# SZTUCZNA INTELIGENCJA

## Made in Asia

ANNA PASTWA, ROBERT SIUDAK, BARBARA SZTOKFISZ

INSTYTUT KOŚCIUSZKI

# SZTUCZNA INTELIGENCJA

## Made in Asia

ANNA PASTWA, ROBERT SIUDAK, BARBARA SZTOKFISZ

INSTYTUT KOŚCIUSZKI

## AUTORZY:

**Barbara Sztokfisz**
Sztuczna inteligencja w służbie zdrowia

**Robert Siudak**
Inteligentny transport

**Anna Pastwa**
Sztuczna inteligencja w rolnictwie

REDAKCJA: Wioletta Brzęcka, Robert Siudak
SKŁAD I PROJEKT GRAFICZNY: Joanna Świerad-Solińska

## PARTNER RAPORTU:

SAMSUNG

Podziękowania:
Jacek Łęgiewicz – Samsung
Sylwia Gardyna – Samsung

Poglądy wyrażone w ramach publikacji stanowią oceny poszczególnych autorów i nie powinny być utożsamiane ze stanowiskiem Instytutu Kościuszki i partnerów publikacji. Publikacja stanowi wkład w debatę publiczną. Poszczególni autorzy są odpowiedzialni wyłącznie za swoje opinie i ich stanowisko nie może być utożsamiane ze stanowiskami innych autorów tego raportu.

INSTYTUT KOŚCIUSZKI

Instytut Kościuszki
ul. Feldmana 4/9-10
31-130 Kraków, Polska
+48 12 632 97 24
www.ik.org.pl
instytut@ik.org.pl

© Instytut Kościuszki
Kraków, 2019

# SPIS TREŚCI

**EXECUTIVE SUMMARY** ..... **5**

**SZTUCZNA INTELIGENCJA W SŁUŻBIE ZDROWIA** ..... **11**

Światowy rynek AI w sektorze zdrowia ..... 12

Obszary zastosowania ..... 12

Wyzwania i rekomendacje dla AI w służbie zdrowia ..... 19

**INTELIGENTNY TRANSPORT** ..... **23**

Światowy rynek inteligentnego transportu ..... 24

Obszary zastosowania ..... 25

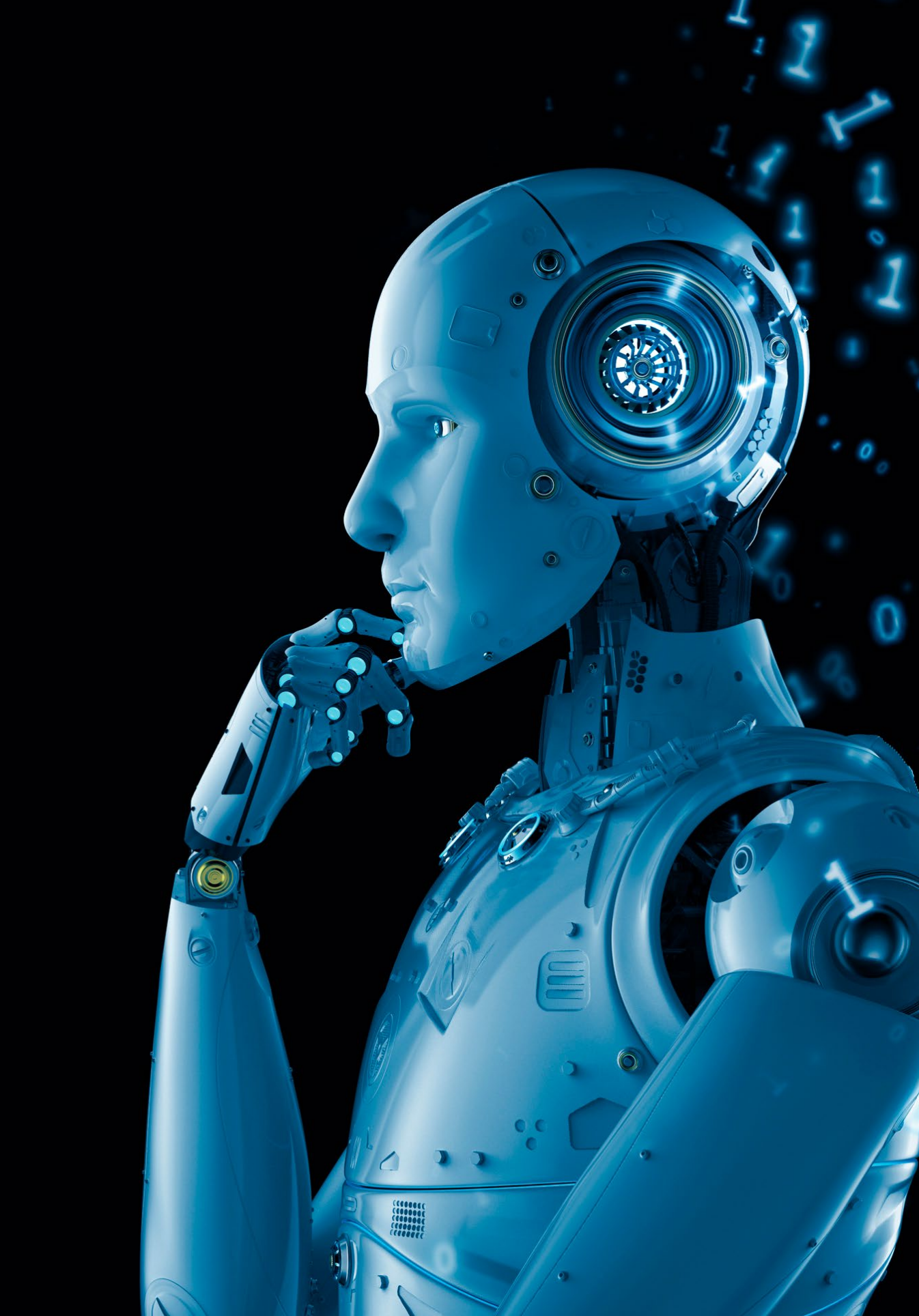
Wyzwania, rekomendacje, dobre praktyki z Azji ..... 30

**SZTUCZNA INTELIGENCJA W ROLNICTWIE** ..... **33**

Światowy rynek AI w sektorze rolnictwa w roślinnej produkcji rolno-spożywczej ..... 34

Obszary zastosowania AI w sektorze rolnictwa w produkcji roślinnej ..... 35

Wyzwania i rekomendacje dla dalszego rozwoju technologii opartej na AI w rolnictwie ..... 42



# EXECUTIVE SUMMARY

W najbliższych latach sztuczna inteligencja (ang. *Artificial Intelligence*, AI) zmieni to jak pracujemy, podróżujemy, leczymy się czy robimy zakupy. Samouczące się algorytmy napędzane coraz większą ilością danych cyfrowych produkowanych nie tylko przez komputery, ale też sprzęt domowy, samochody lub urządzenia podłączone do Internetu Rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT), potrafią nas wspierać w coraz szerszej gamie codziennych działań. Postępy w zakresie uczenia maszynowego, sztucznych sieci neuronowych czy widzenia komputerowego sprawiają, że przeszkodą na drodze do implementacji rozwiązań AI przestaje być technologia. Coraz częściej staje się nią poziom gotowości naszego rynku, systemu prawnego i samego społeczeństwa do wdrożenia innowacyjnych technologii oraz związanych z tym zmian w funkcjonowaniu określonych branż.

