na pokazaniu, że firmy założone przez polskich twórców mogą osiągać globalną skalę w wyspecjalizowanych segmentach AI.

Z powyższego wynika, że europejski i polski ekosystem AI rozwija się w warunkach mniejszej skali kapitałowej niż w Stanach Zjednoczonych, ale z silniejszym naciskiem na zgodność regulacyjną, prywatność, bezpieczeństwo danych i kontrolę nad wdrożeniami. Dla rynku pracy oznacza to wzrost znaczenia kompetencji związanych z wdrażaniem AI w organizacjach: przygotowaniem danych, integracją systemów, cyberbezpieczeństwem, oceną jakości modeli, audytem decyzji, zarządzaniem ryzykiem i odpowiedzialnym wykorzystaniem narzędzi AI.

Jak zmienia się praca pod wpływem sztucznej inteligencji, robotyki i robotów humanoidalnych

Raport Światowego Forum Ekonomicznego (World Economic Forum, WEF) „Future of Jobs 2025”, oparty na badaniu ponad 1 000 globalnych pracodawców, wskazuje, że do 2030 roku na świecie może powstać około 170 mln nowych ról zawodowych, a około 92 mln ról może zostać wypartych. Oznacza to szacowane saldo netto na poziomie około 78 mln dodatkowych miejsc pracy [26]. Dane te opisują globalny scenariusz transformacji pracy, a nie prognozę dla województwa podkarpackiego ani prostą prognozę redukcji etatów. Ich znaczenie dla regionu zależy od lokalnej struktury branż, typów stanowisk, wykonywanych zadań, poziomu automatyzacji przedsiębiorstw oraz dostępnych kompetencji pracowników.

W niniejszym opracowaniu wpływ sztucznej inteligencji, robotyki i robotów humanoidalnych analizowany jest na poziomie zadań, a nie całych zawodów. Rola zawodowa jest rozumiana jako zestaw zadań wykonywanych w określonym kontekście organizacyjnym. Zadania różnią się znaczeniem: jedne zajmują dużą część czasu pracy, inne mają kluczowy wpływ na jakość, bezpieczeństwo, odpowiedzialność, kontakt z klientem albo ciągłość procesu. Dlatego profil roli zawodowej wynika nie z prostego zliczenia zadań, lecz z oceny ich znaczenia w codziennej pracy. Zadania kluczowe, powtarzalne lub krytyczne dla procesu mają większy wpływ na ocenę roli niż zadania sporadyczne i pomocnicze.

Ocena roli zawodowej jest przedstawiana w czterech oddzielnych wymiarach: technicznej możliwości automatyzacji, praktycznej możliwości wdrożenia, potencjale wsparcia pracy człowieka przez sztuczną inteligencję (artificial intelligence, AI) oraz zależności zadania od człowieka. Wymiarów tych nie łączy się w jeden prosty wskaźnik, ponieważ każdy z nich odpowiada na inne pytanie decyzyjne. Oddzielna prezentacja wyników pozwala odróżnić zadania, które można technicznie zautomatyzować, od zadań, których automatyzacja jest nieopłacalna, ryzykowna, organizacyjnie trudna albo wymaga nadzoru człowieka. Takie podejście pozwala formułować bardziej użyteczne rekomendacje szkoleniowe, organizacyjne i inwestycyjne.

Mechanizm I: automatyzacja wybranych zadań

Automatyzacja oznacza przejęcie wykonania określonego zadania przez technologię, bez bezpośredniego udziału człowieka w samej czynności. W przypadku sztucznej inteligencji dotyczy to przede wszystkim zadań cyfrowych: klasyfikacji dokumentów, przygotowywania projektów tekstów, analizy danych, obsługi rutynowych zapytań, ekstrakcji informacji z dokumentów oraz porządkowania danych. W przypadku robotyki dotyczy to zadań fizycznych: przenoszenia materiałów, paletyzacji, sortowania, spawania, kontroli wizyjnej, pakowania oraz montażu w powtarzalnych warunkach.

Automatyzacja nie obejmuje zwykle całej roli zawodowej, lecz wybrane zadania wykonywane w jej ramach. W tej samej roli część czynności może zostać przejęta przez AI lub roboty, część może być wspierana przez technologię, a część pozostaje zależna od człowieka ze względu na odpowiedzialność, ocenę sytuacji, relacje społeczne, wiedzę praktyczną albo konieczność działania w warunkach niepewności. Oznacza to, że głównym skutkiem automatyzacji jest zmiana struktury pracy, a nie proste zastąpienie całych zawodów.

Mechanizm II: wsparcie pracy człowieka przez sztuczną inteligencję

Wsparcie pracy człowieka przez sztuczną inteligencję oznacza, że pracownik pozostaje odpowiedzialny za wynik, ale wykorzystuje AI do szybszej analizy, przygotowania projektu, wyszukania informacji, wykrycia błędu albo porównania wariantów. Przykłady obejmują: analizę dokumentacji medycznej przez lekarza, przegląd wariantów konstrukcyjnych przez inżyniera, przygotowanie wstępnej analizy kompetencji przez doradcę zawodowego oraz wskazywanie anomalii w danych przez systemy wspierające specjalistę jakości. Ten mechanizm jest szczególnie ważny dla polityki szkoleniowej, ponieważ wymaga krytycznej weryfikacji wyników AI, a nie tylko technicznej obsługi narzędzia.

Mechanizm III: zmiana struktury pracy

Nawet gdy żadne konkretne zadanie nie zostaje zautomatyzowane, wprowadzenie technologii zmienia strukturę pracy - sposób, w jaki zadania są ze sobą powiązane, koordynowane i rozliczane. Pojawia się nowa kategoria zadań: zarządzanie systemami AI, ich monitorowanie, walidacja wyników, korygowanie błędów, interpretowanie wyjścia modeli i odpowiedzialność za decyzje podejmowane na ich podstawie. Mniej jest prostego wykonywania, a więcej kontroli, weryfikacji i odpowiedzialności. Raport McKinsey Global Institute z 2025 roku wskazuje, że zapotrzebowanie na „sprawność w pracy z AI” (AI fluency), czyli zdolność użycia i zarządzania narzędziami AI, wzrosło w ogłoszeniach o pracę w Stanach Zjednoczonych prawie siedmiokrotnie w ciągu dwóch lat do połowy 2025 roku [34]. Rośnie również popyt na kompetencje uzupełniające: zapewnienie jakości, optymalizację procesów, coaching i nauczanie [34, 26].

Zadania fizyczne i fizyczna sztuczna inteligencja: praca obok robota

Wprowadzenie robotów humanoidalnych, cobotów i autonomicznych robotów mobilnych do środowisk produkcyjnych generuje nowe zadania związane z bezpieczeństwem, integracją i nadzorem. Tradycyjny robot przemysłowy zwykle działa w wydzielonej strefie. Cobot jest projektowany do pracy blisko człowieka, ale nadal wymaga oceny ryzyka, procedur bezpieczeństwa i przeszkolenia operatorów. Humanoid dodatkowo wprowadza mobilność, równowagę, kontakt z ludźmi i większą niepewność zachowania, dlatego jego wdrożenie jest organizacyjnie trudniejsze niż wdrożenie klasycznego stanowiska zrobotyzowanego.

Fizyczna sztuczna inteligencja zmienia organizację pracy na kilku poziomach: operator robotów i cobotów łączy wiedzę procesową z obsługą interfejsu; technik utrzymania ruchu rozszerza zakres pracy o diagnostykę czujników, oprogramowania i sieci; planista produkcji uwzględnia ograniczenia robotów, ładowanie, serwis i przestoje; specjalista jakości analizuje dane z systemów wizyjnych i robotycznych; kadra kierownicza musi rozumieć ryzyko, odpowiedzialność i ekonomię wdrożenia.

Wdrożenie robotów humanoidalnych napotyka także bariery, które wykraczają poza koszty i dojrzałość technologiczną:

- **regulacyjne** - brak jednolitych, szczegółowych standardów dla mobilnych humanoidów pracujących swobodnie obok ludzi; AI Act i rozporządzenie maszynowe tworzą ramy prawne, ale praktyka certyfikacji będzie zależeć od konkretnego zastosowania [18, 19],

- **organizacyjne** - opór kulturowy załóg, konieczność przeprojektowania celów pracy i systemów wynagradzania, brak doświadczeń menedżerów w zarządzaniu mieszanymi zespołami ludzko-robotycznymi,
- **techniczne** - ograniczona zręczność, zmienna niezawodność w nieustrukturyzowanych warunkach, potrzeba lokalnego sterowania w czasie rzeczywistym oraz ograniczenia energetyczne zależne od modelu i zadania,
- **prawne** - brak jasnych zasad odpowiedzialności za szkody wyrządzone przez autonomiczne roboty w miejscu pracy.

Fizyczna sztuczna inteligencja a zawody manualne: przypadek elektryków i mechaników

Fizyczna sztuczna inteligencja, czyli połączenie modeli sztucznej inteligencji z robotami działającymi w realnym środowisku, wpływa na zawody manualne inaczej niż na pracę biurową. W przypadku elektryków, mechaników, techników utrzymania ruchu i serwisantów kluczowe pozostają diagnostyka, odpowiedzialność techniczna, ocena ryzyka, praca w zmiennym otoczeniu oraz zdolność do rozwiązywania nietypowych problemów. Są to zadania znacznie trudniejsze do automatyzacji niż proste czynności demonstracyjne, takie jak przenoszenie pojemników, odkładanie części lub obsługa powtarzalnego stanowiska.

Roboty humanoidalne wykonują obecnie głównie proste, powtarzalne zadania manualne w kontrolowanych warunkach. Nie stanowią jeszcze dojrzałego narzędzia do samodzielnej realizacji złożonych prac elektrycznych, mechanicznych i serwisowych, szczególnie tam, gdzie wymagane są decyzje podejmowane na miejscu, interpretacja objawów awarii, praca przy instalacjach, odpowiedzialność za bezpieczeństwo oraz dostosowanie działania do konkretnej sytuacji technicznej.

Dla województwa podkarpackiego oznacza to, że elektrycy, mechanicy, serwisanci i technicy utrzymania ruchu nie są w krótkim okresie główną grupą zagrożoną zastąpieniem przez roboty humanoidalne. Ich znaczenie może natomiast rosnąć, ponieważ automatyzacja zwiększa liczbę systemów wymagających uruchomienia, kalibracji, konserwacji, naprawy, zabezpieczeń cybernetycznych i walidacji. Najważniejszym kierunkiem zmian kompetencyjnych jest łączenie klasycznych umiejętności technicznych z podstawami sztucznej inteligencji, robotyki, diagnostyki danych, cyberbezpieczeństwa przemysłowego i bezpieczeństwa pracy z systemami zautomatyzowanymi.

Zmiana kompetencji

Transformacja pracy prowadzi do zmiany profili kompetencyjnych pracowników. Rośnie znaczenie umiejętności korzystania z narzędzi sztucznej inteligencji, krytycznej weryfikacji wyników generowanych przez systemy, obsługi robotów i systemów zautomatyzowanych, cyberbezpieczeństwa, analizy danych, odpowiedzialności za przebieg procesu oraz komunikacji z klientem i zespołem. Jednocześnie automatyzacja części rutynowych czynności może ograniczać praktyczne wykorzystywanie niektórych podstawowych umiejętności. Z tego powodu ważne staje się takie projektowanie pracy i szkoleń, aby pracownik nie tylko akceptował wyniki systemu, lecz także rozumiał ich ograniczenia, potrafił je zweryfikować i przejąć odpowiedzialność w sytuacjach nietypowych.

Kompetencje, których znaczenie rośnie:

- umiejętność pracy z narzędziami AI i ich weryfikacji (sprawność w pracy z AI),
- krytyczna ocena wyników systemów sztucznej inteligencji i wykrywanie błędów,
- zarządzanie procesami i odpowiedzialność za systemy zautomatyzowane,
- umiejętności interpersonalne: coaching, negocjacje, praca zespołowa w zmiennych warunkach,
- zapewnienie jakości i optymalizacja procesów,
- umiejętności manualne o wysokiej złożoności: elektryka, opieka pielęgniarstwa, obsługa złożonych maszyn,
- obsługa, diagnostyka, serwis i integracja systemów robotycznych.

Kompetencje narażone na zanik części umiejętności wskutek automatyzacji:

- wyspecjalizowane umiejętności jednorodne: np. standardowe księgowanie, podstawowe kodowanie w powtarzalnych schematach,
- przetwarzanie rutynowych dokumentów i wypełnianie formularzy,
- prosta klasyfikacja i kategoryzacja danych,
- proste, powtarzalne czynności manualne w strukturyzowanych środowiskach produkcyjnych.

Wniosek końcowy

Wpływ sztucznej inteligencji, robotyki i robotów humanoidalnych na rynek pracy ujawnia się przede wszystkim na poziomie zadań, a dopiero wtórnie na poziomie całych ról zawodowych. Ta sama rola może zawierać zadania podatne na automatyzację, zadania możliwe do wsparcia przez technologię oraz zadania silnie zależne od człowieka: jego odpowiedzialności, oceny sytuacji, doświadczenia praktycznego, kontaktu z klientem lub zdolności działania w warunkach niepewności.

Dostępne dane nie uzasadniają wniosku o natychmiastowej, masowej likwidacji stanowisk pracy w Polsce lub w województwie podkarpackim pod wpływem sztucznej inteligencji i robotyki. Bardziej prawdopodobnym i już obserwowanym kierunkiem jest zmiana struktury pracy: ograniczanie części rutynowego przetwarzania informacji i powtarzalnych czynności manualnych oraz wzrost znaczenia nadzoru nad systemami, weryfikacji wyników, pracy z danymi, cyberbezpieczeństwa, integracji narzędzi cyfrowych, kontroli jakości i odpowiedzialności za przebieg procesu.

Dla województwa podkarpackiego największe znaczenie praktyczne w krótkim i średnim horyzoncie mają technologie już dostępne wdrożeniowo: narzędzia sztucznej inteligencji wspierające pracę biurową, analityczną i inżynierską, systemy wizyjne, automatyzacja kontroli jakości, roboty przemysłowe, roboty współpracujące oraz rozwiązania do analizy danych procesowych. Roboty humanoidalne pozostają ważnym sygnałem strategicznym oraz obszarem, w którym wybrane firmy z województwa podkarpackiego mogą pełnić rolę pionierów. Nie jest to jednak jeszcze technologia masowa dla większości przedsiębiorstw regionu. W krótkim okresie uzasadnione są selektywne pilotaże w firmach o wysokiej gotowości organizacyjnej, przy

równoległym rozwijaniu kompetencji związanych z AI, systemami wizyjnymi, robotami przemysłowymi, cobotami oraz przyszłą współpracą człowieka z robotem humanoidalnym.

Najważniejszy wniosek dla polityki rynku pracy jest następujący: działania szkoleniowe i doradcze koncentrują się na kompetencjach umożliwiających współpracę człowieka z technologią. Obejmuje to korzystanie z narzędzi sztucznej inteligencji, krytyczną ocenę wyników generowanych przez systemy, podstawy analizy danych, obsługę i nadzór nad systemami zautomatyzowanymi, cyberbezpieczeństwo, kontrolę jakości, diagnostykę oraz rozumienie odpowiedzialności człowieka w procesach wspieranych przez technologię.

Bibliografia

- [1] Stanford HAI. Artificial Intelligence Index Report 2025. Stanford University, 2025. Dostęp: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>
- [2] OpenAI. The State of Enterprise AI 2025. OpenAI, 2025. Dostęp: <https://openai.com/business/guides-and-resources/the-state-of-enterprise-ai-2025-report/>
- [3] NASK – Państwowy Instytut Badawczy / ILO. Generatywna sztuczna inteligencja a polski rynek pracy. Warszawa, czerwiec 2025. Dostęp: <https://www.nask.pl/media/2025/06/Generatywna-sztuczna-inteligencja-a-polski-rynek-pracy.pdf>
- [4] International Federation of Robotics (IFR). World Robotics 2025 – Industrial Robots. Frankfurt, 2025. Dostęp: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/global-robot-demand-in-factories-doubles-over-10-years>
- [5] NVIDIA Corporation. What is Physical AI? NVIDIA Glossary, 2025. Dostęp: <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/generative-physical-ai/>
- [6] Figure AI. F.02 Contributed to the Production of 30,000 Cars at BMW. Figure AI News, 19 listopada 2025. Dostęp: <https://www.figure.ai/news/production-at-bmw>
- [7] Agility Robotics / BusinessWire. Agility Robotics Announces Commercial Agreement with Toyota Motor Manufacturing Canada. BusinessWire, luty 2026. Dostęp: <https://www.agilityrobotics.com/content/agility-robotics-announces-commercial-agreement-with-toyota-motor-manufacturing-canada>
- [8] Tesla, Inc. Q1 2026 Update. Tesla Investor Relations, kwiecień 2026. Dostęp: <https://assets-ir.tesla.com/tesla-contents/IR/TSLA-Q1-2026-Update.pdf>
- [9] BMW Group. BMW Group to deploy humanoid robots in production in Germany for the first time. BMW Group Press, 27 lutego 2026. Dostęp: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0455864EN/>
- [10] XPeng Motors. XPENG AI Day 2025 – VLA 2.0, Robotaxi and Next-Gen IRON. XPeng, 2025. Dostęp: <https://www.xpeng.com/news/019a56f54fe99a2a0a8d8a0282e402b7>
- [11] Goldman Sachs Research. The Global Market for Humanoid Robots Could Reach \$38 Billion by 2035. Goldman Sachs, 2024. Dostęp: <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/the-global-market-for-robots-could-reach-38-billion-by-2035>
- [12] Deloitte Insights. Physical AI and Humanoid Robots. Tech Trends 2026. Deloitte, 2026. Dostęp: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/technology-management/tech-trends/2026/physical-ai-humanoid-robots.html>
- [13] Crunchbase News. Global Venture Funding In 2025 Surged As Startup Deals And Valuations Set All-Time Records. Crunchbase, 2026. Dostęp: <https://news.crunchbase.com/venture/funding-data-third-largest-year-2025/>
- [14] OECD. Venture Capital Investments in Artificial Intelligence Through 2025. OECD Policy Brief, luty 2026. Dostęp: https://www.oecd.org/en/publications/venture-capital-investments-in-artificial-intelligence-through-2025_a13752f5-en/full-report.html
- [15] Figure AI. Figure Exceeds \$1B in Series C Funding at \$39B Post-Money Valuation. Figure AI News, 2025. Dostęp: <https://www.figure.ai/news/series-c>
- [16] McKinsey Global Institute. Scaling Bigger, Faster, Cheaper Data Centers with Smarter Designs. McKinsey, 2025. Dostęp: <https://www.mckinsey.com/industries/private-capital/our-insights/scaling-bigger-faster-cheaper-data-centers-with-smarter-designs>
- [17] Polski Instytut Ekonomiczny. AI na polskim rynku pracy. PIE, 2024. Dostęp: <https://pie.net.pl/co-piaty-pracownik-w-polsce-wykonuje-zawod-najbardziej-wystawiony-na-wplyw-ai/>
- [18] Komisja Europejska. Akt o Sztucznej Inteligencji – ramy regulacyjne. European Commission, 2024. Dostęp: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>
- [19] EUR-Lex. Rozporządzenie (UE) 2023/1230 w sprawie maszyn. EUR-Lex, 2023. Dostęp: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1230/oj/eng>
- [20] OpenAI. New Funding to Build Towards AGI. OpenAI, marzec 2025. Dostęp: <https://openai.com/index/march-funding-updates/>
- [21] Anthropic. Anthropic Raises Series F at USD 183B Post-Money Valuation. Anthropic News, wrzesień 2025. Dostęp: <https://www.anthropic.com/news/anthropic-raises-series-f-at-usd183b-post-money-valuation>

- [22] Microsoft Corporation. The Golden Opportunity for American AI. Microsoft Blog, styczeń 2025. Dostęp: <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2025/01/03/the-golden-opportunity-for-american-ai/>
- [23] TechCrunch. Meta AI Now Has 1 Billion Monthly Active Users. TechCrunch, maj 2025. Dostęp: <https://techcrunch.com/2025/05/29/meta-ai-now-has-1b-monthly-active-users/>
- [24] Mistral AI. Mistral AI Raises 1.7B EUR to Accelerate Technological Progress with AI. Mistral AI News, wrzesień 2025. Dostęp: <https://mistral.ai/news/mistral-ai-raises-1-7-b-to-accelerate-technological-progress-with-ai>
- [25] ElevenLabs. ElevenLabs Raises \$180M Series C. ElevenLabs Blog, styczeń 2025. Dostęp: <https://elevenlabs.io/blog/series-c>
- [26] World Economic Forum. Future of Jobs Report 2025. WEF, styczeń 2025. Dostęp: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/>
- [27] Google. Gemini API – Long Context Documentation. Google AI, 2025. Dostęp: <https://ai.google.dev/gemini-api/docs/long-context>
- [28] Stowarzyszenie Dolina Lotnicza. O nas – dane klastra. Dolina Lotnicza, 2025. Dostęp: <https://www.dolinalotnicza.pl/o-nas/>
- [29] xAI. xAI Raises \$20B Series E. xAI News, 2026. Dostęp: <https://x.ai/news/series-e>
- [30] Databricks / PR Newswire. Databricks Grows >55% YoY, Surpasses \$4.8B Revenue Run-Rate, Raising >\$4B Series L at \$134B Valuation. PR Newswire, grudzień 2025. Dostęp: <https://www.prnewswire.com/news-releases/databricks-grows--55-yoy-surpasses-48b-revenue-run-rate-and-is-raising-4b-series-l-at-134b-valuation-302339773.html>
- [31] Black, K. et al. pi0: A Vision-Language-Action Flow Model for General Robot Control. arXiv:2410.24164, październik 2024. Dostęp: <https://arxiv.org/abs/2410.24164>
- [32] Skild AI / BusinessWire. Skild AI Raises \$1.4B Series C, Now Valued Over \$14B. BusinessWire, styczeń 2026. Dostęp: <https://www.businesswire.com/news/home/20260114335623/en/Skild-AI-Raises-%241.4B-Now-Valued-Over-%2414B>
- [33] EUR-Lex. Rozporządzenie (UE) 2016/679 – Ogólne rozporządzenie o ochronie danych (RODO). EUR-Lex, 2016. Dostęp: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- [34] McKinsey Global Institute. Agents, Robots, and Us: Skill Partnerships in the Age of AI. McKinsey, listopad 2025. Dostęp: <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/agents-robots-and-us-skill-partnerships-in-the-age-of-ai>
- [35] Global X Funds. Global X Robotics & Artificial Intelligence ETF (BOTZ). Global X, 2025. Dostęp: <https://www.globalxetfs.com/funds/botz>
- [36] ROBO Global. ROBO Global Robotics & Automation Index ETF (ROBO). ROBO Global, 2025. Dostęp: <https://www.roboglobal.com>
- [37] Global X Funds. Global X AI & Technology ETF (AIQ). Global X, 2025. Dostęp: <https://www.globalxetfs.com/funds/aiq>
- [38] TechFundingNews / Crunchbase. \$84B Story: The 10 AI Mega-Rounds That Defined 2025. 2025. Dostęp: <https://techfundingnews.com/openai-anthropic-xai-ai-funding-trends-2025/>
- [39] AgentMarketCap / Axis Intelligence / TechCrunch. The Agentic Funding Shift: \$6.42B in 2025. 2025-2026. Dostęp: <https://agentmarketcap.ai/blog/2026/04/08/agentic-ai-funding-velocity-2026-sector-map-vertical-distribution>
- [40] Sacra. Figure AI – analiza spółki. Sacra, 2025. Dostęp: <https://sacra.com/c/figure-ai/>
- [41] Crunchbase. Dane finansowania firm humanoidalnych. Crunchbase, 2026. Dostęp: <https://www.crunchbase.com>
- [42] MERICS. China's Humanoid Robot Industry: From Hype to Production. Marzec 2026. Dostęp: <https://merics.org/en/report/embodied-ai-chinas-ambitious-path-transform-its-robotics-industry>
- [43] TechCrunch. Robots Still Can't Do What Humans Do. Luty 2026. Dostęp: <https://techcrunch.com>
- [44] Silicon Valley Robotics Center. State of Robotics 2026. SVR Center, 2026. Dostęp: <https://roboticscenter.ai/state-of-robotics-2026>

**RAPORT Z BADANIA:
ANALIZA ROZWOJU TECHNOLOGII SZTUCZNEJ INTELIGENCJI I
ROBOTYKI, W TYM ROBOTÓW HUMANOIDALNYCH, W KONTEKŚCIE
WYZWAŃ WSPÓŁPRACY CZŁOWIEK–AI–ROBOT ORAZ BUDOWANIA
KOMPETENCJI PRACOWNIKA PRZYSZŁOŚCI.**

Część II: podsumowanie wyników badania

Interdyscyplinarny zespół naukowców z Politechniki
Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza oraz ekspertów z
Fundacji Human for Future

Kontekst regionalny: Podkarpacie

Województwo podkarpackie wyróżnia się unikalną strukturą społeczną i gospodarczą na tle pozostałych regionów Polski. Obszar ten charakteryzuje się najniższym w kraju współczynnikiem urbanizacji, a ponad 58% wszystkich pracujących zamieszkuje tereny wiejskie. Struktura rynku pracy w regionie jest silnie spolaryzowana między największymi ośrodkami miejskimi a powiatami peryferyjnymi

- **Zróżnicowanie przestrzenne i bezrobocie:** Podregiony rzeszowski i tarnobrzecki generują łącznie 62,5% zatrudnienia w województwie. Równocześnie na rynku pracy obserwuje się dwojaki trend obejmujący minimalne bezrobocie w głównych miastach (Krosno 3,9%, Rzeszów 4,5%) oraz głębokie bezrobocie strukturalne w powiatach peryferyjnych, takich jak leski (19,3%) czy brzozowski (19,7%). (dane: kwiecień 2026, Źródło: [Urząd Statystyczny w Rzeszowie](#))
- **Kluczowe sektory gospodarki:** Główny filar innowacyjności regionu tworzą przemysł lotniczy oraz motoryzacyjny, generujące wspólnie blisko 10% całkowitego zatrudnienia i prawie 20% przeciętnego zatrudnienia etatowego. Branża IT skupia mniejszą liczbę pracowników bezpośrednich, jednak odgrywa kluczową rolę w procesach transformacji cyfrowej tradycyjnych gałęzi przemysłu. (Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych: Urzędu Statystycznego w Rzeszowie (Rynek pracy w województwie podkarpackim w 2024 r., Rzeszów 2025); Stowarzyszenia Grupy Przedsiębiorców Przemysłu Lotniczego „Dolina Lotnicza” (Polski Przemysł Lotniczy, Rzeszów 2024) oraz Zarządu Województwa Podkarpackiego (Regionalna Strategia Innowacji Województwa Podkarpackiego na lata 2021–2030, Rzeszów 2021).

Wyzwania w obszarze edukacji i podaży kadr. Rozwój zaawansowanych sektorów w regionie jest bezpośrednio uzależniony od wydolności lokalnego systemu oświaty i edukacji wyższej.

- **Profilowanie kompetencji:** szkolnictwo na poziomie techników silnie stawia na rozwój specjalizacji inżynierskich (29,2% absolwentów) oraz teleinformatycznych (20,1%). Z kolei na szczeblu akademickim kierunki związane z techniką i przemysłem kończy 18,5% ogółu absolwentów. (Źródło: Urząd Statystyczny w Rzeszowie, „Raport o sytuacji społeczno-gospodarczej województwa podkarpackiego” https://rzeszow.stat.gov.pl/download/gfx/rzeszow/pl/defaultaktualnosci/760/5/15/1/raport_o_sytuacji_spooleczno_gospodarczej_woj_podkarpackiego_2026.pdf)
- **Paradoks nadwyżki rynkowej:** pomimo stałego napływu osób z wykształceniem technicznym i informatycznym, pracodawcy borykają się z brakiem kandydatów posiadających praktykę zawodową i adekwatne doświadczenie. Sytuację dodatkowo komplikują bardzo wysokie oczekiwania płacowe młodych absolwentów.
- **Zjawisko drenażu mózgów:** najlepsi absolwenci kierunków ścisłych wykazują wysoką skłonność do migracji zarobkowej. Połączenie niskich średnich wynagrodzeń w województwie ze znajomością języków obcych sprzyja natychmiastowej emigracji talentów do innych aglomeracji lub za granicę.
- **Bariery systemowe:** krytycznym problemem edukacji zawodowej na Podkarpaciu jest pogłębiający się deficyt nauczycieli przedmiotów zawodowych, co bezpośrednio blokuje skuteczny transfer zaawansowanych technologii do szkół.

Podsumowanie badania ankietowego wśród przedstawicieli biznesu

Jako przygotowanie do badania i element ankiety wskazującej stanowiska do analizy poprosiliśmy przedstawicieli biznesu o wskazanie głównych braków kompetencyjnych na rynku i najczęstszych problemów z zatrudnieniem z ich perspektywy.

Analiza przeprowadzona na grupie 90 podmiotów biznesowych i instytucjonalnych precyzyjnie uwypatnia bariery rekrutacyjne występujące w województwie podkarpackim. W grupie respondentów najszerzej reprezentowane były obszary edukacji, produkcji, lotnictwa oraz usług IT.

Główne braki kompetencyjne na rynku

- **Produkcja i technika:** Jest to obszar z najwyższą liczbą 32 wskazań trudności rekrutacyjnych obejmujących deficyt operatorów maszyn CNC, technologów oraz konstruktorów.
- **Sprzedaż i marketing:** Region wykazuje niedobór specjalistów do spraw sprzedaży i handlowców, odnotowując 18 wskazań od pracodawców.
- **Zarządzanie i realizacja projektów:** Przedsiębiorstwa zgłosiły 17 problemów z pozyskaniem kierowników projektów oraz wyższej kadry zarządzającej.
- **Sektory wysokich technologii:** W branży lotniczej dominuje brak inżynierów analiz i konstruktorów. W sektorze finansowym i informatycznym najbardziej pożądani są programiści, architekci rozwiązań oraz analitycy biznesowi. W obszarze oświaty brakuje specjalistów od nowych technologii i sztucznej inteligencji.

Najczęstsze przyczyny trudności w zatrudnieniu

- **Strukturalny niedobór kandydatów na rynku:** Główna bariera wymieniana najczęściej przez respondentów (18 wskazań).
- **Niedopasowanie profilu kompetencji:** Przepaść między systemem edukacji a oczekiwaniami firm stanowiła wyzwanie dla 15 pracodawców.
- **Tempo ewolucji technologicznej:** Konieczność bieżącej aktualizacji wiedzy to znacząca trudność zaznaczona przez 11 podmiotów.
- **Rywalizacja rynkowa:** Presja płacowa i silna konkurencja o ograniczoną pulę ekspertów to problem dotkliwy dla 10 badanych przedsiębiorstw.