W wielu sektorach Azja doświadcza dziś unikalnej na skalę światową implementacji AI w życiu codziennym obywateli. Jak pokazują badania, w kolejnych latach stanie się to także udziałem innych regionów, w tym Europy i Polski. Kraje azjatyckie mogą być postrzegane jako poligon doświadczalny w zakresie wdrażania różnorodnych rozwiązań AI oraz modeli biznesowych z nimi związanych, a także ich konsekwencji dla gospodarki, rynku pracy czy nawet kultury. Patrząc na państwa Dalekiego Wschodu, możemy zapytać wprost: co zrobić, aby przyspieszyć masowe wdrożenie AI w naszej gospodarce, podnosząc tym samym jej konkurencyjność? Ale także jak ucząc się na cudzych błędach przygotować nasze społeczeństwo na implementację AI na szeroką skalę?

Celem niniejszego raportu jest poruszenie najbardziej istotnych kwestii, związanych nie tyle z samym rozwojem sztucznej inteligencji, co jej implementacją w realnej gospodarce. Zdecydowano się dokonać tego w oparciu o analizę trzech sektorów – zdrowia, rolnictwa, transportu – oraz o dynamikę ich rozwoju w krajach azjatyckich. Jednocześnie czytelnik nie znajdzie w publikacji wielu przykładów pochodzących

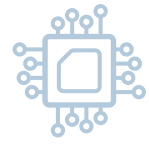
z państwa będącego regionalnym, a nawet światowym liderem w zakresie rozwoju AI – Chin. Jest to zabieg celowy. Jego zadaniem jest pokazanie, że nie tylko globalni liderzy, tacy jak Chińska Republika Ludowa czy Stany Zjednoczone, są w stanie skutecznie wdrażać AI na masową skalę. Zaprezentowane w raporcie przykłady z Korei Południowej, Japonii, Singapuru czy Malezji potwierdzają, że kraje o podobnej wielkości rynku, ludności i PKB jak Polska, Niemcy czy Hiszpania są w stanie także skorzystać z pozycji tzw. *early adopters* technologii AI.

**Uczenie maszynowe** (ang. *machine learning*) – dział sztucznej inteligencji oraz nauka interdyscyplinarna oparta w szczególności na takich dyscyplinach jak informatyka, robotyka i statystyka. Jej celem jest tworzenie automatycznych systemów samodoskonalących się przy pomocy zgromadzonego doświadczenia (najczęściej dużych wolumenów danych) i nabywania na tej podstawie nowej wiedzy, a tym samym zwiększania zdolności systemu do rozwiązania postawionego przed nim zadania.

## SZTUCZNA INTELIGENCJA W SŁUŻBIE ZDROWIA

Sztuczna inteligencja niesie niewątpliwie rewolucyjne skutki dla sektora zdrowia zwiększając dostęp do usług medycznych, zmniejszając ich koszt, a także poprawiając skuteczność i efektywność prowadzonego leczenia. Szacuje się, że roczne tempo wzrostu wydatków na służbę zdrowia w latach 2017-2021 wyniesie 4,1% i napędzane będzie starzeniem się populacji, wzrostem gospodarczym w krajach rozwijających się, a także rosnącymi kosztami pracy. Wysokie (i wciąż rosnące) wydatki na opiekę zdrowotną, a także częsta systemowa nieefektywność tego sektora sprawiają, że pojawia się potencjał innowacyjny, który wykorzystywany jest przez pionierów nowych technologii. Rozmiar globalnego rynku AI w sektorze zdrowia szacowany był w 2018 roku na 1,3 miliarda dolarów, a jego przewidywany wzrost w latach 2019-2025 wynieść ma 41,7% rocznie. Inteligentne rozwiązania w służbie zdrowia pojawiają się w takich obszarach jak:

- wczesne wykrywanie chorób,
- diagnostyka,
- opracowywanie nowych leków,
- wsparcie w podejmowaniu decyzji,
- leczenie i monitorowanie terapii,
- systemy opieki dla ludzi starszych.



**Sztuczne sieci neuronowe** (ang. *artificial neural networks*) – rodzaj technologii uczenia maszynowego inspirowany sposobem pracy neuronów w ludzkim mózgu. Są to programy komputerowe, które wykorzystują liczne warstwy węzłów (lub „neuronów") działających równolegle, by uczyć się, rozpoznawać wzorce i podejmować decyzje.

Rozwiązania oparte na AI w sektorze zdrowia, który jest niezwykle istotny z uwagi na swoją krytyczną rolę, jaką pełni w społeczeństwie, pozostają niekiedy szczególnie wrażliwe na kierowane wobec samej technologii zarzuty. Najczęstsze wyzwania, a także wypracowane w odpowiedzi na nie dobre praktyki to:

- Tworzenie dobrej jakości, ustrukturyzowanych oraz mierzalnych danych.
- Wypracowanie odpowiednich procedur, a także przyjęcie proaktywnego i kompleksowego podejścia w celu zapobieżenia

naruszeniom poufności danych pacjentów oraz incydentom związanym z bezpieczeństwem.

- Stworzenie odpowiedniego poziomu regulacji i ram prawnych. Będzie to wymagać znalezienia równowagi pomiędzy koniecznym poziomem ochrony pacjentów oraz zapewnieniem możliwości dalszego rozwoju innowacyjności w sektorze.
- Wyznaczenie zakresu odpowiedzialności, która spoczywa na lekarzach i personelu medycznym oraz na dostawcy danego rozwiązania opartego na AI.
- Dostosowanie strategii rozwoju do charakterystycznych dla danego rynku cech.

**Uczenie głębokie** (ang. *deep learning*) – „głęboka" sieć neuronowa, która obejmuje wiele warstw neuronów i przetwarzanie ogromnych wolumenów danych. Ten zaawansowany rodzaj uczenia maszynowego pozwala rozwiązywać złożone, nieliniowe problemy. To właśnie głębokie uczenie umożliwia rozwój takich technologii i rozwiązań, jak przetwarzanie języka naturalnego (NLP), chatboty czy pojazdy autonomiczne.

Biorąc pod uwagę opisane w niniejszym raporcie przykłady, dalszy rozwój AI w sektorze zdrowia wymaga bez wątpienia kompleksowej współpracy pomiędzy podmiotami świadczącymi usługi medyczne, firmami technologicznymi opracowującymi rozwiązania, a także sektorem publicznym. Wymienione studia przypadków dotyczące azjatyckich krajów oraz przykłady wdrożeń technologii w placówkach medycznych mogą stanowić pewne ilustracje kształtowania się tego typu współpracy i wskazywać na dobre praktyki i rekomendacje dotyczące implementacji AI w sektorze zdrowia na innych rynkach.