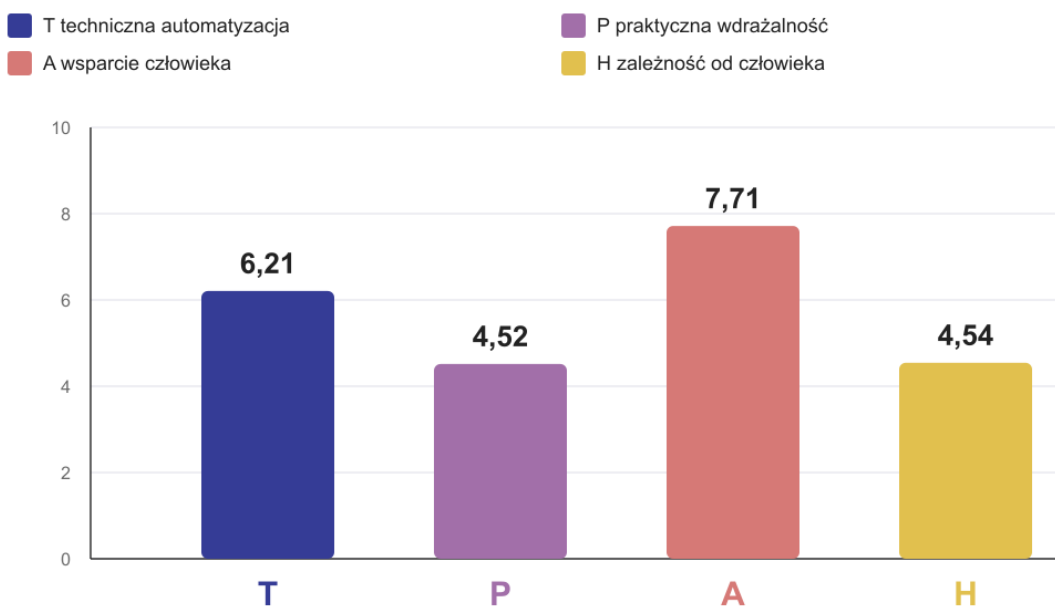
Dwutorowy kryzys rynku pracy. Zgromadzone dane rynkowe rysują obraz dychotomicznego wyzwania dla gospodarki Podkarpacia. W branżach technologicznych występuje silny deficyt wysokospecjalistycznej kadry inżynierskiej, pogłębiany przez agresywną konkurencję płacową. Równolegle tradycyjna branża produkcyjna mierzy się z brakiem wykwalifikowanych pracowników wykonawczych, co jest skutkiem niskiego zainteresowania pracą fizyczną i niedopasowania edukacji zawodowej. Pracodawcy dostrzegają także barierę rozwojową wynikającą z braku systemowych ścieżek łatwego przekwalifikowania pracowników w dobie dynamicznych przemian.

Streszczenie

Raport przedstawia wpływ sztucznej inteligencji, robotyki i automatyzacji na pracę w województwie podkarpackim na poziomie zadań wykonywanych w ramach poszczególnych ról zawodowych. Główny wniosek z analizy wskazuje, że nowe technologie nie zmieniają rynku pracy poprzez jednoznaczne, całkowite „zastępowanie zawodów”, lecz poprzez zmianę struktury zadań, sposobu organizacji pracy, zakresu odpowiedzialności oraz kompetencji wymaganych od pracowników.

Średnie wartości T/P/A/H dla 50 ról

Skala 0-10. P = praktyczna możliwość wdrożenia.



Rys. 12. Średnie wartości TPAH dla 50 ról

Wyniki analizy wskazują, że potencjał wsparcia pracy człowieka przez sztuczną inteligencję jest wyraźnie większy niż możliwość pełnej automatyzacji zadań w praktyce organizacyjnej. W skali 0-10 średnia ocena potencjału wsparcia człowieka wynosi 7,71, średnia techniczna możliwość automatyzacji 6,21, natomiast średnia praktyczna możliwość wdrożenia 4,52. Oznacza to, że w przypadku wielu ról technologia AI może skutecznie wspierać analizę danych, raportowanie, przygotowanie dokumentów, kontrolę jakości informacji oraz generowanie rekomendacji. Jednocześnie pełne przekazanie danego zadania systemowi jest determinowane kosztami błędu, wymaganiami w zakresie zgodności, bezpieczeństwem danych, odpowiedzialnością decyzyjną, stopniem integracji procesów oraz koniecznością zachowania nadzoru człowieka.

W ramach analizy wyodrębniono pięć głównych typów zadań w zbiorze 3570 ocen typu „zadanie–kontekst organizacyjny” (tab. 1).

Typ zadania	Udział w ocenach zadanie-kontekst	Interpretacja
Zadania z realnym potencjałem automatyzacji	32,5%	Wysoka techniczna możliwość automatyzacji i relatywnie wysoka wdrażalność. Dotyczy przede wszystkim zadań opartych na danych, dokumentach, raportach, klasyfikacji, monitoringu i powtarzalnych regułach.
Zadania przede wszystkim wspierane przez AI	26,4%	Wysoki potencjał wsparcia człowieka przy utrzymaniu istotnej roli eksperta. AI przyspiesza analizę, porządkuje informacje i sugeruje rozwiązania, ale człowiek zatwierdza, interpretuje i bierze odpowiedzialność.
Zadania mieszane	18,3%	Część pracy może być wspierana lub częściowo automatyzowana, ale pełny efekt zależy od kontekstu organizacyjnego, jakości danych, dojrzałości procesów i charakteru decyzji.
Zadania silnie zależne od człowieka	17,2%	Wymagają odpowiedzialności, relacji, negocjacji, wiedzy praktycznej, obecności fizycznej, pracy z wyjątkami lub oceny sytuacyjnej.
Zadania technicznie możliwe, ale z luką wdrożeniową	5,5%	Technologia może wykonać część zadania, ale wdrożenie jest blokowane przez regulacje, integrację systemów, bezpieczeństwo, koszt błędu lub brak gotowości organizacyjnej.

Tab. 1. Zestawienie głównych typów w zbiorze 3570 ocen typu „zadanie–kontekst organizacyjny”

Najwyższe średnie wyniki technicznej możliwości automatyzacji występują w rolach opartych na danych i ustrukturyzowanych procesach informacyjnych, takich jak: **analityk danych, analityk ryzyka, specjalista do spraw przygotowania produkcji, księgowy, specjalista do spraw administracji, specjalista do spraw planowania produkcji, specjalista do spraw kadr i płac oraz specjalista do spraw marketingu i treści cyfrowych**. Nie oznacza to automatycznej redukcji tych ról. Wyniki sugerują raczej, że znaczna część realizowanych w nich zadań **może zostać** oparta na narzędziach wspierających pracę człowieka.

Najniższe średnie wyniki technicznej automatyzowalności dotyczą ról silnie związanych z pracą fizyczną, miejscem wykonywania pracy, utrzymaniem infrastruktury oraz bezpieczeństwem procesów. W tej grupie można wyróżnić, takie role jak **specjalista utrzymania ruchu, ślusarz-spawacz-monter, mechanik, operator maszyn i urządzeń oraz magazynier**. W tych rolach wpływ technologii częściej przyjmuje formę wsparcia (tzw. augmentacji), diagnostyki, planowania, kontroli, dokumentacji, bezpieczeństwa pracy oraz integracji działań człowieka z systemami technicznymi.

Wyniki walidacji eksperckiej potwierdzają zasadniczy kierunek diagnozy, wskazując jednocześnie obszary wymagające korekt redakcyjnych i metodologicznych.

W syntetycznej ocenie wyników odpowiedzi „tak” lub „raczej tak” pojawiły się w 24 z 28 ocen. Szczególnie wysoką zgodność uzyskano dla rozróżnienia pomiędzy automatyzacją, a wsparciem pracy człowieka przez AI. Najczęściej wskazywane uwagi dotyczyły ograniczeń wdrożeniowych, bezpieczeństwa danych, RODO,

pilotażowego trybu wdrożeń, niektórych niespójności w doborze zadań oraz potrzeby lepszego wyjaśnienia pojęcia podnoszenia kwalifikacji i zaniku części umiejętności wskutek automatyzacji.

Z analizy wynikają trzy główne rekomendacje.

- **Po pierwsze**, działania rynku pracy powinny być projektowane na poziomie zadań, a nie całych zawodów.
- **Po drugie**, podstawowym kierunkiem wdrażania AI powinno być wsparcie człowieka, a dopiero w dalszej kolejności automatyzacja wybranych zadań o niskim ryzyku i jasno zdefiniowanych danych wejściowych.
- **Po trzecie**, polityka szkoleniowa powinna integrować rozwój kompetencji cyfrowych z umiejętnościami w zakresie kontroli, weryfikacji wyników, odpowiedzialnego korzystania z danych, bezpieczeństwa informacji oraz zarządzania zmianą.

Wprowadzenie: cel, zakres i sposób czytania raportu

Celem raportu jest pokazanie w jakim zakresie automatyzacja przy wykorzystaniu sztucznej inteligencji, robotyki i robotów humanoidalnych, zmienia pracę w wybranych sektorach gospodarki województwa podkarpackiego. Raport nie koncentruje się na pytaniu, które zawody „znikną”, lecz na tym, które zadania dziś wykonywane w ramach ról zawodowych, są najbardziej podatne na automatyzację, które mogą być przez nią wspierane, a które pozostają silnie zależne od człowieka oraz kompetencji specyficznie ludzkich.

Podstawową jednostką analizy jest zadanie wykonywane w określonej roli i kontekście organizacyjnym. Ma to kluczowe znaczenie dla interpretacji wyników, ponieważ ta sama rola zawodowa może mieć odmienny profil technologiczny w zależności od typu organizacji – na przykład w dużym przedsiębiorstwie lotniczym, firmie produkcyjnej, sektorze MŚP, organizacji edukacyjnej, firmie IT lub podmiocie funkcjonującym w warunkach wysokich wymagań regulacyjnych. **W rezultacie wyniki należy interpretować jako ocenę relacji pomiędzy zadaniami, rolą, i kontekstem organizacyjnym, a nie jako prostą etykietę przypisaną do nazwy stanowiska.**

Raport obejmuje trzy poziomy analizy:

1. **Poziom zadań** – pokazujący, które czynności mogą być automatyzowane, wspierane lub pozostawione pod silną kontrolą człowieka.
2. **Poziom ról** – pokazujący, w jaki sposób struktura zadań wpływa na charakter i profil stanowiska.
3. **Poziom rynku pracy i kompetencji** – wskazujący potencjalne konsekwencje dla instytucji rynku pracy, pracodawców, systemu edukacji, szkoleń i doradztwa zawodowego.

Wyniki należy interpretować w perspektywie czterech wymiarów oceny zadań:

- **technicznej możliwości automatyzacji (wskaźnik T),**
- **praktycznej możliwości wdrożenia (wskaźnik P),**
- **potencjału wsparcia człowieka przez sztuczną inteligencję, augmentacji (wskaźnik A)**
- **zależność zadania od człowieka (wskaźnik H).**

Każdy z powyższych wymiarów odpowiada na inne pytanie analityczne i prowadzi do innych decyzji. Tym samym, wymiary te nie powinny być sprowadzane do jednego, prostego wskaźnika.

Definicje używane w raporcie

Augmentacja oznacza sposób wdrażania AI i automatyzacji, w konsekwencji którego technologia zwiększa efektywność, jakość i skalę pracy człowieka, zachowując jego rolę decyzyjną i nadzorczą (Wskaźnik A).

Automatyzacja wybranych zadań oznacza sytuację, w której system sztucznej inteligencji, robot lub inna technologia może przejąć wykonanie części czynności pod określonymi warunkami. Nie oznacza automatyzacji całego zawodu/stanowiska/roli.

Kontekst organizacyjny oznacza warunki, w których wykonywana jest praca: sektor, wielkość organizacji, regulacje, krytyczność bezpieczeństwa, poziom formalizacji procesów, dojrzałość technologiczna, jakość danych, ekspozycja na klienta, charakter zespołu i sposób odpowiedzialności.

Luka wdrożeniowa oznacza różnicę między potencjalnymi możliwościami technologii, a tym, co można bezpiecznie, opłacalnie i odpowiedzialnie wdrożyć w konkretnej organizacji.

Podnoszenie kwalifikacji oznacza rozwój kompetencji potrzebnych do pracy z nowymi technologiami, w tym umiejętności formułowania zadań dla AI, weryfikowania wyników, interpretowania rekomendacji i nadzorowania procesów.

Rola zawodowa lub stanowisko to zestaw zadań wykonywanych w określonym kontekście organizacyjnym. Rola nie jest oceniana jako jedna całość; jej profil wynika ze struktury i wag zadań.

Zadanie to pojedyncza czynność zawodowa lub względnie spójny blok pracy (sekwencja czynności) – na przykład: analiza danych, kontakt z klientem, przygotowanie raportu, kontrola jakości, diagnoza awarii, planowanie produkcji albo negocjacje.

Wsparcie pracy człowieka przez sztuczną inteligencję oznacza wykorzystanie technologii do przyspieszenia, uporządkowania albo poprawy jakości pracy człowieka. Przykładem jest przygotowanie wstępnej analizy, porównanie dokumentów, wykrycie anomalii, wygenerowanie wariantów decyzji albo wsparcie dokumentowania pracy.

Zależność zadania od człowieka oznacza, że wykonanie zadania wymaga kompetencji specyficznie ludzkich, niemożliwych do automatyzacji przy pomocy istniejących obecnie technologii – m.in. adaptacji w nietypowym kontekście, inicjowaniu działań (sprawczości) i braniu odpowiedzialności, podejmowania decyzji w oparciu o niepełne dane, identyfikowaniu interesariuszy oraz budowania z nimi relacji interpersonalnych, stosowaniu tzw. wiedzy praktycznej i ucieleśnionej (*know-how* i *tacit knowledge*), fizycznej obecności itp.

Zanik części umiejętności wskutek automatyzacji oznacza ryzyko osłabienia praktycznych kompetencji, jeżeli pracownik coraz rzadziej wykonuje samodzielnie zadania, które przejmowane są przez systemy automatyczne.

Cztery wymiary oceny zadań

Analiza bazuje na czterech wymiarach oceny zadań (Tab. 2).

Wymiar	Pytanie diagnostyczne	Jak interpretować wysoki wynik
T - Techniczna możliwość automatyzacji	Czy zadanie może zostać wykonane przez system sztucznej inteligencji, robota albo inną technologię przy obecnym lub bliskim stanie techniki?	Zadanie ma cyfrowe dane wejściowe i wyjściowe, jest obserwowalne, formalizowalne, powtarzalne albo możliwe do zweryfikowania.
P - Praktyczna możliwość wdrożenia	Czy automatyzacja jest realna w konkretnej organizacji przy obecnych kosztach, regulacjach, danych, procesach i odpowiedzialności?	Organizacja ma dane, procesy, integrację, zgodność, bezpieczeństwo i warunki organizacyjne potrzebne do wdrożenia.
A - Potencjał wsparcia pracy człowieka przez AI (Augmentowalność)	Czy AI może poprawić jakość, szybkość, bezpieczeństwo albo kompletność pracy człowieka?	Technologia może przygotować warianty, streszczenia, analizy, kontrole, rekomendacje lub dokumentację, ale człowiek nadal decyduje.
H - Zależność zadania od człowieka (human constraint index, HCI)	Czy zadanie wymaga osądu, odpowiedzialności, relacji, wiedzy praktycznej, obecności fizycznej albo pracy z niejednoznacznością?	Pełna substytucja człowieka jest ograniczona, nawet gdy część czynności może być wsparta technologią.

Tab. 1. Cztery wymiary wykorzystywane do oceny zadań realizowanych w ramach poszczególnych ról

Wskazane cztery wymiary (Tab. 2), należy czytać łącznie, jednak nie należy ich wprost sumować. Wysoka techniczna możliwość automatyzacji (T) nie oznacza wprost wysokiej praktycznej możliwości wdrożenia (P). Podobnie wysoki potencjał wsparcia pracy człowieka przez AI (A) nie oznacza eliminacji roli człowieka. Z kolei wysoka zależność zadania od człowieka (H) nie świadczy o braku wpływu technologii, często oznacza jedynie, że AI zmienia sposób przygotowania decyzji i realizacji procesu, pozostawiając odpowiedzialność oraz ostateczne rozstrzygnięcie po stronie człowieka.

W przyjętej metodologii wynik końcowy powstaje warstwowo i obejmuje trzy etapy:

- w pierwszym etapie oceniane są podstawowe wymiary: techniczna możliwość automatyzacji (T), praktyczna możliwość wdrożenia (P) oraz potencjał wsparcia pracy człowieka przez AI (A),
- następnie odrębnie analizowana jest zależność zadania od człowieka (H),
- w ostatnim etapie analiza strukturalna wprowadza korekty uwzględniające relacje pomiędzy poszczególnymi wymiarami.