## INTELIGENTNY TRANSPORT

**Widzenie komputerowe** (ang. *computer vision*) – dział informatyki zajmujący się komputerowym przetwarzaniem i analizą obrazów, którego celem jest kategoryzowanie obiektów, wysnuwanie wniosków lub przygotowywanie statystyk. **Widzenie maszynowe** (ang. *machine vision*) odnosi się z kolei do zastosowania widzenia komputerowego w przemyśle.

Inteligentna mobilność to nie tylko autonomiczne samochody – to wieloaspektowe zagadnienie, dotyczące także ruchu lotniczego, szynowego, przewozu zarówno osób jak i dóbr, pojedynczych przesyłek oraz ładunków cargo. Według analiz dotyczących inwestycji typu Venture Capital (VC) w roku 2018 to właśnie spółki z sektora transportowego przyciągnęły największą część z globalnej puli 254 miliardów dolarów przeznaczonych na finansowanie innowacyjnych start-upów oraz firm. Jak pokazują badania, sam globalny rynek samochodów autonomicznych szacowany jest aktualnie na 54,23 miliarda dolarów. W ramach inteligentnego transportu wyróżnić można cztery obszary zastosowania AI:

- autonomiczne samochody,
- sektor lotniczy oraz autonomiczne statki powietrzne,
- AI na kolei,
- systemy inteligentnego zarządzania mobilnością (w tym modele związane z „mobilnością jako usługą", ang. *Mobility as a Service*, MaaS).

**Analityka predykcyjna** (ang. *predictive analytics*) – proces wydobywania informacji z istniejących zbiorów danych w celu określenia wzorów i przewidywania przyszłych zdarzeń i trendów. W działalności biznesowej modele i analizy predykcyjne są wykorzystywane do badania bieżących i historycznych danych w celu prognozowania zachowań konsumentów oraz identyfikacji potencjalnych zagrożeń i możliwości dla firmy.

Na podstawie omówionych przykładów krajów azjatyckich można wyróżnić następujące dobre praktyki w zakresie wdrażania AI w sektorze transportowym:

- Przeprowadzenie analizy kluczowych wyzwań społecznych i gospodarczych w perspektywie średnio i długookresowej, np. brak rąk do pracy w określonym sektorze – transport publiczny. Analiza roli, jaką może odegrać AI w odpowiedzi na tak nakreślone problemy.
- Proaktywna postawa państwa, które nie tylko inwestuje środki publiczne, ale także podejmuje działania celowe, takie jak np. współpraca z międzynarodowymi liderami rynku AI, wsparcie start-upów czy wprowadzanie zmian w systemie edukacji wyższej.
- Ustanawianie dedykowanych stref testowych dla poszczególnych usług opartych o ruch autonomiczny, umiejscowionych w realnej tkance miejskiej.
- Tworzenie prawa oraz regulacji sprzyjających rozwojowi nie tylko samej technologii AI, ale także modeli biznesowych opartych o jej działanie.

## SZTUCZNA INTELIGENCJA W ROLNICTWIE

Przemysł rolny jest pod ciągłą presją dotyczącą poszukiwania coraz bardziej innowacyjnych rozwiązań w celu lepszego wykorzystania areału upraw, zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko, a przede wszystkim wzrostu wydajności produkcji żywności. To z kolei napędza zapotrzebowanie na nowe technologie w rolnictwie i związaną z tym automatyzację. AI jako zespół rozwiązań interdyscyplinarnych może przynieść zmianę w dzisiejszym sposobie funkcjonowania i postrzegania rolnictwa. Tego typu produkcja rolna generować może szeroki zasób danych pochodzących z różnorodnych czujników, które umożliwiają lepsze zrozumienie otoczenia (np. warunki uprawy, gleby i warunków pogodowych) i samego procesu (dane maszynowe), co z kolei ułatwia dokładniejsze i szybsze podejmowanie decyzji przez rolników.

**Duże wolumeny danych** (ang. *Big Data*) – zasoby o znaczącej wielkości i złożoności, które uniemożliwiają ich przetwarzanie przy użyciu tradycyjnych, powszechnie dostępnych metod analogowych lub cyfrowych. Pojęcie to obejmuje również metody analizy i ekstrakcji wiedzy z tego typu danych, ukrytej pod postacią wzorców, trendów, regularności i wyjątków.

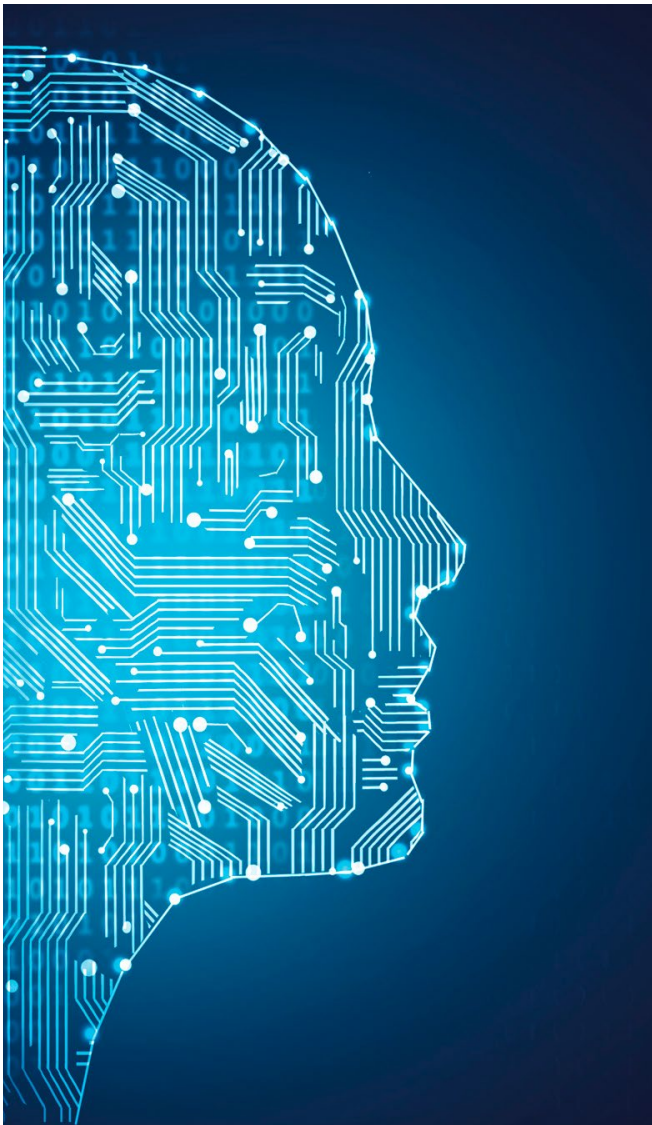
Zastosowania sztucznej inteligencji w roślinnej produkcji rolnej można podzielić na trzy główne kategorie:

- zarządzanie uprawami, w tym: rolna analityka predykcyjna, wykrywanie i kontrola chwastów, chorób i szkodników, monitorowanie jakości produktów rolnych, zautomatyzowane sadzenie i zbiór upraw;
- zarządzanie i kontrola jakości gleby;
- gospodarowanie wodą.

Biorąc pod uwagę tak szerokie możliwości, systematycznie wzrasta liczba zarówno firm, które oferują rozwiązania AI w rolnictwie, jak i podmiotów zainteresowanych inwestowaniem w ten sektor. Niestety wykorzystanie technologii AI w rolnictwie i obszarach wiejskich, zwłaszcza w UE i w Polsce, jest ciągle bardzo niskie. Istnieje szereg wyzwań, ale też szans dla rozwoju europejskiego AgriTech inspirowanych doświadczeniami z krajów Azji:

- Niwelowanie przepaści cyfrowej wśród rolników powodowanej niezrównoważonym dostępem do technologii (tj. mocy obliczeniowej, przepustowości Internetu i zaawansowanego oprogramowania) oraz brakiem wykwalifikowanego personelu. Może się to dokonać poprzez tworzenie partnerstw między właścicielami technologii z krajów-liderów, a sektorem rolnym na wciąż rozwijających się rynkach.
- Wypracowanie standardów gromadzenia danych, ich przechowywania i udostępniania, a także analizy porównawczej i analizy zagregowanych danych rolniczych. Obecnie rolnicy niechętnie dzielą się danymi zebranymi w swoich gospodarstwach a start-upy agrotechniczne budują zazwyczaj systemy zamknięte. Otwarte banki animizowanych danych cyfrowych, prowadzone w formule *open source* mogą stanowić jedną z odpowiedzi na ten problem.
- Zapewnienie finansowania i wsparcia poprzez działanie akceleratorów/inkubatorów start-upowych AgriTech w celu urynkowienia dostępnej technologii AI i dostosowania wypracowanych rozwiązań do stref geograficznych i ich specyficznych mikroklimatów.
- Zapewnienie odpowiedniej infrastruktury i poprawy łączności obszarów wiejskich, np. poprzez dostęp do szerokopasmowego Internetu, aby wykorzystać pełen potencjał technologii cyfrowych.

**Jeziora danych** (ang. *data lakes*) – repozytoria przechowujące ogromną ilość nieprzetworzonych jeszcze danych w ich oryginalnym formacie. W przeciwieństwie do hurtowni danych, gdzie zbiory są uporządkowane w plikach i folderach, w jeziorach danych stosuje się płaską niezhierarchizowaną strukturę. Każdy element danych w jeziorze ma przypisany unikalny identyfikator i jest oznaczony zestawem tagów tworzących poziom metadanych.



# SZTUCZNA INTELIGENCJA W SŁUŻBIE ZDROWIA

Zastosowanie rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w sektorze zdrowia niesie prawdziwie rewolucyjne skutki, począwszy od systemów wczesnego wykrywania chorób, poprzez diagnostykę, wsparcie w podejmowaniu decyzji i leczeniu, chirurgię precyzyjną, aż do systemów opieki dla ludzi starszych. Użycie algorytmów uczących się w medycynie ma potencjał do znacznego obniżenia kosztów opieki oraz leczenia, a także do poprawy jakości usług medycznych, co bezpośrednio przełoży się na zwiększenie dobrobytu społeczeństw. Sposób w jaki rozwiązania te zostaną zaimplementowane w sektorze zdrowia w ciągu kolejnych lat wpłynie na trzy kluczowe wyznaczniki poziomu usług medycznych – ich koszt, jakość oraz dostęp[1]. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że stoimy przed istotnym wyzwaniem demograficznym, jakim jest systematycznie starzejąca się populacja. Problem ten dotyczy głównie gospodarek najbardziej rozwiniętych, takich jak Europa, Stany Zjednoczone czy Japonia. W Unii Europejskiej w 2017 roku prawie co piąty obywatel (19%) miał więcej niż 65 lat[2], a w Japonii, gdzie odsetek ten jest od kilku lat najwyższy na świecie, wyniósł 28.1%[3]. AI może więc nie tylko przyczynić się do budowania skutecznych narzędzi związanych ze świadczeniem usług medycznych dla ludzi chorych, ale także pomóc w obszarze opieki nad osobami starszymi, który wkrótce może stać się kluczowy dla starzejących się społeczeństw. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) przyznaje, że technologie cyfrowe oraz sztuczna inteligencja będą fundamentalnymi czynnikami w drodze do osiągnięcia trzech postawionych przez organizację celów na lata 2019-2023: dodatkowy 1 miliard osób korzystających z powszechnej opieki zdrowotnej, dodatkowy 1 miliard osób lepiej chronionych przed nagłymi zdarzeniami zagrożenia zdrowia oraz dodatkowy 1 miliard osób cieszących się lepszym zdrowiem i dobrym samopoczuciem[4].

## ŚWIATOWY RYNEK AI W SEKTORZE ZDROWIA

Globalne wydatki na ochronę zdrowia wyniosły w 2015 roku 7,2 biliona dolarów, co stanowi 10% światowego PKB[5]. Szacuje się, że ich roczne tempo wzrostu w latach 2017-2021 wyniesie 4,1% i napędzane będzie negatywnymi tendencjami demograficznymi, wzrostem gospodarczym w krajach rozwijających się, a także zwiększającymi się kosztami pracy[6]. Wysokie (i wciąż rosnące) wydatki na opiekę zdrowotną, a także częsta systemowa nieefektywność tego sektora sprawiają, że pojawia się potencjał innowacyjny, który wykorzystywany jest przez pionierów najnowszych technologii. Global Market Insights szacuje rozmiar globalnego rynku AI w sektorze zdrowia w 2018 roku na 1,3 miliarda dolarów oraz jego wzrost w latach 2019-2025 na poziomie 41,7% rocznie. Zgodnie z przytoczonymi przewidywaniami, rynek ten będzie wart w 2025 roku ponad 13 miliardów dolarów. Najbardziej dynamicznego wzrostu – na poziomie 44,4% rocznie – doświadczy region Azji i Pacyfiku (APAC). Będzie to spowodowane przede wszystkim rosnącymi wydatkami na badania naukowe, rozwojem firm farmaceutycznych i biotechnologicznych oraz zwiększającym się popytem na lepszej jakości usługi medyczne[7]. Warto podkreślić, że to właśnie w tym regionie znajdują się kraje będące liderami w projektowaniu oraz wdrażaniu rozwiązań AI w sektorze zdrowia czyli m.in. Japonia, Korea Południowa, Singapur czy Chiny. Według Accenture w samych Stanach Zjednoczonych roczne oszczędności wynikające z zastosowania AI w tym sektorze sięgną 150 miliardów dolarów do 2026 roku[8]. Sektor zdrowia cieszy się również wzrastającą liczbą start-upów oraz coraz większym zainteresowaniem inwestycji typu Venture Capital. KPMG szacuje, że w 2017 roku inwestycje VC w AI w sektorze zdrowia wyniosły niemal 1,3 miliarda dolarów[9]. Głównym powodem jest fakt, że opieka zdrowotna charakteryzuje się dużą liczbą powtarzalnych i stosunkowo rutynowych czynności, takich jak np. interpretacje wyników badań radiologicznych. Co więcej, potencjalne grono odbiorców rozwiązań AI jest bardzo szerokie (pacjenci, lekarze, personel medyczny, instytucje, dostawcy, firmy farmaceutyczne, ubezpieczyciele), co także zwiększa atrakcyjność rynku. W ciągu pięciu lat (2013-2018) start-upy opracowujące rozwiązania AI dla zdrowia zebrały rekordową kwotę 4,3 miliarda dolarów, zajmując pozycję lidera na tle innych sektorów implementujących AI[10]. Raport CB Insights zwraca również uwagę na wyraźny trend dotyczący wzrostu inwestycji ze strony firm farmaceutycznych. W ostatnim czasie najwięksi globalni gracze w sektorze[11] zawarli umowy ze start-upami, zajmującymi się AI w celu opracowania nowych leków m. in. na choroby onkologiczne oraz kardiologiczne. Pomimo iż niewiele jest jeszcze wymiernych wskaźników dotyczących sukcesu tych start-upów, to i tak firmy farmaceutyczne wydają na nie miliony dolarów[12]. Przedstawione dane dotyczące rozmiarów rynku, jego przewidywanego wzrostu, inwestycji, zwiększającej się mocy obliczeniowej i zasobów danych dobrej jakości, a także czynników wpływających na przyszły kształt opieki zdrowotnej bezsprzecznie wskazują, że rozwiązania AI w dziedzinie zdrowia będą się rozwijać wychodząc naprzeciw niskiej efektywności oraz niewystarczającej innowacyjności.