Końcowy wynik na poziomie roli powinien być interpretowany przez agregat ważony zadaniami, ponieważ zadania mają różny udział w codziennej pracy.

H - Zależność zadania od człowieka

Wymiar H oznacza stopień ograniczenia dla pełnej automatyzacji zadań, a zarazem stopień zależności ich skutecznej realizacji od kompetencji specyficznie ludzkich. W danych technicznie występuje jako

human_constraint_index, czyli wskaźnik tego, na ile dane zadanie, w danym kontekście organizacyjnym, pozostaje zakotwiczone w fizycznej obecności, sprawczości i odpowiedzialności, osądzie albo relacji człowieka.

Wysokie H nie znaczy, że AI nie może być użyte. Oznacza raczej, że AI ma większe prawdopodobieństwo działania jako narzędzie wspierające, konsultacyjne, dokumentacyjne, analityczne lub kontrolne, a nie jako samodzielny wykonawca całego zadania. Niskie H oznacza, że zadanie jest łatwiejsze do odłączenia od człowieka: można je bardziej ustandaryzować, zdalnie wykonać, przeskalować, opisać procedurą albo oprzeć na danych cyfrowych.

H należy odróżniać od A. A „mówi” o potencjale wsparcia człowieka przez AI, natomiast H o tym, jak silnie człowiek pozostaje potrzebny jako element zadania. Dlatego możliwe są sytuacje, w których oba wskaźniki są wysokie: AI bardzo pomaga, ale nie usuwa człowieka z procesu.

Punktem wyjścia jest analiza na poziomie rola × kontekst × zadanie. To ważne, ponieważ H nie jest przypisywane abstrakcyjnie całemu zawodowi. To samo stanowisko może mieć inne H w małej firmie, inne w dużej organizacji, inne w lotnictwie, produkcji, IT albo edukacji.

Dla każdego zadania w określonym kontekście generowany jest profil. Model ocenia dwanaście cech zadania w skali 0-10. Surowe odpowiedzi są następnie odwracane: jeśli odpowiedź wskazuje, że zadanie jest łatwe do cyfryzacji, standaryzacji i odłączenia od człowieka, wkład do H jest niski. Jeśli odpowiedź wskazuje, że zadanie wymaga relacji, osądu, odpowiedzialności, obecności fizycznej albo pracy w złożonym układzie społecznym, wkład do H jest wysoki.

Pytania nie mierzą jednej prostej cechy typu „czy człowiek jest potrzebny” – one rozbijają zakotwiczenie człowieka na kilka obszarów.

- **Pierwszy obszar dotyczy poziomu digitalizacji i struktury danych:** czy zadanie opiera się na danych przetwarzanych cyfrowo oraz czy dane są policzalne, porównywalne, ustrukturyzowane i możliwe do automatycznego przetwarzania.
- **Drugi obszar dotyczy przewidywalności i proceduralności:** czy środowisko działania jest stabilne, czy zadanie jest powtarzalne, czy wystarczą instrukcje, reguły i procedury, czy też konieczna jest adaptacja do wyjątków.
- **Trzeci obszar dotyczy pracy zdalnej i fizyczności:** czy zadanie można wykonać całkowicie zdalnie (online) oraz czy wymaga bezpośrednich interakcji fizycznych z ludźmi, obiektami, maszynami, materiałami albo miejscem pracy.
- **Czwarty obszar dotyczy osądu i niepewności:** czy zadanie wymaga eksplorowania niejednoznacznych sytuacji, podejmowania decyzji przy niepełnych danych, interpretowania wyjątków albo brania odpowiedzialności za skutki.
- **Piąty obszar dotyczy relacji społecznych:** czy wykorzystanie tzw. kompetencji miękkich, koniecznych do budowania i kultywowania relacji społecznych z kluczowymi interesariuszami, rozpoznawania ich intencji itp. mają charakter marginalny.
- **Szósty obszar dotyczy koordynacji i skalowania:** czy zadanie można wykonywać masowo bez utraty jakości oraz czy nie wymaga silnie zsynchronizowanej pracy zespołu.

W skrócie: pytania sprawdzają, czy zadanie jest „odczłowieczalne” operacyjnie. Jeśli jest cyfrowe, stabilne, proceduralne, zdalne, powtarzalne i skalowalne, wartość H spada. Jeśli wymaga zaufania, osądu, odpowiedzialności, pracy z ludźmi, fizycznej obecności albo adaptacji do niepewności, wartość H rośnie.

Wyniki oceny zadań: obraz ogólny

Obraz ogólny wyników wskazuje na silniejszą transformację pracy niż prostą automatyzację całych ról. Średnie wyniki dla 50 ról zawiera poniższa tabela (Tab. 3).

Wymiar lub wskaźnik	Średnia	Minimum roli	Maksimum roli	Interpretacja
Wskaźniki bazowe				
Techniczna możliwość automatyzacji	6,21	2,98	7,86	Wiele zadań można technicznie wspierać lub częściowo automatyzować, szczególnie w rolach opartych na danych i dokumentach.
Praktyczna możliwość wdrożenia	4,52	2,14	6,15	Wdrożenie jest bardziej ograniczone niż sama możliwość techniczna. Bariery wynikają z procesów, danych, regulacji i odpowiedzialności.
Potencjał wsparcia człowieka przez AI	7,71	4,34	8,79	Najsilniejszy i najbardziej powszechny kierunek wpływu technologii.
Wskaźnik zakotwiczenia ludzkiego	5,98	4,90	7,25	W większości ról pozostaje istotny komponent ekspercki, relacyjny, odpowiedzialnościowy lub fizyczny.
Wskaźniki pochodne				
<i>Efektywna zależność od człowieka</i>	<i>7,87</i>	<i>6,86</i>	<i>8,61</i>	<i>Nawet w rolach o wysokim potencjale technologicznym praca wymaga nadzoru, interpretacji i odpowiedzialności człowieka.</i>
<i>Presja przebudowy roli</i>	<i>2,57</i>	<i>1,50</i>	<i>3,26</i>	<i>Zmiana zwykle dotyczy organizacji zadań i odpowiedzialności, a nie prostego zaniku całego stanowiska.</i>
<i>Presja nowych zadań</i>	<i>6,32</i>	<i>4,53</i>	<i>6,87</i>	<i>Wdrożenie AI tworzy dodatkowe zadania: kontrolę, walidację, konfigurację, dokumentowanie i nadzór nad systemami.</i>

Tab. 2. Średnie wyniki dla 50 ról wskazanych przez przedsiębiorców

Najwyższe wartości technicznej automatyzowalności wykazują role:

Rola	Techniczna możliwość automatyzacji (T)	Praktyczna możliwość wdrożenia (P)	Potencjał wsparcia człowieka(A)
Analitik danych	7,86	6,15	8,79
Analitik ryzyka	7,72	6,06	8,62
Specjalista do spraw przygotowania produkcji	7,47	5,51	8,40
Księgowy	7,36	5,52	8,55
Specjalista do spraw administracji	7,28	5,57	8,11
Specjalista do spraw planowania produkcji	7,26	5,49	8,43

Tab. 3. Role z najwyższym wskaźnikiem T

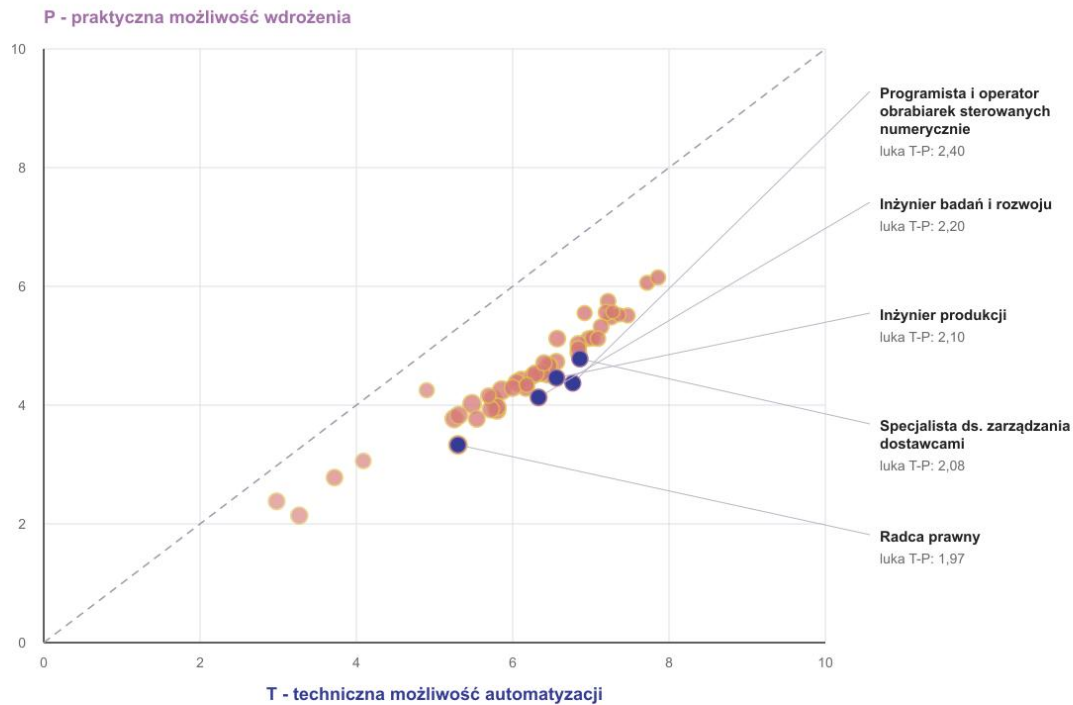
Najniższe wartości technicznej automatyzowalności wykazują role w poniższej tabeli:

Rola	Techniczna możliwość automatyzacji (T)	Praktyczna możliwość wdrożenia (P)	Potencjał wsparcia człowieka (A)
Specjalista utrzymania ruchu	2,98	2,38	4,34
Ślusarz-spawacz-monter	3,27	2,14	4,65
Mechanik	3,72	2,78	5,59
Operator maszyn i urządzeń	4,09	3,06	5,07
Magazynier	4,90	4,24	5,90

Tab. 4. Role z najniższym wskaźnikiem T

Różnica między techniczną możliwością automatyzacji a praktyczną możliwością wdrożenia jest jednym z najważniejszych wyników. Największe luki widoczne są m.in. dla roli programisty i operatora obrabiarek sterowanych numerycznie, inżyniera badań i rozwoju, inżyniera produkcji, specjalisty do spraw zarządzania dostawcami, inżyniera jakości, radcy prawnego oraz specjalisty do spraw badań i rozwoju. Oznacza to, że część zadań może być technicznie wspierana lub częściowo wykonywana przez systemy, ale realne wdrożenie wymaga danych, procedur, kontroli jakości, zgodności, odpowiedzialności i przygotowania organizacyjnego.

Luka wdrożeniowa: wysoka możliwość techniczna vs praktyczna wdrażalność



Rys. 13. Luka wdrożeniowa: wysoka możliwość techniczna vs praktyczna wdrażalność

Wyniki ogólne należy interpretować z uwzględnieniem ograniczeń metodologicznych. Analiza opiera się na modelu eksperckim oraz danych pochodzących z procesu badawczego, a nie na bezpośredniej obserwacji długookresowych wdrożeń w organizacjach. Jednocześnie poziom pewności co do ogólnego kierunku wniosków jest wysoki, ponieważ podobne zależności powtarzały się w różnych rolach, kontekstach i ocenach ekspertów. Niższy poziom pewności dotyczy szczegółowych wartości liczbowych przypisanych do poszczególnych ról, dlatego wymagają one dalszej walidacji we współpracy z organizacjami.

Typy zadań oraz wynikające z nich typy ról

Typy zadań

Analiza pokazuje pięć praktycznych typów zadań. Podział ten jest użyteczny dla projektowania szkoleń, pilotaży AI, doradztwa zawodowego i rekomendacji dla pracodawców.

1. **Zadania z realnym potencjałem automatyzacji.** Są to zadania, które mają wysoką techniczną możliwość automatyzacji i relatywnie wysoką praktyczną możliwość wdrożenia. Najczęściej dotyczą danych, raportów, przetwarzania dokumentów, kontroli zgodności formalnej, klasyfikacji, monitoringu, porównywania informacji i powtarzalnych operacji administracyjnych. Przykłady z analizowanych ról obejmują przetwarzanie i analizę danych systemowych, raportowanie i dokumentację techniczną, przygotowywanie zestawień, monitoring działania systemu, obsługę powtarzalnych dokumentów oraz część zadań planistycznych.
2. **Zadania przede wszystkim wspierane przez AI.** Są to zadania, w których AI ma wysoki potencjał poprawy jakości i szybkości pracy, ale człowiek pozostaje odpowiedzialny za interpretację i decyzję. Dotyczy to m.in.: analizy wymagań i wykonalności, przygotowywania wariantów decyzji, analizy ryzyka, przygotowania rekomendacji, kontroli jakości, wsparcia komunikacji, przeglądu dokumentów, przygotowania materiałów i syntezy informacji.
3. **Zadania mieszane.** Są to zadania, w których część czynności może zostać zautomatyzowana albo wsparta, ale rezultat zależy od kontekstu. Przykładem są: konsultacje techniczne, współpraca międzydziałowa, negocjacje, wdrożenia użytkowników, analiza nietypowych przypadków, praca z klientem oraz zadania łączące dane z oceną sytuacyjną.
4. **Zadania silnie zależne od człowieka.** To zadania wymagające: relacji, zaufania, odpowiedzialności, obecności fizycznej, wiedzy praktycznej, osądu albo rozwiązywania sytuacji niejednoznacznych. Przykłady obejmują: negocjacje, zarządzanie konfliktem, decyzje prawne, odpowiedzialność za bezpieczeństwo, pracę serwisową w rzeczywistym środowisku, ocenę wyjątków produkcyjnych, mentoring, rozmowy z pracownikami i decyzje kierownicze.
5. **Zadania technicznie możliwe do realizacji, ale z luką wdrożeniową.** To zadania, w których technologia może wykonać część pracy, ale wdrożenie wymaga: pilotażu, danych, integracji, śladu audytowego, zabezpieczeń, jasnego podziału odpowiedzialności i zgód organizacyjnych. Ta kategoria jest szczególnie ważna dla: administracji publicznej, HR, finansów, prawa, lotnictwa, jakości, bezpieczeństwa informacji i projektów o wysokiej krytyczności.

Typy ról zawodowych

Na podstawie struktury zadań można wyróżnić pięć typów ról zawodowych. Podział ten nie zastępuje nazw stanowisk. Pokazuje, jaki mechanizm zmiany pracy dominuje w danej roli.

Typ roli	Wzorzec wyników	Przykłady ról	Główna konsekwencja
Role danych i dokumentów	Wysoka techniczna automatyzowalność, wysoka możliwość wsparcia człowieka, umiarkowana wdrażalność	Analitik danych, analitik ryzyka, księgowy, specjalista administracyjny, specjalista planowania produkcji	Przesunięcie pracy z tworzenia i przetwarzania informacji na kontrolę jakości danych, interpretację wyników i odpowiedzialność za decyzję.
Role decyzyjno-koordynacyjne	Wysoka zależność od człowieka, wysoka presja nowych zadań i nadzoru	Kierownik projektu, kierownik zespołu, kierownik produkcji, kierownik logistyki, dyrektor finansowy, dyrektor B+R	AI wspiera przygotowanie decyzji, ale rośnie znaczenie priorytetyzacji, komunikacji, odpowiedzialności i nadzoru nad systemami.
Role regulacyjne i zaufania	Wysokie zakotwiczenie ludzkie, wysoka luka wdrożeniowa, istotne ograniczenia zgodności	Radca prawny, specjalista bezpieczeństwa informacji, role HR, administracja publiczna	Wdrożenia wymagają śladu audytowego, ochrony danych, odpowiedzialności człowieka i jasnych reguł dopuszczalnego użycia AI.
Role techniczno-inżynierskie	Duży potencjał wsparcia, ale częste luki wdrożeniowe i silna rola wiedzy praktycznej	Inżynier produkcji, konstruktor, technolog, inżynier jakości, inżynier B+R	AI wspiera analizę, dokumentację, wariantowanie i diagnostykę, ale pełna automatyzacja jest ograniczana przez odpowiedzialność techniczną i kontekst produkcyjny.
Role fizyczne i utrzymaniowe	Niska automatyzowalność cyfrowa, istotna obecność fizyczna, rosnące znaczenie pracy z systemami	Ślusarz-spawacz-monter, mechanik, operator maszyn, utrzymanie ruchu, magazynier	Zmiana dotyczy głównie diagnostyki, instrukcji, planowania, bezpieczeństwa, pracy z robotami i dokumentowania działań.