## OBSZARY ZASTOSOWANIA

Szerokie zastosowanie AI w obszarze opieki zdrowotnej wiąże się w dużej mierze z pięcioma następującymi czynnikami[13]:

- Zwiększające się koszty opieki zdrowotnej związane ze starzejącym się społeczeństwem oraz wzrastającą zachorowalnością na choroby przewlekłe.
- Znaczący wzrost zasobów danych cyfrowych.
- Rozwój IT w opiece zdrowotnej, począwszy od rozwoju innowacyjności w produktach medycznych, poprzez analizę Big Data, urządzenia do noszenia na ciele, aż do wykorzystania sztucznej inteligencji, robotyki oraz rozszerzonej rzeczywistości.

- Rozwój cyfrowych technologii mobilnych umożliwiających zarządzanie własnym zdrowiem i samopoczuciem.
- Zwiększająca się dbałość społeczeństwa o własne zdrowie i samopoczucie.

Biorąc pod uwagę wymienione czynniki, a także analizę dostępnych danych źródłowych oraz raportów, poniżej przedstawiono sześć obszarów, w których w zancznej mierze skoncentrowane są rozwiązania AI w sektorze zdrowia: wczesne wykrywanie, diagnostyka, opracowywanie nowych leków, wsparcie w podejmowaniu decyzji, leczenie i monitorowanie terapii oraz systemy opieki dla ludzi starszych (w tym wirtualni asystenci).

## WCZESNE WYKRYWANIE

Rozpoczęcie leczenia na wczesnym etapie rozwoju choroby jest niezwykle istotne, w wielu przypadkach decyduje o zdrowiu i życiu pacjenta, a często daje szansę na całkowite wyleczenie. Algorytmy AI potrafią wykryć nieprawidłowości w wynikach badań z uwzględnieniem bardziej spersonalizowanego profilowania oraz nierzadko z większą precyzją aniżeli lekarze. Przykładowo, nawet takie dane jak zmniejszająca się z upływem czasu szybkość uderzeń na ekranie dotykowego telefonu komórkowego mogą posłużyć jako jeden z czynników ujawniających chorobę[14]. Również noszenie urządzeń medycznych, które w czasie rzeczywistym monitorują oraz analizują z wykorzystaniem algorytmów AI stan zdrowia pacjenta, przyczyniają się do wykrywania anomalii na bardzo wczesnych, często jeszcze uleczalnych etapach choroby.

Algorytmy AI są obecnie stosowane w wykrywaniu takich chorób jak:

- **Choroby serca** – poprzez zastosowanie algorytmów AI w elektrokardiogramach (EKG) możliwe jest wykrycie bezobjawowej dysfunkcji lewej komory sercowej (ang. *Asymptomic Left Ventricular Dysfunction*, ALVD) oraz zidentyfikowanie osób o zwiększonym ryzyku jej rozwoju w przyszłości. ALVD występuję u 3-6% populacji i może prowadzić do niewydolności serca[15].
- **Demencja i Alzheimer** – poprzez analizę wyników nieinwazyjnych metod obrazowania mózgu (takich jak rezonans magnetyczny) algorytm AI jest w stanie wykryć wczesne objawy demencji[16]. Rozpoczęcie leczenia choroby Alzheimera na etapie, gdy pojawią się już widoczne objawy jest często nieefektywne i skutkuje trwałymi uszkodzeniami mózgu, niemożliwymi do odwrócenia. Wykrycie choroby we wczesnym stadium pozwoli również na potencjalne znalezienie lepszych metod spowolnienia bądź nawet zatrzymania postępu choroby[17].
- **Rak** – poprzez syntezę danych na temat pacjentów dotyczących ich stylu życia, przebytych chorób oraz czynników genetycznych, algorytmy są w stanie określić jakie badania powinny zostać wykonane[18]. AI jest także w stanie przeprowadzić analizę obrazów z wyników badań radiologicznych, interpretując je z większą dokładnością niż lekarze[19].
- **Gruźlica** – wczesne wykrycie gruźlicy możliwe jest na podstawie wyników badań radiologicznych klatki piersiowej. Z uwagi na znaczący spadek kosztu urządzeń do radiografii cyfrowej oraz pojawienie się algorytmów potrafiących analizować wyniki badań z bardzo wysoką dokładnością, możliwe jest skuteczne zwalczanie tej choroby[20].
- **Przewidywanie epidemii** – algorytmy na podstawie analizy portali społecznościowych, doniesień lokalnej prasy, sieci społecznościowych pracowników medycznych oraz stron rządowych są w stanie poinformować o możliwości wybuchu epidemii konkretnej choroby. Taka sytuacja miała miejsce m.in. w przypadku wybuchu epidemii gorączki krwotocznej Ebola w Afryce Środkowo-Zachodniej[21].