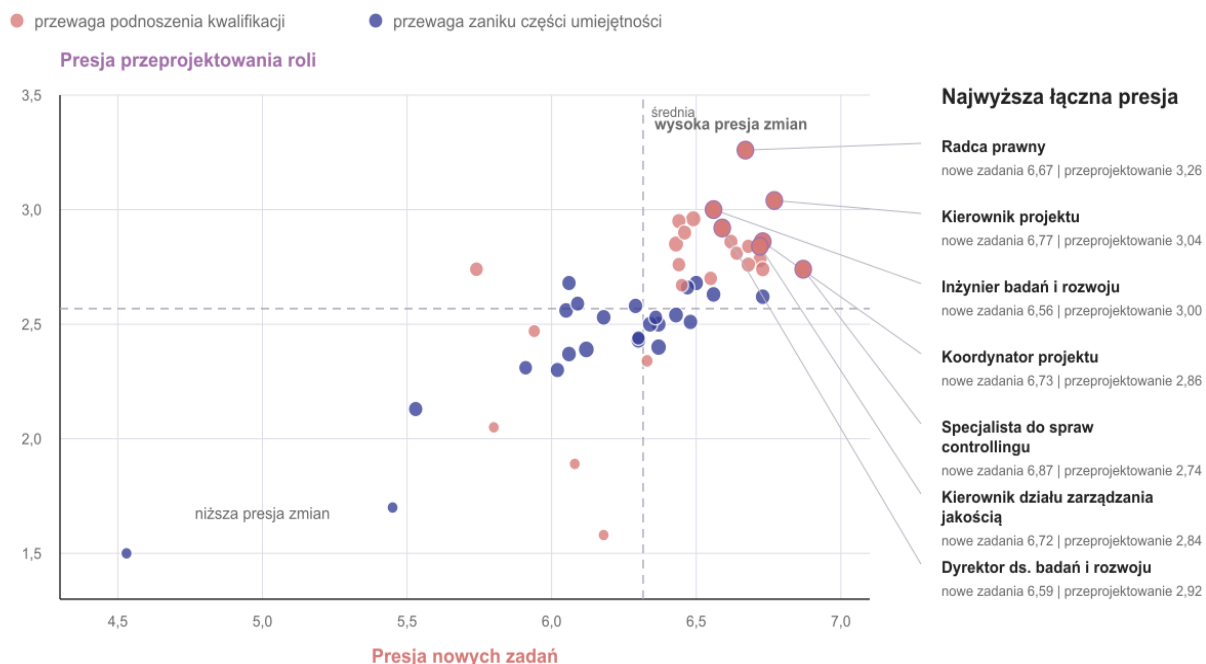
Tab. 5. Typy ról zawodowych

Najbardziej ryzykowne interpretacyjnie są role, w których nazwa stanowiska sugeruje wysoką automatyzowalność, ale zadania obejmują odpowiedzialność, relacje i decyzje kontekstowe. Dotyczy to m.in.

prawników, kierowników, specjalistów HR, projektów, PR i jakości. W tych rolach AI może znacząco zmienić tempo i przygotowanie pracy, ale nie eliminuje potrzeby ludzkiej obecności i odpowiedzialności.

Presja zmian roli: nowe zadania vs przeprojektowanie

Każdy punkt to rola. Linie przerywane pokazują średnie dla 50 ról.



Rys. 14. Presja zmian roli: nowe zadania vs przeprojektowanie

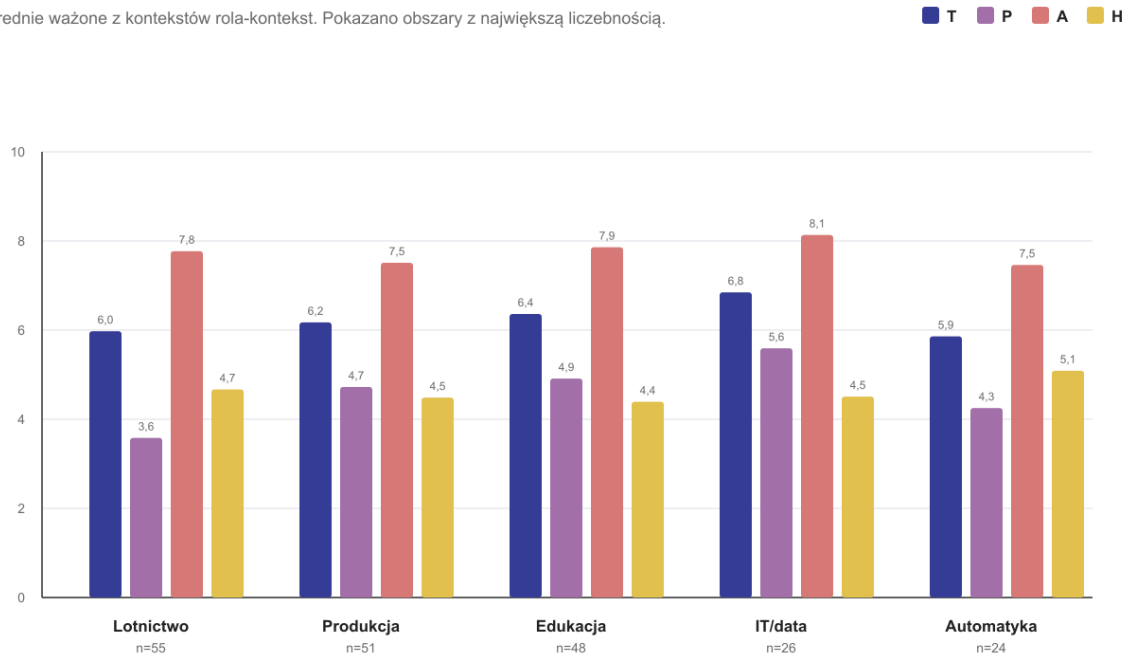
Każdy słupek na wykresie to jedna rola zawodowa. Wykres pokazuje dwie miary. Pierwsza, „presja przebudowy roli”, mówi, jak mocno zmienia się zakres i organizacja zadań w danej roli: wysoka wartość oznacza, że rolę trzeba znacząco przeprojektować, a niska — że zmieni się jedynie sposób organizacji zadań, lecz samo stanowisko nie zniknie. Miara ta nie oznacza wprost, że trzeba wdrożyć AI. Druga, „presja nowych zadań”, mówi, ile nowych obowiązków pojawia się w roli, gdy część dotychczasowych zadań zostaje zautomatyzowana — przede wszystkim nadzór nad systemem, sprawdzanie i zatwierdzanie jego wyników, konfiguracja oraz dokumentowanie; nowe zadania częściowo zastępują te zautomatyzowane. Interpretacja: jeśli „presja nowych zadań” jest wysoka, a „presja przebudowy roli” niska, rola nie zanika — zmienia się jej charakter.

Wyniki w podziale na sektory

W artefaktach wynikowych sektor jest opisany dwójako, tj. przez archetyp kontekstu organizacyjnego oraz przez funkcjonalny obszar roli. Do interpretacji sektorowej należy używać przede wszystkim archetypów kontekstu organizacyjnego, które opisują środowisko pracy, regulacje, dojrzałość technologiczną i charakter organizacji.

T/P/A/H według obszarów organizacyjnych

Średnie ważone z kontekstów rola-kontekst. Pokazano obszary z największą liczebnością.



Największa luka: lotnictwo ma wysokie A, ale niskie P. Najwyższa wdrażalność: IT/data.

Rys. 15. T/P/A/H według obszarów organizacyjnych

Branża/obszar	Liczba kontekstów organizacyjnych	Średnia techniczna automatyzowalność	Średnia wdrażalność	Średni potencjał wsparcia człowieka	Interpretacja
Lotnictwo i certyfikowana produkcja/serwis	55	5,97	3,58	7,77	Wysoki potencjał wsparcia, ale niska wdrażalność z powodu regulacji, traceability, bezpieczeństwa i kosztu błędu.
Produkcja poza lotnictwem i motoryzacją	51	6,17	4,72	7,51	Relatywnie dobry potencjał automatyzacji i wsparcia, szczególnie w planowaniu, jakości, dokumentacji i analizie danych produkcyjnych.
Edukacja zawodowa i techniczna	48	6,36	4,91	7,86	Silny potencjał wsparcia dydaktyki, administracji, analizy i przygotowania materiałów, przy potrzebie kontroli jakości i odpowiedzialności nauczyciela.

Branża/obszar	Liczba kontekstów organizacyjnych	Średnia techniczna automatyzowalność	Średnia wdrażalność	Średni potencjał wsparcia człowieka	Interpretacja
IT, software i data services	26	6,85	5,59	8,13	Najwyższa wdrażalność wśród większych archetypów; przewaga środowiska cyfrowego, danych i większej dojrzałości technologicznej.
Integracja systemów sterowania i automatyki przemysłowej	24	5,86	4,25	7,46	Duży potencjał wsparcia projektowania, serwisu i dokumentacji, ale wdrożenia zależą od warunków u klienta, bezpieczeństwa i integracji systemów.

Tab. 6. Średnie wskaźniki T/P/A wg obszarów z interpretacją

Najbardziej wyraźne różnice między sektorami dotyczą lotnictwa. W tej branży AI ma duży potencjał wsparcia człowieka, jednak możliwości praktycznego wdrażania takich rozwiązań są bardziej ograniczone niż w sektorze IT czy w części firm produkcyjnych. Wynika to przede wszystkim z wysokich wymagań bezpieczeństwa i regulacji.

W praktyce oznacza to, że pierwszym krokiem dla lotnictwa i silnie regulowanych firm produkcyjnych nie powinna być szeroka automatyzacja procesów, lecz ostrożne wdrażanie rozwiązań pilotażowych. Szczególnie istotne są tu: nadzór człowieka nad działaniem AI, możliwość kontroli decyzji podejmowanych przez system oraz wykorzystanie AI głównie do wsparcia analiz, dokumentacji, kontroli jakości i przygotowywania decyzji.

Sektor IT i usług cyfrowych ma najwyższą gotowość wdrożeniową. Nie oznacza to jednak braku zależności od człowieka. W rolach cyfrowych zmienia się przede wszystkim rozkład pracy: mniej czasu zajmuje przygotowanie kodu, dokumentacji, analiz i wariantów rozwiązań, a więcej znaczenia zyskują walidacja, architektura, bezpieczeństwo, odpowiedzialność za jakość oraz rozumienie potrzeb użytkownika.

Produkcja i przetwórstwo mają zróżnicowany profil. Zadania cyfrowe, planistyczne, dokumentacyjne i kontrolne są bardziej podatne na wsparcie i automatyzację niż zadania fizyczne, serwisowe, montażowe i utrzymaniowe. Dla tego sektora kluczowe będą rozwiązania łączące AI z danymi produkcyjnymi, jakością, predykcją problemów, planowaniem i wsparciem operatorów.

Walidacja z organizacjami i sposób wprowadzania korekt po warsztatach

W ramach projektu przeprowadzono walidację ekspercką w formie warsztatu, w którym udział wzięli przedstawiciele biznesu, WUP oraz branży edukacyjnej.

Walidacja ekspercka wskazuje, że kierunek analizy jest zasadniczo trafny, ale raport powinien zawierać mechanizm wprowadzania korekt po warsztatach z organizacjami.

Korekty powinny dotyczyć przede wszystkim listy zadań, wag zadań, interpretacji luk wdrożeniowych, opisów kompetencji oraz przykładów sektorowych.

Walidacja ekspercka kart stanowisk

Udział odpowiedzi „tak” i „raczej tak” w arkuszu walidacyjnym.



Najwięcej zastrzeżeń dotyczy luk wdrożeniowych; rozróżnienie automatyzacji i wsparcia człowieka jest najsilniej potwierdzone.

Rys. 16. Walidacja Ekspercka kart stanowisk

Podsumowanie odpowiedzi z arkusza walidacyjnego

Obszar walidacji	Pozytywne odpowiedzi „tak” lub „raczej tak”	Uwagi
Diagnoza syntetyczna	24 z 28 udzielonych odpowiedzi	Ogólny kierunek diagnozy jest potwierdzony, ale pojawiają się uwagi do danych, kontekstu branży i szczegółów stanowiska.
Luki wdrożeniowe	19 z 29 odpowiedzi	Najwięcej zastrzeżeń; respondenci wskazują RODO, dane wrażliwe, pilotaże, bezpieczeństwo i koszty wdrożenia.
Współczynnik ludzki i siła zakotwiczenia	19 z 24 udzielonych odpowiedzi	Część uwag dotyczy zaniżenia lub błędnego doboru zadań kotwiczących.
Automatyzacja vs wsparcie człowieka	23 z 23 udzielonych odpowiedzi	Najsilniej potwierdzony kierunek: AI częściej wspiera niż całkowicie zastępuje człowieka.

Tab. 7. Podsumowanie odpowiedzi z arkusza walidacyjnego

Najważniejsze tematy korekt:

- bezpieczeństwo danych, RODO, poufność i dopuszczalność dostawców zewnętrznych, szczególnie w administracji publicznej i HR;
- potrzeba pilotażowego trybu wdrażania, zamiast wdrożeń całościowych;

- doprecyzowanie, które zadania rzeczywiście należą do danej roli;
- usunięcie niespójności, np. pojawiających się w niektórych kartach zadań związanych z tworzeniem oprogramowania tam, gdzie respondent wskazuje, że nie należą do stanowiska;
- mocniejsze wyjaśnienie podnoszenia kwalifikacji i zaniku części umiejętności wskutek automatyzacji;
- silniejsze pokazanie kosztów, jakości, produktywności, terminowości dostaw oraz działań korygujących i prewencyjnych w produkcji;
- doprecyzowanie roli człowieka w zadaniach emocjonalnych, relacyjnych, coachingowych i krzysowych.

Rekomendowany sposób wprowadzania korekt po warsztatach

Status uwagi	Kiedy stosować	Co zapisać w raporcie lub aneksie
Przyjęta	Uwaga wskazuje błąd w zadaniu, wadze, opisie roli, kontekście albo oczywistą lukę wdrożeniową.	Krótki opis zmiany, wskazanie karty/roli i wersji poprawki.
Częściowo przyjęta	Uwaga jest trafna dla części kontekstów, ale nie dla całej roli.	Doprecyzowanie kontekstu, np. sektor prywatny vs administracja publiczna, duża firma vs MŚP.
Sporna	Uwaga wynika z różnicy między doświadczeniem organizacji a uogólnionym modelem roli.	Zachować wynik, ale dodać ograniczenie i potrzebę dalszej walidacji.
Odrzucona	Uwaga dotyczy preferencji redakcyjnej albo nie zmienia oceny zadania.	Krótkie uzasadnienie, bez zmiany wyniku.

Tab. 8. Rekomendowany sposób wprowadzenia korekt po warsztatach

Każda istotna korekta powinna być audytowalna: należy zapisać, której roli, zadania, kontekstu i wymiaru dotyczyła. Wagi zadań powinny być weryfikowane szczególnie tam, gdzie organizacje wskazują, że model przecenia albo nie docenia udział danego zadania w codziennej pracy.