**Niramai**

Rak piersi pozostaje wciąż główną przyczyną zgonów z powodu nowotworów u kobiet. Według danych WHO, aż 1 na 12 kobiet jest narażona na jego wystąpienie. W Indiach przeżywalność kobiet, które zachorowały na raka piersi wynosi tylko około 50%, a wczesna diagnoza choroby ma kluczowe znaczenie dla zmniejszenia tego współczynnika. Naprzeciw wychodzi opracowane w Indiach narzędzie o nazwie Niramai[22]. Firma zaprojektowała przenośne i łatwe w obsłudze dla każdego lekarza urządzenie do zautomatyzowanych badań przesiewowych ukierunkowanych na diagnostykę raka piersi. Na podstawie wyników prób szacuje się, że Niramai ma o 27% większą dokładność niż badania mammograficzne i potrafi wykryć niewyczuwalne guzy o średnicy 4 mm. Za pomocą internetowego interfejsu SMILE (Software with Machine Intelligence for Life Enhancement) pacjent oraz lekarz mają dostęp do automatycznie wygenerowanego raportu z danymi zawierającymi termiczną analizę obrazu wskazującą na potencjalne nieprawidłowości. Narzędzie to zostało już przetestowane u ponad 4000 kobiet w 12 szpitalach i ośrodkach diagnostycznych. Niramai, dzięki wsparciu Fundacji Billa i Melindy Gatesów, będzie również wkrótce rozwijać narzędzie wspomagane AI w celu kontrolowania rozprzestrzeniania się ślepoty rzecznej. AI zostanie wykorzystana do przewidywania oraz wykrywania obecności robaków pasożytniczych *onchocera volvulus*, które są bezpośrednią przyczyną zachorowań na ślepotę rzeczną[23].

## DIAGNOSTYKA

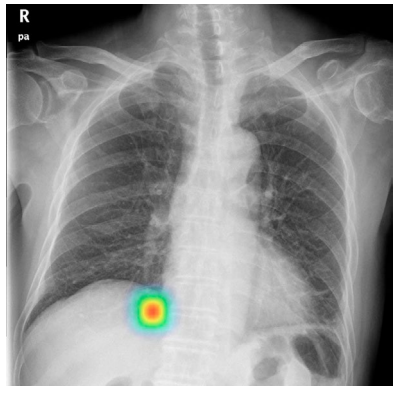
Postawienie trafnej diagnozy stanowi fundament skutecznej terapii. Według Instytutu Medycyny US National Academies błędne diagnozy są powodem około 10% zgonów pacjentów oraz stanowią przyczynę od 6 % do 17 % niepożądanych zdarzeń w szpitalach[24]. Błędy diagnostyczne, w tym także stawianie fałszywie pozytywnych diagnoz (ang. *false positive*), skutkuje niepotrzebnymi dodatkowymi badaniami, które niosą za sobą koszty oraz niepotrzebny stres u pacjentów. Jako ich główne przyczyny wskazuje się: nieskuteczną integrację narzędzi IT, nieefektywną komunikację pomiędzy lekarzami, pacjentami i ich rodzinami oraz systemowe niedoskonałości procesów diagnostycznych[25]. Błędne diagnozy są także głównym powodem odszkodowań wypłacanych za błędy lekarskie[26]. Komputerowe narzędzia diagnostyczne, które w przeciwieństwie do ludzi nie opierają się na żadnych subiektywnych przesłankach, są bez wątpienia dużym wsparciem dla pracowników opieki medycznej[27]. Rozwiązania oferowane przez superszybki komputer IBM Watson są coraz częściej wdrażane w azjatyckich szpitalach w krajach, takich jak Indonezja, Malezja, Bangladesz, Tajwan, Indie, Tajlandia i Chiny[28]. Wciąż rosnąca moc obliczeniowa pozwala na analizę coraz bardziej złożonych przypadków wykrywając analogie, które dla ludzkiego oka i świadomości są nieosiągalne. Południowo-koreańska firma Samsung, lider w dziedzinie technologii dla diagnostyki obrazowej, również wdraża do szeregu swoich rozwiązań algorytmy AI. Służą one m.in. do analizy ultrasonograficznej w wykrywaniu guzów piersi, do analizy komputerowej w wykrywaniu guzów płuc, wspomagają tomografię komputerową, rezonans magnetyczny, a także służą do klasyfikacji zmian chorobowych[29]. Również Canon, japońska firma specjalizująca się w produkcji urządzeń do diagnostyki obrazowej, zaczyna wykorzystywać AI w swoich rozwiązaniach[30]. Około jedna trzecia firm AI oferujących usługi SaaS (ang. *Software as a Service)* w sektorze zdrowia koncentruje się wyłącznie bądź częściowo właśnie na diagnostyce. Rozwiązania jakie oferują to[31]:

- chatboty z funkcją rozpoznawania mowy identyfikujące wzorce w objawach pacjentów,
- rozpoznawanie tkanek nowotworowych,
- analiza danych laboratoryjnych płynów ustrojowych,
- wykrywanie rzadkich chorób genetycznych na podstawie oprogramowania do rozpoznawania twarzy.

**Lunit**

Stworzona w Korei Południowej firma o nazwie Lunit oferuje zestaw opartych na AI narzędzi diagnostycznych. Jednym z nich jest Lunit Insight CXR-Nodule[32], służący do analizy obrazów klatki piersiowej. Narzędzie generuje w pierwszej kolejności informacje o lokalizacji wykrytych zmian w postaci map ciepła, a następnie ocenia prawdopodobieństwo, że wykryta zmiana jest nieprawidłowa. Lunit rekomenduje, aby tego typu diagnostyka była stosowana do interpretacji wyników jako tak zwany *second reader*.

Poniżej znajduje się przykład prawidłowo wykrytego raka płuc z prawdopodobieństwem nieprawidłowości na poziomie 96%. Guz ten nie został wykryty przez 5 na 9 radiologów.




Inne narzędzie oferowane przez firmę Lunit – Lunit Insight MMG[33] analizuje obrazy mammograficzne w celu wykrycia raka piersi. Szacuje się, że może ono potencjalnie poprawić wyniki interpretacji lekarzy (również te fałszywie pozytywnie stawiane diagnozy) o około 10%.

Warto podkreślić, że koreańskie szpitale bardzo chętnie wdrażają technologię AI w swoich placówkach. Jednym z przykładów jest współpraca **Samsung Medical Center** z firmą Lunit. Placówka ta planuje stworzenie systemu wspierającego procesy diagnostyczne w celu rozwijania modeli dotyczących przewidywania wystąpienia chorób oraz optymalizowania procesu podejmowania decyzji przez lekarzy[34]. Samsung Medical Center zapowiedział również współpracę z Microsoft Korea, który dostarcza opartą na AI platformę chmurową Azure[35].

## OPRACOWYWANIE LEKÓW

Opracowanie nowego leku może kosztować średnio nawet 2,5 miliarda dolarów i trwać ponad 10 lat. Nic więc dziwnego, że producenci starają się znaleźć skuteczniejszy i bardziej efektywny kosztowo sposób pracy nad nowymi lekami. AI może przyspieszyć ten proces zmniejszając jednocześnie odsetek niepowodzeń w badaniach, a przez to umożliwiając stworzenie lepszych rozwiązań[36]. W 2018 roku odnotowano znaczący wzrost inwestycji oraz liczby nawiązanych partnerstw pomiędzy firmami farmaceutycznymi a start-upami. Zaobserwowano także bardzo wysoką dynamikę inwestycji typu VC, co świadczy o wzroście atrakcyjności tego sektora. Firmy farmaceutyczne wykorzystują AI do poszukiwania leków immuno-onkologicznych, do terapii chorób metabolicznych czy nowotworowych[37]. AI niesie więc wiele nowych możliwości, jednak na dzień dzisiejszy nie ma wciąż na rynku leku opracowanego z pomocą AI i zatwierdzonego przez którąkolwiek z kluczowych instytucji dopuszczających leki do użytku.