Wnioski dla rynku pracy w regionie z poziomem pewności

Poniższa tabela (tab. 10) podsumowuje najważniejsze wnioski dla regionalnego rynku pracy wraz z ich podstawą dowodową, poziomem pewności oraz głównymi ograniczeniami. Każdy wiersz należy czytać łącznie: kolumna „Dowód” wskazuje źródło wniosku, kolumna „Poziom pewności” odzwierciedla powtarzalność wyniku w wielu rolach i jego potwierdzenie w walidacji, a kolumna „Ograniczenie” określa warunki, w których wniosek wymaga dalszej weryfikacji. Wnioski o wysokim poziomie pewności mogą stanowić podstawę decyzji, natomiast wnioski o pewności średniej lub niskiej wymagają uzupełnienia danymi regionalnymi i warsztatami z pracodawcami.

Wniosek	Dowód	Poziom pewności	Ograniczenie
AI i automatyzacja zmieniają przede wszystkim zadania, a nie całe zawody.	Wyniki 50 ról i 3570 ocen zadanie-kontekst; zgodność z metodologią i wytycznymi.	Wysoki	Brak bezpośredniej obserwacji długookresowych wdrożeń w organizacjach.
Najsilniejszym kierunkiem wpływu jest wsparcie pracy człowieka, nie pełna automatyzacja.	Średni potencjał wsparcia 7,71 przy średniej wdrażalności 4,52; pełna zgodność walidacji w obszarze automatyzacja vs wsparcie.	Wysoki	Szczegółowe wyniki zależą od jakości danych i kontekstu organizacji.
Wysoko regulowane konteksty organizacyjne, szczególnie lotnictwo i administracja, wymagają ostrożnych pilotaży.	W archetypie lotniczym wdrażalność 3,58 przy potencjale wsparcia 7,77; uwagi walidacyjne o RODO, danych wrażliwych i bezpieczeństwie.	Średnio wysoki	Dla administracji potrzebne są dodatkowe dane instytucjonalne i warsztaty.
Role oparte na danych, dokumentach i analizie zmieniają się szybciej niż role fizyczne i utrzymaniowe.	Najwyższe wyniki T i P dla analityków, księgowych, administracji i planowania; najniższe dla utrzymania ruchu, mechaników, operatorów i monterów.	Wysoki	Tempo zmiany zależy od dojrzałości organizacji.
W produkcji wpływ AI będzie widoczny głównie w planowaniu, jakości, analizie danych, dokumentacji i wsparciu decyzji.	Wyniki ról produkcyjnych i komentarze walidacyjne o kosztach, produktywności, jakości, dostawach i działaniach korygujących.	Średnio wysoki	Potrzebne uzupełnienie o dane firmowe i branżowe.
Wdrożenia AI stworzą nowe zadania nadzorcze i kontrolne.	Średnia presja nowych zadań 6,32; wysokie wyniki dla controllingu, projektów, księgowości, bezpieczeństwa informacji i zarządzania jakością.	Wysoki	Nie wszystkie organizacje będą miały zasoby do szybkiego zbudowania takich ról.
Ryzyko zaniku części umiejętności wymaga aktywnej polityki szkoleniowej.	Wskaźniki presji zaniku części umiejętności oraz uwagi walidacyjne dotyczące podnoszenia kwalifikacji.	Średni	Wymaga dalszej obserwacji po realnych wdrożeniach.

Wniosek	Dowód	Poziom pewności	Ograniczenie
Sektorowe wnioski dla motoryzacji, administracji i usług biznesowych wymagają wzmocnienia danymi regionalnymi.	Niska liczebność niektórych archetypów w obecnych artefaktach.	Średni dla ograniczenia, niski dla szczegółowych wniosków sektorowych	Trzeba podłączyć dane WUP/PUP, oferty pracy i warsztaty z firmami.

Tab. 9. Najważniejsze wnioski dla regionalnego rynku pracy

Rekomendacje

Rekomendacje dla WUP i powiatowych urzędów pracy

1. Projektować działania na poziomie zadań, a nie nazw zawodów. Materiały doradcze powinny pokazywać, które zadania w roli są podatne na automatyzację, które wymagają wsparcia człowieka, a które pozostają silnie ludzkie.
2. Przygotować mapę zadań wysokiej zmiany dla sektorów regionalnych: lotnictwo, produkcja, IT, automatyka przemysłowa, edukacja, administracja i usługi biznesowe.
3. Wprowadzić do doradztwa zawodowego język „zmiany struktury pracy” zamiast języka „zawody znikną”. Taki język jest bardziej adekwatny i mniej mylący.
4. Budować krótkie moduły szkoleniowe z krytycznej oceny wyników AI, bezpieczeństwa danych, podstaw automatyzacji, pracy z dokumentami i danymi oraz odpowiedzialnego użycia narzędzi.
5. Wspierać pilotaże w organizacjach, ale wymagać opisu ryzyka, danych, odpowiedzialności, śladu audytowego i kryteriów sukcesu.

Rekomendacje dla systemu edukacji i szkoleń

1. Włączyć do kształcenia zawodowego pracę z AI jako narzędziem wspierającym, a nie jako osobny, oderwany przedmiot.
2. Uczyć weryfikacji wyników, rozpoznawania błędów, pracy ze źródłami i dokumentowania decyzji.
3. W rolach technicznych rozwijać kompetencje łączenia pracy fizycznej z diagnostyką cyfrową, dokumentacją, bezpieczeństwem i analizą danych.
4. W rolach administracyjnych, finansowych i HR rozwijać kompetencje ochrony danych, zgodności, pracy z dokumentami i kontroli jakości informacji.
5. W rolach kierowniczych rozwijać kompetencje nadzoru nad systemami AI, zarządzania zmianą i odpowiedzialnego podejmowania decyzji na podstawie rekomendacji systemów.

Rekomendacje dla pracodawców

1. Zaczynać od pilotaży zadań, a nie od deklaracji automatyzacji całych stanowisk.
2. Wybierać do pilotażu zadania o wysokim potencjale wsparcia, niskim ryzyku błędu i jasnych danych wejściowych.

3. Nie wdrażać AI w zadaniach z danymi wrażliwymi bez zasad bezpieczeństwa, kontroli dostawcy, śladu audytowego i odpowiedzialności człowieka.
4. Dla każdej roli przygotować listę zadań: automatyzowane, wspierane, pozostające pod kontrolą człowieka i wymagające walidacji.
5. Monitorować ryzyko zaniku części umiejętności wskutek automatyzacji, zwłaszcza tam, gdzie system zaczyna wykonywać czynności wcześniej uczące pracownika rozumienia procesu.
6. Traktować AI jako narzędzie poprawy jakości i produktywności, a nie wyłącznie redukcji zatrudnienia.

Rekomendacje dla polityki regionalnej

1. Połączyć wyniki analizy z danymi o zatrudnieniu, ofertach pracy, zawodach deficytowych i sektorach strategicznych regionu.
2. Skupić wsparcie wdrożeniowe na sektorach, w których technologia ma wysoki potencjał, ale istnieją realne bariery organizacyjne: lotnictwo, produkcja, administracja, HR, finanse i jakość.
3. Rozwijać kompetencje regionalnych instytucji rynku pracy w zakresie interpretacji AI na poziomie zadań.
4. Wspierać współpracę firm, szkół, uczelni i instytucji rynku pracy w testowaniu konkretnych zastosowań AI.

Jak interpretować wyniki raportu i czego raport nie pokazuje

Raport nie jest prognozą liczby miejsc pracy, które znikną albo powstaną. Nie należy interpretować wyników jako procentu automatyzacji zawodu. Wynik dla roli pokazuje strukturę zadań, potencjał technologiczny, bariery wdrożeniowe i zależność od człowieka, a nie prostą decyzję o przyszłości stanowiska.

Raport nie pokazuje pełnej gotowości konkretnej firmy do wdrożenia AI. Ta gotowość zależy od danych, systemów, procesów, kultury organizacyjnej, kompetencji pracowników, budżetu, regulacji i odpowiedzialności. Dwie firmy z tego samego sektora mogą mieć różny poziom wdrażalności.

Raport nie zastępuje audytu prawnego, audytu bezpieczeństwa informacji ani oceny ryzyka wdrożenia konkretnego narzędzia. W szczególności w administracji publicznej, HR, finansach, prawie, lotnictwie i jakości każda rekomendacja technologiczna wymaga oceny zgodności, ochrony danych i odpowiedzialności.

Raport nie powinien być czytany jako ranking „najbardziej zagrożonych zawodów”. Rola z wysoką techniczną automatyzowalnością może jednocześnie mieć wysokie zapotrzebowanie na nadzór człowieka, interpretację, komunikację i odpowiedzialność. Rola z niską automatyzowalnością może natomiast wymagać intensywnego podnoszenia kwalifikacji, ponieważ praca będzie coraz bardziej powiązana z systemami cyfrowymi, robotyką, dokumentacją i analizą danych.

Wyniki liczbowe należy traktować jako analityczny punkt wyjścia. Najbardziej pewne są kierunki zmian powtarzające się w wielu rolach i potwierdzone walidacją. Mniej pewne są szczegółowe wartości dla pojedynczych zadań, zwłaszcza tam, gdzie respondenci wskazali błąd w doborze zadania, niejednoznaczność kontekstu lub brak zgodności z praktyką organizacji.

Raport ma także ograniczenie w zakresie pokrycia danymi niektórych sektorów. Dla motoryzacji, administracji publicznej oraz usług biznesowych liczba przeanalizowanych kontekstów organizacyjnych była mniejsza niż dla lotnictwa, produkcji, edukacji, IT i automatyki przemysłowej. Z tego powodu wnioski sektorowe dla tych obszarów należy traktować jako wstępne; ich wzmocnienie wymaga uzupełnienia analizy o dodatkowe dane (m.in. oferty pracy, dane instytucji rynku pracy, organizacji branżowych) oraz o warsztaty z ekspertami i pracodawcami.

Aneksy oraz pełny podręcznik metodologiczny

Lista załączników:

1. Metodologia AI rozszerzona
2. Podsumowanie kart stanowisk
3. Wskaźniki TPAH
4. Karty stanowisk dla 50 ról

Załącznik nr 1

Metodologia oceny wpływu AI na zadania zawodowe

Czym jest ten projekt i po co powstał

Sztuczna inteligencja coraz szybciej zmienia sposób wykonywania pracy. Firmy, rządy i organizacje zadają sobie pytanie: które zadania zostaną zautomatyzowane, które można usprawnić, a które pozostaną ściśle ludzkie? Większość dostępnych analiz odpowiada na to pytanie bardzo ogólnie - na poziomie całych zawodów. Mówi się na przykład: „programista jest zagrożony automatyzacją w 60%”. Problem polega na tym, że taka liczba nie mówi prawie nic przydatnego, bo nie wiadomo, o które konkretne zadania programisty chodzi.

Ten projekt podchodzi do sprawy inaczej. Zamiast oceniać cały zawód jedną liczbą, rozбивa go na poszczególne zadania i ocenia każde z nich oddzielnie, uwzględniając przy tym konkretne środowisko organizacyjne. Dzięki temu wynik końcowy można „rozłożyć na części” i sprawdzić, skąd wziął się każdy element oceny.

Cztery pytania, na które odpowiadamy

Pytanie 1: Czy to zadanie da się technicznie zautomatyzować za pomocą AI? Na przykład: czy dane wejściowe i wyjściowe istnieją w formie cyfrowej, czy proces jest powtarzalny, czy wynik można zweryfikować automatycznie.

Pytanie 2: Czy taką automatyzację da się realnie wdrożyć w danej firmie? Nawet jeśli coś jest technicznie możliwe, organizacja może nie być gotowa - ze względu na regulacje, kulturę, koszty wdrożenia czy ryzyko błędu.

Pytanie 3: Czy AI może raczej wspierać człowieka, zamiast go zastępować? Wiele zadań lepiej działa w modelu „człowiek + AI” niż „AI zamiast człowieka” - AI podpowiada, przyspiesza, ale ostateczna decyzja pozostaje po stronie specjalisty.

Pytanie 4: Na ile to zadanie wymaga kompetencji, których AI nie posiada i w dającej się przewidzieć przyszłości posiadać nie będzie? Chodzi o rzeczy takie jak budowanie zaufania, zarządzanie sytuacjami bez precedensu, fizyczna obecność, intuicja oparta na wieloletnim doświadczeniu.

***Ważne zastrzeżenie:** projekt jest na etapie metodologicznym i analitycznym. Oznacza to, że opracowujemy i testujemy sam sposób oceniania. Nie jest to jeszcze gotowe narzędzie decyzyjne, którym można posłużyć się „od ręki” w firmie. To raczej „prototyp instrumentu pomiarowego”, który musi przejść dalszą walidację.*

Co dokładnie oceniamy: rola, kontekst i zadanie

Podstawową jednostką analizy nie jest zawód ani stanowisko, lecz kombinacja trzech elementów:

Element	Co to oznacza	Przykład
Rola	Stanowisko lub funkcja zawodowa opisana w standardowych klasyfikacjach	Programista aplikacji
Kontekst organizacyjny	Typ firmy, branża, wielkość, dojrzałość technologiczna, model pracy	Mała firma IT, outsourcing, wysoka zmienność wymagań
Zadanie	Konkretna czynność wykonywana w ramach roli	Debugowanie i poprawa oprogramowania

Ta sama rola - na przykład „programista” - w dużym banku wygląda zupełnie inaczej niż w startupie. W banku programista pracuje z silnymi regulacjami, formalnymi procesami i wielopoziomowym testowaniem. W startupie ten sam programista może sam decydować o architekturze, rozmawiać z klientem i wdrażać zmiany tego samego dnia. Te same zadania mają zupełnie inną podatność na automatyzację w zależności od kontekstu.

Dodatkowo, w obrębie jednej roli poszczególne zadania różnią się zasadniczo. Programista i debuguje kod (dość algorytmiczne zadanie), i prowadzi spotkania z klientem (zadanie społeczne), i projektuje architekturę (zadanie twórcze). Ocenianie ich jedną wspólną oceną byłoby jak mierzenie średniej temperatury pacjenta w szpitalu - liczba jest bezsensowna, jeśli jeden pacjent ma gorączkę, a drugi hipotermię.

Cztery wymiary oceny: T, P, A i H

Każde zadanie jest oceniane w czterech wymiarach. Każdy z nich odpowiada na inne pytanie i mierzy inny aspekt wpływu AI.

Wymiar	Nazwa	Co mierzy	Skala
T	Techniczna możliwość automatyzacji	Czy AI potrafi wykonać to zadanie z perspektywy czystych możliwości technologicznych?	0–10
P	Praktyczna możliwość wdrożenia	Czy organizacja może realnie wdrożyć taką automatyzację, biorąc pod uwagę procesy, regulacje i ryzyko?	0–10

A	Potencjał wsparcia pracy człowieka przez AI (Augmentowalność)	Czy AI może wspierać i wzmacniać człowieka w tym zadaniu, zamiast go zastępować?	0–10
H	H - Zależność zadania od człowieka (technicznie: human_constraint_index)	Na ile wykonanie tego zadania wymaga kompetencji, których AI nie jest w stanie zastąpić?	0–10

Jak te wymiary współgrają

T i P mogą się od siebie znacząco różnić. Wyobraźmy sobie automatyczną diagnostykę medyczną: technicznie (T) AI może analizować wyniki badań na poziomie porównywalnym z lekarzem, ale wdrożeniowo (P) regulacje prawne, odpowiedzialność za błąd i zaufanie pacjentów powodują, że automatyzacja jest dużo trudniejsza do przeprowadzenia.

A i T też nie idą w parze. Zadanie może mieć niską automatyzowalność techniczną (T), ale wysoką augmentowalność (A) - AI nie zastąpi negocjatora, ale może mu przygotować argumenty, analizę drugiej strony i sugerować strategię w czasie rzeczywistym.

H działa jako „kotwica ludzka” - mierzy, ile z danego zadania pozostaje zasadniczo zależne od człowieka. Wysoki H oznacza, że nawet jeśli T jest wysokie, pełna automatyzacja jest nierealistyczna, bo zadanie wymaga zaufania, empatii, twórczego rozwiązywania problemów bez precedensu, lub fizycznej obecności.

Ważne rozróżnienie: T, P i A to bezpośrednie oceny zadania. H jest mierzony osobnym narzędziem (kwestionariuszem 12 pytań, o którym dalej). W kodzie i plikach wynikowych H jest zapisywany pod nazwą human_constraint_index (w skrócie HCI).

Jak wygląda cały proces krok po kroku

Cała analiza składa się z jasno zdefiniowanych etapów, z których każdy produkuje konkretny plik wynikowy (tzw. artefakt). Każdy artefakt jest plikiem JSON, który można otworzyć, przeczytać i skontrolować. Poniżej opisuję każdy etap, posługując się przykładem analizy roli „Programista aplikacji” w kontekście małej firmy IT pracującej w modelu outsourcingowym.

Schemat przebiegu analizy (pipeline)

Cały proces przebiega następująco:

1. Harmonizacja roli → ustalenie, o jakim dokładnie zawodzie mówimy
2. Budowa bazy dowodowej → zebranie opisów zadań, kompetencji i wiedzy z wielu źródeł

3. Profil roli → stworzenie stabilnego identyfikatora roli
4. Inwentarz zadań → wyłonienie listy zadań z uwzględnieniem kontekstu organizacyjnego
5. Paczka dowodowa → przypisanie materiału dowodowego do każdego zadania
6. Bazowe oceny T, P, A → pierwsza ocena każdego zadania
7. Kwestionariusz 12Q (tacit knowledge) → osobny pomiar wymiaru H
8. Analiza strukturalna → korekty uwzględniające zależności między zadaniami
9. Wynik końcowy → złożenie warstw w ostateczną ocenę
10. Agregacja → podsumowanie na poziomie kontekstu i roli

Harmonizacja roli: ustalenie, o czym dokładnie mówimy

Pierwszym krokiem jest precyzyjne ustalenie, jakiego zawodu dotyczy analiza. Brzmi to banalnie, ale w praktyce stanowi poważne wyzwanie. Nazwy stanowisk w firmach bywają bardzo różne od nazw w oficjalnych klasyfikacjach zawodów. „Full-stack developer”, „Inżynier oprogramowania” i „Programista aplikacji” mogą oznaczać to samo - lub zupełnie co innego.

Harmonizacja polega na zmapowaniu podanej nazwy stanowiska do kilku uznanych klasyfikacji zawodów:

Klasyfikacja	Pochodzenie	Do czego służy
O*NET	Departament Pracy USA	Szczegółowe opisy zadań i kompetencji
ESCO	Komisja Europejska	Europejska klasyfikacja umiejętności i zawodów
ISCO-08	Międzynarodowa Organizacja Pracy	Globalna klasyfikacja zawodów
KZiS	Ministerstwo Pracy (Polska)	Polska klasyfikacja zawodów i specjalności

Wynikiem tego etapu jest plik `harmonization_snapshot`, który zawiera zmapowane kody ze wszystkich klasyfikacji, kanoniczne nazwy w języku polskim i angielskim, oraz - co ważne - pełną informację o tym, jak to mapowanie powstało (jakie zapytania zostały użyte, jaki model AI przeprowadził mapowanie, kiedy to się stało).

To pole o nazwie provenance („proweniencja”, „pochodzenie”) jest kluczowe dla audytowalności. Pozwala każdemu sprawdzić, czy harmonizacja została przeprowadzona rzetelnie i powtórzyć ją w razie potrzeby.

Kontekst organizacyjny: dlaczego ta sama rola może wyglądać zupełnie inaczej

Kontekst organizacyjny nie jest opcjonalnym dodatkiem - jest formalną częścią analizowanej jednostki. To samo zadanie w dwóch różnych firmach może mieć zupełnie inny profil podatności na AI.

Kontekst opisujemy za pomocą kilkunastu parametrów. Oto najważniejsze z nich, wraz z wyjaśnieniem, na co wpływają:

Parametr	Co opisuje	Na co wpływa
sector / industry	Branża i sektor (np. IT, finanse, produkcja)	Ogólne ramy regulacyjne i kulturowe
organization_type	Typ organizacji (np. firma usługowa, korporacja, startup)	Elastyczność wdrażania zmian
regulation_level	Poziom regulacji (niski / średni / wysoki)	Przed wszystkim P - im więcej regulacji, tym trudniej wdrożyć automatyzację
tech_maturity	Dojrzałość technologiczna (1–5)	T i A - dojrzała firma lepiej wykorzysta AI
process_formalization	Formalizacja procesów (niski / średni / wysoki)	T - sformalizowane procesy łatwiej automatyzować
workflow_volatility	Zmienność przebiegu pracy (niska / średnia / wysoka)	T i A - wysoka zmienność utrudnia automatyzację, ale zwiększa potencjał wspomagania
environment_modality	Środowisko pracy (cyfrowe / fizyczne / mieszane)	T i H - praca fizyczna jest trudniejsza do automatyzacji
team_structure	Struktura zespołu (np. zespół projektowy, praca indywidualna)	P i H - koordynacja w zespole wymaga kompetencji ludzkich
customer_exposure	Kontakt z klientem	P i H - bezpośredni kontakt wymaga empatii i zaufania

delivery_model	Model dostarczania (np. zwinny, kaskadowy)	P - wpływa na cykl wdrażania zmian
----------------	--	------------------------------------

W naszym przykładzie testowym kontekstem jest: mała firma IT, pracująca w modelu outsourcingowym, z częstym kontaktem z klientem, dużą zmiennością wymagań i wysoką dojrzałością technologiczną. Identyfikator kontekstu w systemie: CTX-IT-SME-OUTSOURCING-V1.

Baza dowodowa i inwentarz zadań

Evidence store: uporządkowana baza źródeł

Po harmonizacji system buduje bazę dowodową (evidence_store). Jest to uporządkowany zbiór fragmentów tekstu z różnych klasyfikacji zawodów - opisów zadań, wymaganych kompetencji, potrzebnej wiedzy. Każdy fragment ma przypisane źródło (skąd pochodzi) i unikalny identyfikator.

Baza dowodowa nie jest „prawdą o roli” - jest zbiorem materiałów, do których system będzie się odwoływał w kolejnych krokach. To jak folder z dokumentami, na których opiera się analiza.

Role profile: stabilny identyfikator roli

Na podstawie harmonizacji i bazy dowodowej powstaje profil roli (role_profile), który pełni funkcję „dowodu osobistego” roli w systemie. Zawiera unikalny identyfikator (np. ROLE-251401), nazwy kanoniczne i listę powiązanych fragmentów dowodowych. Od tego momentu wszystkie kolejne etapy odnoszą się do roli poprzez ten identyfikator.

Validated inventory: lista zadań po weryfikacji kontekstowej

To kluczowy artefakt. Na tym etapie ogólna lista zadań z klasyfikacji zawodów jest filtrowana i dostosowywana do konkretnego kontekstu organizacyjnego. Nie każde zadanie opisane w O*NET czy ESCO jest faktycznie wykonywane w każdej firmie.

Każde zadanie w inwentarzu zawiera:

Pole	Co oznacza
task_id	Unikalny identyfikator zadania (np. TASK-ROLE-251401-01)
label_pl	Nazwa zadania po polsku (np. „Debugowanie i poprawa oprogramowania”)

description_pl	Opis zadania - skąd pochodzi i co dokładnie obejmuje
weight_pct	Waga zadania - jaki procent czasu pracy zajmuje (np. 6,8%)
context_sensitivity	Jak bardzo ocena tego zadania zależy od kontekstu (niska / średnia / wysoka)
presence_level	Jak często to zadanie jest wykonywane (sporadycznie / regularnie / często)
include_in_scoring	Czy to zadanie wchodzi do oceny punktowej (tak / nie)

To właśnie validated_inventory jest pierwszym miejscem, w którym rola zostaje rozbita na konkretne obserwacje typu „ta rola, w tym kontekście, to zadanie”. W naszym przykładzie wyłoniono 18 takich zadań.

Paczka dowodowa: co „widzi” system, gdy ocenia zadanie

Przed dokonaniem oceny system przygotowuje dla każdego zadania tzw. paczkę dowodową (evidence_pack). Jest to minimalny zestaw materiałów potrzebny do oceny jednego zadania w jednym kontekście.

Każda paczka zawiera trzy warstwy fragmentów:

Warstwa	Co zawiera	Analogia
primary_fragments	Fragmenty bezpośrednio opisujące dane zadanie	Opis stanowiska pracy dla tego konkretnego zadania
support_fragments	Fragmenty dotyczące pokrewnych kompetencji i wiedzy	CV i kwalifikacje osoby wykonującej to zadanie
context_fragments	Fragmenty opisujące kontekst organizacyjny	Opis firmy, w której to zadanie jest wykonywane

Wszystkie paczki razem z kontekstem, inwentarzem i profilem roli tworzą scoring_bundle - kompletny materiał wejściowy do oceny. Można go porównać do teczki, którą ekspert-audytory otrzymuje przed rozpoczęciem oceny.

Bazowe oceny T, P, A: pierwsza runda oceniania

Na podstawie paczki dowodowej system generuje bazową ocenę T, P i A dla każdego zadania. W aktualnej wersji systemu (pipeline v4) ocenę przeprowadza model AI (duży model językowy), który otrzymuje szczegółowe instrukcje (prompt), co i jak ma oceniać.

Co konkretnie bierze pod uwagę ocena T (automatyzowalność techniczna)?

Czy dane wejściowe i wyjściowe zadania istnieją w formie cyfrowej. Czy proces jest powtarzalny i sformalizowany. Czy wynik można zweryfikować automatycznie. Czy zadanie wymaga fizycznej interakcji z obiektem lub środowiskiem. Im bardziej zadanie jest cyfrowe, powtarzalne i weryfikowalne, tym wyższe T.

Co bierze pod uwagę ocena P (automatyzowalność wdrożeniowa/praktyczna)?

Czy organizacja jest gotowa na integrację AI w ten proces. Jakie są wymogi zgodności (compliance) i regulacyjne. Jak jest ryzyko i koszt błędu. Jak zmienny jest przebieg pracy. Jakie są bariery organizacyjne. Im mniej barier, tym wyższe P.

Co bierze pod uwagę ocena A (augmentowalność)?

Jaki jest potencjał współpracy człowiek-AI. Czy AI może przygotowywać dane, sugerować rozwiązania, przyspieszać pracę. Czy człowiek zachowa kontrolę nad ostatecznym rezultatem. Im większy potencjał wzmacniania, tym wyższe A.

Przykład z testowego przebiegu

Dla zadania „Debugowanie i poprawa oprogramowania” (TASK-ROLE-251401-01) bazowe oceny wyniosły:

Wymiar	Wartość	Interpretacja
T (automatyzowalność techniczna)	7,00	Wysokie - debugowanie ma dużo elementów algorytmicznych i cyfrowych
P (automatyzowalność wdrożeniowa/praktyczna)	6,00	Umiarkowanie wysokie - outsourcing i zmienność wymagań wprowadzają pewne bariery
A (augmentowalność)	9,00	Bardzo wysokie - AI świetnie wspiera programistę w debugowaniu, podpowiadając poprawki

Każda ocena ma przypisane pola cited_fragment_ids - identyfikatory fragmentów z bazy dowodowej, na których się opiera. To oznacza, że zawsze można sprawdzić, dlaczego system przyznał daną ocenę.

Czym jest zakorzenienie (grounding)?

Oprócz samych ocen T, P, A system generuje tzw. zakorzenienie - cztery diagnostyczne wskaźniki opisujące, „ile ludzkości” jest w danym zadaniu. Te wskaźniki nie zastępują T/P/A, ale pomagają interpretować wyniki. Dotyczą: ekspertyzy sytuacyjnej (czy zadanie wymaga wieloletniego doświadczenia), koordynacji społeczno-organizacyjnej (czy wymaga pracy z ludźmi), odpowiedzialności i zgodności (czy wymaga formalnej odpowiedzialności), oraz obecności fizycznej (czy wymaga bycia „na miejscu”). Te wskaźniki nie są używane dalej.

Wymiar H: kwestionariusz 12 pytań

Wymiar H (human constraint index, w skrócie HCI) jest mierzony osobnym narzędziem - kwestionariuszem składającym się z 12 pytań. Każde pytanie dotyczy jednej cechy zadania, która wpływa na to, czy AI może zastąpić człowieka.

12 pytań kwestionariusza

Każde pytanie jest formułowane w sposób „pro-AI” - wysoka odpowiedź (blisko 10) oznacza, że z perspektywy danej cechy AI mogłoby łatwo zastąpić człowieka. Oto te pytania:

Nr	Nazwa techniczna	Co pyta w prostych słowach
1	stable_predictable_environment	Czy środowisko pracy jest stabilne i przewidywalne?
2	fully_remote_digital_execution	Czy zadanie można wykonać w pełni zdalnie i cyfrowo?
3	digitally_processed_data_dependence	Czy zadanie opiera się na cyfrowych danych?
4	structured_countable_data_dependence	Czy dane są ustrukturyzowane i policzalne?
5	repeatable_without_adaptation	Czy zadanie jest powtarzalne bez konieczności adaptacji?
6	instructions_procedures_suffice	Czy wystarczą instrukcje i procedury do wykonania?
7	soft_skills_marginal	Czy kompetencje miękkie są nieistotne?
8	exploration_judgment_seldom	Czy zadanie rzadko wymaga twórczego myślenia?
9	physical_interactions_not_required	Czy nie wymaga fizycznej interakcji?

10	deep_trust_relationships_not_required	Czy nie wymaga głębokich relacji opartych na zaufaniu?
11	tightly_coordinated_team_not_required	Czy nie wymaga ścisłej koordynacji w zespole?
12	scalable_without_quality_loss	Czy można skalować bez utraty jakości?

Jak liczymy H z odpowiedzi

Ponieważ pytania są sformułowane „pro-AI” (wysoka odpowiedź = AI sobie poradzi), musimy odwrócić skalę, żeby uzyskać wskaźnik ograniczenia ludzkiego. Wzór jest prosty:

Dla każdego pytania obliczamy: $hci_i = 10 - q_i$ (gdzie q_i to surowa odpowiedź).

Następnie uśredniamy: $HCI = \text{średnia z 12 wartości } hci_i$.

Wynik HCI bliski 10 oznacza: „to zadanie jest głęboko ludzkie i AI nie jest w stanie zastąpić człowieka”. Wynik bliski 0 oznacza: „z perspektywy kompetencji ludzkich nie ma istotnych barier dla zastąpienia przez AI”.

W naszym przykładzie zadanie „Debugowanie i poprawa oprogramowania” otrzymało $HCI = 4,00$ - umiarkowane ograniczenie ludzkie. Debugowanie wymaga pewnej ekspertyzy i osądu, ale w dużej mierze opiera się na cyfrowych danych i powtarzalnych wzorcach.

Analiza strukturalna: korekty uwzględniające zależności między zadaniami

Dotychczasowe oceny T, P, A i H traktowały każde zadanie osobno. Ale w rzeczywistości zadania w jednej roli są ze sobą powiązane. Analiza strukturalna jest „drugim przebiegiem”, który koryguje bazowe oceny, uwzględniając trzy zjawiska:

Bundling i unbundling

Bundling oznacza, że pewne zadania są ze sobą „sklejone” w praktyce - trudno zautomatyzować jedno bez drugiego. Jeśli AI przejmie debugowanie, ale nie może przejąć powiązanej komunikacji z klientem, to automatyzacja samego debugowania jest mniej użyteczna.

Unbundling to odwrotność - możliwość „odczepienia” zadania od reszty roli. Jeśli debugowanie można wydzielić jako oddzielny proces, jego automatyzacja staje się łatwiejsza.