Eksperci podkreślają również, że pomimo iż AI może wesprzeć proces rozwoju nowych leków praktycznie na każdym etapie jego tworzenia, usprawniając i przyspieszając prace badawczo-rozwojowe, to nie może zastąpić faz ich testowania, takich jak badania kliniczne czy syntezy chemiczne[38].

**Engine Biosciences**

Engine Biosciences, firma z siedzibą w Singapurze oraz San Francisco, ma na celu przyspieszenie procesu opracowywania nowych leków, zmniejszenie kosztów tego procesu, a także osiągnięcie większej skalowalności[39]. Zajmuje się rozwijaniem platformy opartej na AI, umożliwiającej naukowcom odkrywanie interakcji genów z sieciami biologicznymi leżącymi u podstaw wielu chorób oraz rozwijaniem zastosowań medycyny precyzyjnej. Firma odniosła już sukcesy w leczeniu chorób neurodegeneracyjnych, autoimmunologicznych oraz chorób skóry.

W zeszłym roku Engine Biosciences pozyskał 10 mln USD dofinansowania, co stanowiło jeden z najwyższych wyników w Azji Południowo-Wschodniej w sektorze medycznym w rundzie seedowej[40].

## WSPARCIE W PODEJMOWANIU DECYZJI

Podejmowanie skutecznych decyzji w odpowiednim czasie jest niezbędne dla efektywnego procesu leczenia. Obserwowany rozwój systemów wspomagania decyzji klinicznych (ang. *clinical decision support systems*, CDSS), w tym systemów inteligentnych (ang. *intelligent clinical decision support systems*, ICDSS), prowadzi do zwiększenia dokładności podejmowanych decyzji. Z uwagi na możliwość analizy znacznie większej ilości danych w krótszym czasie prowadzą one do poprawy efektywności codziennych czynności w służbie zdrowia. Systemy te wspierają personel medyczny na podstawie danych w czasie rzeczywistym z urządzeń monitorujących, danych z historii choroby pacjenta i rodziny, a także przeglądu cech analogicznych oraz trendów w bazach dokumentacji medycznej. Niektóre z obszarów ich zastosowania to: sugerowanie korekt w zaplanowanej terapii, wykrywanie niekorzystnych zmian w stanie zdrowia pacjenta i sugerowanie wymaganej interwencji, proponowanie kolejności obrazowania w celu zminimalizowania szkodliwego promieniowania[41]. AI występuje więc w roli narzędzia rozszerzającego umysł i doświadczenie lekarza.

## LECZENIE I MONITOROWANIE TERAPII

Poza wsparciem w identyfikacji danego schorzenia, AI może również pomóc lekarzom w dopasowaniu odpowiedniego i kompleksowego podejścia do leczenia, koordynacji opieki zdrowotnej oraz pomocy pacjentom w przestrzeganiu programów leczenia[42]. Również rynek urządzeń noszonych na ciele, mających na celu monitorowanie określonych parametrów ich użytkowników (tzw. *wearables*), rośnie bardzo dynamicznie, odnotowując w 2018 roku wzrost na poziomie 8,3% w porównaniu do roku 2017 oraz niemal 28 milionów sztuk sprzedanych urządzeń w drugim kwartale 2018 roku[43]. Możliwości tych urządzeń obejmują śledzenie aktywności ruchowej w ciągu dnia, monitorowanie tętna, ilości i jakości snu, a także bardziej zaawansowane narzędzia, jak pomiar EKG.

**Biofourmis**

Biofourmis to singapurska firma dostarczająca narzędzie spersonalizowanego i inteligentnego monitorowania stanu zdrowia pacjenta o nazwie Biovitalis Analytics Engine[44]. Ma ono na celu przewidywanie oraz zapobieganie niebezpiecznym dla zdrowia lub życia zdarzeniom. System ten, oprócz swojej funkcji ostrzegania w nagłych przypadkach, zmniejsza liczbę ponownych hospitalizacji, a także ogranicza potrzebę wizyt u lekarza.

Ma on swoje zastosowanie w chorobach przewlekłych, takich jak niewydolność serca czy choroby układu oddechowego, a także monitoruje wpływ przepisanego leczenia (np. określonej dawki leku) na stan pacjenta i umożliwia zdalną weryfikację oraz ewentualną korektę dawki.

Firma Biofourmis oferuje także inne narzędzia z wykorzystaniem AI. Jednym z nich jest oparta na chmurze platforma o nazwie RhytmAnalytics, umożliwiająca wykrycie arytmii serca na podstawie danych z urządzeń monitorujących pracę serca, takich jak Holter lub MCT.

Odpowiednia analiza wciąż rosnącej ilości danych z tego typu urządzeń może doprowadzić do identyfikacji trendów wskazujących na anomalie oraz choroby[45]. Pomimo iż urządzenia te zapewne jeszcze długo nie zastąpią wizyt lekarskich, to mogą dostarczyć ich użytkownikom podstawowe dane, a także umożliwić lekarzom zdalne monitorowanie stanu zdrowia pacjentów. Bardzo często odtworzenie rzeczywistych bodźców w warunkach klinicznych nie jest możliwe (np. badanie serca), co prowadzi do otrzymania nierzetelnych wyników. Korea Południowa planuje utworzenie całego centrum medycznego opartego na AI – tzw. **Medical AI Center**. Placówka ma powstać do 2022 roku w mieście Yongin Severance we współpracy z trzema szpitalami: Severance, Gangnam oraz Yongin. Kompleksowe infrastruktura medyczna z wykorzystaniem AI będzie stosowana do diagnozy, leczenia oraz opieki nad chorymi. Przewiduje się, że inwestycja wygeneruje ponad 4000 miejsc pracy[46].

**Neofect**

Powstała w Japonii firma Neofect oferuje zestaw inteligentnych rozwiązań do rehabilitacji[47]. Narzędzie RAPAEL, zaprojektowane dla pacjentów z urazami neurologicznymi oraz mięśniowo-szkieletowymi, umożliwia rehabilitację w domu z użyciem przenośnego i lekkiego sprzętu. Terapie są spersonalizowane i oferują interaktywne ćwiczenia w celu pobudzenia mięśni oraz zmysłu wzrokowego i słuchowego wzmacniając funkcje poznawcze i przyspieszając proces rehabilitacji. RAPAEL wykorzystuje wyposażoną w czujniki rękawicę (*Smart Glove*) oraz tablicę do ćwiczeń (*Smart Board*) dla pacjentów z dolegliwościami w stawie ramiennym lub łokciowym. Oferuje także rozwiązania do rehabilitacji funkcji poznawczych (*Rapael Cognition*) dla pacjentów po udarze, po urazowym uszkodzeniu mózgu, po porażeniu mózgowym oraz dla pacjentów chorych na demencję.