Przesunięcie kompetencyjne (expertise shift)

Gdy AI przejmuje część zadań, zmienia się profil kompetencyjny pozostałych. Programista, który przestaje ręcznie debugować, musi za to umieć weryfikować wyniki AI, formułować precyzyjne zapytania i rozumieć ograniczenia narzędzi. To jest przesunięcie, nie eliminacja kompetencji.

Nowe zadania indukowane przez AI (ai_induced_tasks)

Wdrożenie AI często rodzi zupełnie nowe zadania: nadzór nad AI, walidacja wyników, zarządzanie promptami, audyt algorytmów. Te nowe zadania mogą częściowo kompensować automatyzację starych.

Jak korekty działają matematycznie

Analiza strukturalna nie liczy nowych ocen od zera. Zamiast tego produkuje jawne korekty (delty), które są dodawane do bazowych ocen. Każda delta jest ograniczona maksymalną wartością (np. $\pm 1,5$ dla T), co zapewnia, że korekty nie mogą zdominować bazowej oceny.

Korekty są obliczane na podstawie sygnałów strukturalnych, takich jak: siła bundlingu, łatwość unbundlingu, zysk czasowy z automatyzacji, presja nowych zadań, zmiana złożoności, intensywność weryfikacji, czy zapotrzebowanie na zaufanie. Każdy sygnał ma określoną wagę w formule - wagi i formuły są jawne i stałe.

Przykład korekty

Dla zadania „Debugowanie i poprawa oprogramowania” korekty wyniosły:

Delta	Wartość	Interpretacja
delta_T	+0,77	Unbundling i zysk czasowy przesuwają automatyzowalność techniczną w górę
delta_P	+0,49	Lekkie ułatwienie wdrożeniowe dzięki możliwości oddzielenia zadania
delta_A	+0,03	Minimalna zmiana - augmentowalność i tak była bardzo wysoka
delta_H (delta_HCI)	-0,41	Analiza strukturalna obniża ograniczenie ludzkie - okazuje się, że w kontekście powiązań z innymi zadaniami, debugowanie jest nieco mniej „ludzkie” niż sugeruje sam kwestionariusz

Ważne: delty są ograniczone politycznie (maksimum $\pm 1,5$ dla T i P, $\pm 1,25$ dla A, $\pm 1,5$ dla H). To zabezpieczenie projektowe - drugi przebieg ma korygować, nie dominować wynik bazowy.

Wynik końcowy: efektywne TPA+H

Wynik końcowy dla każdego zadania to prosta kompozycja:

$T_{\text{efektywne}} = T_{\text{bazowe}} + \Delta T$

$P_{\text{efektywne}} = P_{\text{bazowe}} + \Delta P$

$A_{\text{efektywne}} = A_{\text{bazowe}} + \Delta A$

$H_{\text{efektywne}} = H \text{ z kwestionariusza (HCI)} + \Delta H$

(Wartości po dodaniu są przycinane do zakresu 0–10.)

Pełny wynik dla przykładowego zadania

Warstwa	T	P	A	H (HCI)
Bazowa ocena	7,00	6,00	9,00	4,00
Korekta strukturalna	+0,77	+0,49	+0,03	−0,41
Wynik efektywny	7,77	6,49	9,03	3,59

Co to oznacza w praktyce? Debugowanie w małej firmie outsourcingowej IT jest zadaniem o wysokim potencjale automatyzacji technicznej (7,77/10), umiarkowanej gotowości wdrożeniowej (6,49/10), bardzo wysokim potencjale wspomagania przez AI (9,03/10), i umiarkowanym ograniczeniu ludzkim (3,59/10). AI najprawdopodobniej będzie potężnym narzędziem wspierającym programistę w debugowaniu, ale pełna automatyzacja wymaga jeszcze pokonania barier organizacyjnych i pewnych kompetencji ludzkich.

Kluczowa cecha: wynik końcowy daje się rozłożyć na warstwy. Każdy, kto chce zrozumieć ocenę, może sprawdzić bazową ocenę, wynik kwestionariusza i korekty osobno. Nie ma „czarnej skrzynki”.

Agregacja: od zadania do roli

Po obliczeniu efektywnych wyników TPA+H dla każdego zadania, wyniki są agregowane w górę - najpierw do poziomu kontekstu (wszystkie zadania w jednej roli w jednym kontekście), potem do poziomu roli (wszystkie konteksty razem).

Ważone vs. nieważone

System oblicza dwa zestawy podsumowań:

Średnia nieważona (summary) - prosta średnia po zadaniach, traktuje każde zadanie jednakowo.

Średnia ważona (weighted_summary) - uwzględnia wagę zadania (weight_pct), czyli jaki procent czasu pracy zajmuje. **To właśnie ten wynik należy interpretować jako kanoniczny.**

Różnica bywa istotna. Jeśli zadanie o bardzo niskim T zajmuje 40% czasu pracy, a zadanie o bardzo wysokim T zajmuje 2%, to średnia nieważona zawyży ogólną automatyzowalność roli.

Końcowe wyniki ważne dla przykładu

Wymiar	Wartość bazowa	Delta	Wartość efektywna
T (automatyzowalność techniczna)	6,42	+0,40	6,82
P (automatyzowalność wdrożeniowa/praktyczna)	5,25	+0,24	5,49
A (augmentowalność)	8,35	+0,03	8,38
H (human_constraint_index)	4,81	-0,16	4,65

Interpretacja dla całej roli: Programista aplikacji w małej firmie IT outsourcingowej to rola, w której AI ma bardzo duży potencjał wspierania (A = 8,38), umiarkowaną automatyzowalność techniczną (T = 6,82), średnią gotowość wdrożeniową (D = 5,49), i umiarkowane ograniczenie ludzkie (H = 4,65). Strategicznie oznacza to: inwestycja w narzędzia AI wspomagające programistów (augmentacja) jest bardziej obiecująca niż próba pełnej automatyzacji stanowiska.

Audytowalność: jak sprawdzić, skąd wzięty się wyniki

Cały system jest zaprojektowany tak, aby każdy wynik dał się prześledzić wstecz do materiału źródłowego. W praktyce oznacza to, że:

Każda ocena bazowa (T, P, A) ma listę cited_fragment_ids - identyfikatorów fragmentów z bazy dowodowej, które uzasadniają ocenę. Każdy wynik kwestionariusza 12Q (tacit knowledge) można rozłożyć na 12 osobnych

odpowiedzi. Każda korekta strukturalna ma jawne sygnały wejściowe i deterministyczną formułę. Każdy artefakt zawiera informacje o wersji prompta, użytym modelu AI i znacznikach czasowych.

Cała ścieżka artefaktów (od harmonization_snapshot przez evidence_store, role_profile, validated_inventory, scoring_bundle, task_context_score, kwestionariusz 12Q (tacit knowledge), analizę strukturalną, aż po efektywne wyniki i agregacje) jest łańcuchem plików JSON, w którym każdy etap odwołuje się do poprzednich.

To jest fundamentalna różnica wobec podejścia typu „podaj dane do modelu AI, a on powie ci wynik”.

Tutaj wynik jest transparentny: można otworzyć dowolny artefakt i sprawdzić dokładnie, co i dlaczego się stało.

Podsumowanie: jak działa cały system

Metodologia składa się z sekwencji przejrzystych kroków, w której każdy etap produkuje audytowalny artefakt.

Na początku ustalamy precyzyjnie, o jakiej roli mówimy (harmonizacja), i budujemy bazę materiałów dowodowych z uznanych klasyfikacji zawodów. Następnie tworzymy listę konkretnych zadań dostosowaną do kontekstu organizacyjnego. Każde zadanie jest oceniane w trzech wymiarach (T, P, A) i osobno mierzone kwestionariuszem 12 pytań (wymiar H). Następnie analiza strukturalna koryguje wyniki, uwzględniając zależności między zadaniami. Na końcu wyniki są składane w efektywne oceny i agregowane do poziomu roli.

Cały system jest zaprojektowany tak, aby wynik końcowy nigdy nie był „czarną skrzynką”. Każdą liczbę można rozłożyć na warstwy: bazową ocenę, wynik kwestionariusza, korektę strukturalną. Każdą ocenę można prześledzić do materiału źródłowego. A każdy artefakt dokumentuje, w jakim trybie wykonawczym i z jakim modelem AI został wygenerowany.

Efekt: audytowalna, wielowarstwowa ocena wpływu AI na pracę, która daje się rozłożyć na części i zweryfikować na każdym etapie.

Załącznik nr 2

Wskaźniki TPAH dla każdej roli

Wartości zapisane jako wynik +/- odchylenie standardowe po kontekstach roli. P = automatyzowalność praktyczna/wdrożeniowa.

Nazwa roli	T	P	A	H
Kierownik projektu	5.75 +/- 0.33	4.10 +/- 0.60	7.91 +/- 0.15	5.73 +/- 0.32
Konstruktor	5.80 +/- 0.08	3.91 +/- 0.53	7.69 +/- 0.09	5.23 +/- 0.28
Technolog	5.54 +/- 0.46	3.77 +/- 1.05	7.57 +/- 0.16	4.83 +/- 0.28
Specjalista utrzymania ruchu	2.98 +/- 0.18	2.38 +/- 0.35	4.34 +/- 0.18	4.78 +/- 0.29
Kierownik zespołu	5.48 +/- 1.04	4.02 +/- 0.91	7.35 +/- 0.48	6.11 +/- 0.37
Planista produkcji	7.13 +/- 0.18	5.32 +/- 0.61	8.30 +/- 0.10	3.98 +/- 0.39
Kontroler jakości	5.69 +/- 0.16	4.16 +/- 0.78	7.11 +/- 0.18	3.81 +/- 0.54
Specjalista do spraw sprzedaży	6.57 +/- 0.36	5.12 +/- 0.60	8.08 +/- 0.23	4.71 +/- 0.42
Operator maszyn i urządzeń	4.09 +/- 0.14	3.06 +/- 0.55	5.07 +/- 0.07	3.90 +/- 0.34
Ślusarz-spawacz-monter	3.27 +/- 0.08	2.14 +/- 0.52	4.65 +/- 0.21	4.99 +/- 0.08
Analitik danych	7.86 +/- 0.17	6.15 +/- 0.81	8.79 +/- 0.08	3.53 +/- 0.34
Specjalista do spraw marketingu i treści cyfrowych	7.20 +/- 0.20	5.56 +/- 0.55	8.44 +/- 0.05	4.53 +/- 0.20
Programista aplikacji	6.37 +/- 0.36	4.54 +/- 0.98	8.22 +/- 0.12	5.09 +/- 0.46
Radca prawny	5.30 +/- 0.07	3.33 +/- 0.17	7.86 +/- 0.09	6.20 +/- 0.12
Kierownik sprzedaży	5.25 +/- 0.28	3.77 +/- 0.44	7.38 +/- 0.15	5.66 +/- 0.34
Księgowy	7.36 +/- 0.12	5.52 +/- 0.38	8.55 +/- 0.08	2.91 +/- 0.16
Specjalista do spraw bezpieczeństwa informacji	6.84 +/- 0.12	4.95 +/- 0.74	8.39 +/- 0.07	4.30 +/- 0.30
Specjalista do spraw administracji	7.28 +/- 0.26	5.57 +/- 0.66	8.09 +/- 0.10	2.88 +/- 0.22
Analitik finansowy	6.40 +/- 0.13	4.71 +/- 0.34	7.94 +/- 0.13	4.38 +/- 0.27
Specjalista do spraw public relations	5.86 +/- 0.17	4.25 +/- 0.57	7.98 +/- 0.02	6.33 +/- 0.19
Kierownik produkcji	6.00 +/- 0.25	4.29 +/- 0.68	7.72 +/- 0.11	4.88 +/- 0.19
Specjalista ds. planowania produkcji	7.26 +/- 0.25	5.48 +/- 0.89	8.43 +/- 0.09	3.82 +/- 0.28
Kierownik działu kadr (HR)	6.29 +/- 0.26	4.53 +/- 0.44	7.79 +/- 0.03	5.13 +/- 0.21
Dyrektor finansowy	6.45 +/- 0.35	4.51 +/- 0.55	7.80 +/- 0.11	4.63 +/- 0.26
Specjalista do spraw logistyki	6.17 +/- 0.17	4.29 +/- 0.67	7.77 +/- 0.06	4.92 +/- 0.15
Analitik systemów teleinformatycznych	6.84 +/- 0.27	5.03 +/- 0.82	8.26 +/- 0.13	4.71 +/- 0.40
Specjalista do spraw zakupów	7.02 +/- 0.22	5.13 +/- 0.53	8.36 +/- 0.05	3.94 +/- 0.21
Mistrz (brygadzysta) produkcji	6.11 +/- 0.12	4.43 +/- 0.39	7.61 +/- 0.13	4.71 +/- 0.15
Kierownik działu planowania produkcji	5.72 +/- 0.15	3.93 +/- 0.51	7.60 +/- 0.13	5.10 +/- 0.38
Inżynier produkcji	6.56 +/- 0.12	4.46 +/- 0.80	8.12 +/- 0.11	5.04 +/- 0.30
Programista i operator obrabiarek sterowanych numerycznie	6.77 +/- 0.24	4.37 +/- 0.96	7.82 +/- 0.10	3.29 +/- 0.27
Dyrektor ds. badań i rozwoju	5.80 +/- 0.35	3.97 +/- 0.64	7.69 +/- 0.15	5.59 +/- 0.23
Koordynator projektu	6.05 +/- 0.15	4.38 +/- 0.68	8.23 +/- 0.10	5.14 +/- 0.17

Analitik kosztów	6.92 +/- 0.20	5.55 +/- 0.54	8.12 +/- 0.10	3.58 +/- 0.15
Kierownik działu zakupów	6.97 +/- 0.30	5.12 +/- 0.84	8.19 +/- 0.15	3.82 +/- 0.26
Inżynier badań i rozwoju	6.33 +/- 0.14	4.13 +/- 0.69	8.02 +/- 0.14	5.01 +/- 0.29
Inżynier optymalizacji procesów	6.46 +/- 0.39	4.67 +/- 0.99	8.04 +/- 0.13	4.80 +/- 0.31
Nauczyciel przedmiotów zawodowych w zakresie sztucznej inteligencji	5.31 +/- 0.06	3.83 +/- 0.13	7.34 +/- 0.04	5.62 +/- 0.17
Mechanik	3.72 +/- 0.29	2.78 +/- 0.56	5.59 +/- 0.20	4.56 +/- 0.13
Magazynier	4.90 +/- 0.10	4.25 +/- 0.14	5.90 +/- 0.15	3.54 +/- 0.34
Kierownik do spraw logistyki	6.56 +/- 0.27	4.73 +/- 0.50	7.92 +/- 0.03	4.76 +/- 0.28
Specjalista ds. zarządzania dostawcami	6.86 +/- 0.27	4.78 +/- 0.66	8.31 +/- 0.08	4.33 +/- 0.31
Analitik ryzyka	7.72 +/- 0.20	6.06 +/- 0.68	8.62 +/- 0.04	3.50 +/- 0.16
Inżynier jakości	7.09 +/- 0.31	5.12 +/- 1.17	8.21 +/- 0.05	3.83 +/- 0.12
Specjalista do spraw kadr i płac	7.22 +/- 0.24	5.75 +/- 0.57	8.37 +/- 0.06	3.82 +/- 0.20
Specjalista do spraw controllingu	6.18 +/- 0.33	4.34 +/- 0.33	7.82 +/- 0.16	3.92 +/- 0.23
Kierownik administracyjny	6.25 +/- 0.28	4.49 +/- 0.66	7.89 +/- 0.05	4.51 +/- 0.19
Kierownik działu zarządzania jakością	6.48 +/- 0.44	4.65 +/- 1.03	8.06 +/- 0.18	4.56 +/- 0.16
Specjalista do spraw badań i rozwoju	6.84 +/- 0.36	4.88 +/- 0.89	8.03 +/- 0.07	4.68 +/- 0.26
Specjalista do spraw przygotowania produkcji	7.47 +/- 0.23	5.51 +/- 0.94	8.40 +/- 0.09	3.58 +/- 0.30

Załącznik nr 3 – karty stanowisk