## SYSTEMY OPIEKI DLA LUDZI STARSZYCH

Starzenie się populacji i towarzyszące tej tendencji choroby cywilizacyjne to kolejny ważny wymiar zastosowania AI w opiece medycznej. Współczesne społeczeństwa żyją dłużej, umierają na inne choroby niż kiedyś, a bardzo często pod koniec życia są nękane przez samotność. Systemy zaprojektowane w celu opieki nad osobami starszymi mogą pomóc utrzymać ich niezależność przez dłuższy czas, zmniejszyć potrzebę hospitalizacji, a także konieczność zatrudniania opiekunów oraz pielęgniarek.

### Japońska strategia Society 5.0

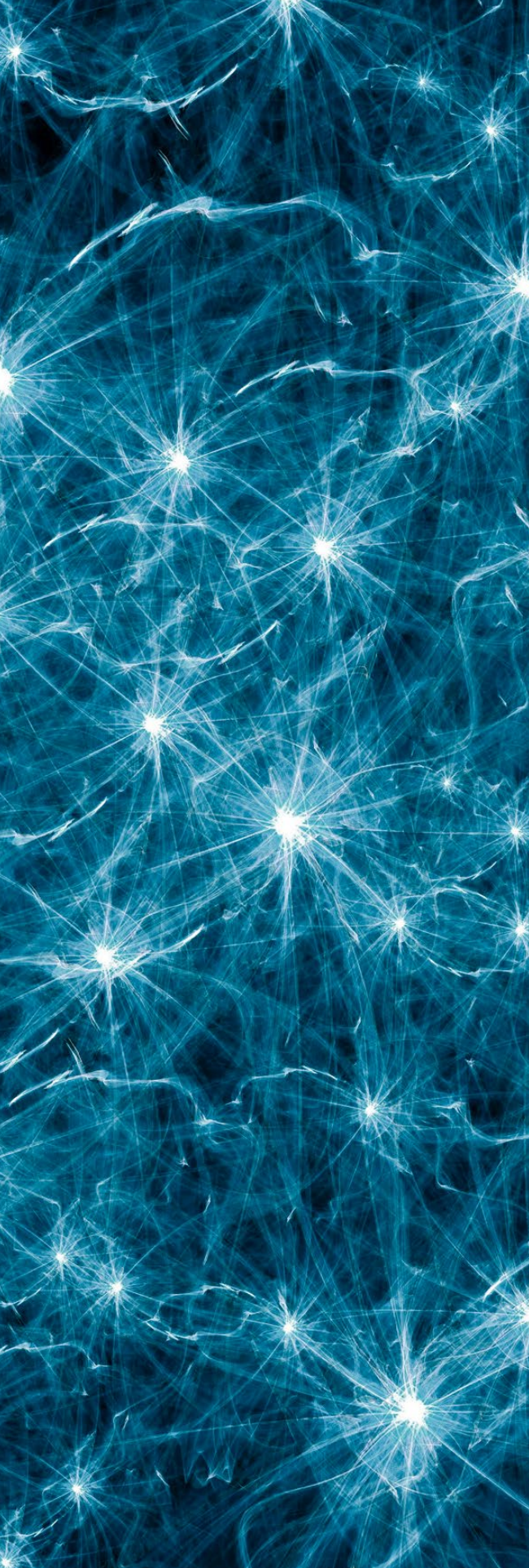
Problem starzejącego się społeczeństwa szczególnie dotyka Japonię, gdzie prawie 30% ludności ma ponad 65 lat. Rządowa inicjatywa o nazwie Society 5.0 ma na celu stworzenie społeczeństwa możliwie najpełniej wykorzystującego innowacje obecnej rewolucji przemysłowej[48]. Jednocześnie adresuje ona współczesne problemy, takie jak duży poziom zanieczyszczenia oraz wciąż zwiększający się odsetek osób starszych. Japonia ma aspiracje stać się światowym liderem w stworzeniu „super inteligentnego" społeczeństwa i chce służyć jako przykład dla innych krajów. Inicjatywa opiera się na czterech następujących filarach: zdrowie, mobilność, infrastruktura oraz fintech i przewiduje implementowanie na dużą skalę rozwiązań opartych na AI, w tym: inteligentne urządzenia do domu, roboty do opieki nad osobami starszymi i chorymi, inteligentne urządzenia dla rolnictwa czy autonomiczny transport.

Co więcej, japoński rząd zapowiedział stworzenie kompleksowych placówek medycznych wspieranych technologią AI. Inicjatywa ta ma uporać się z problemem niedoboru lekarzy i pielęgniarek, ograniczyć wydatki w sektorze zdrowia, a także zoptymalizować diagnostykę. Planowane inwestycje w tym zakresie szacowane są na poziomie 100 milionów dolarów oraz obejmują utworzenie 10 tego typu placówek[49].

Naprzeciw problemowi poczucia samotności wychodzą roboty humanoidalne i wirtualni asystenci, którzy umożliwiają różnego rodzaju interakcje – mówią, rozumieją komunikaty, przypominają o spotkaniach, zakupach, a także monitorują podstawowe parametry zdrowotne. W przypadku sytuacji zagrażającej zdrowiu lub życiu, powiadamiają rodzinę bądź lekarza[50]. Ich rola może stać się szczególnie ważna, gdyż na rynku brakuje wykwalifikowanych opiekunów, mogących towarzyszyć samotnie żyjącym osobom wymagającym codziennej pomocy, a popyt na tego typu usługi w dobie starzejącego się społeczeństwa będzie wzrastał[51]. Zwolnieni ze szpitali samotnie mieszkający seniorzy, którzy potrzebują dalszego leczenia, bardzo często tracą motywację i zaprzestają przyjmowania leków. Systemy wirtualnych asystentów mogą być więc skutecznym rozwiązaniem tego problemu[52].

### MJI Robotics

Naprzeciw wzrastającej liczbie jednoosobowych gospodarstw domowych oraz starzejącemu się społeczeństwu wychodzi japońska MJI Robotics[53]. Firma ta powstała w 2015 roku i zajmuje się projektowaniem oraz produkcją robotów asystentów. Jednym z jej rozwiązań jest oparty na systemie android niewielki robot o nazwie Tapia, wyposażony w kamerę, mikrofon, głośnik oraz panel dotykowy. Tapia potrafi rozpoznawać twarz oraz głos, organizuje i planuje dzień, prowadzi kalendarz, wykonuje telefony, sprawdza prognozę pogody, puszcza muzykę, wyświetla filmy, czyta teksty, prowadzi konwersację oraz monitoruje stan zdrowia. Do obrazu z kamery mogą mieć także dostęp osoby trzecie, mogące kontrolować w ten sposób czy bliska im chora lub starsza osoba nie znajduje się w zagrażającej życiu lub zdrowiu sytuacji. Firma MJI Robotics kieruje również swoje rozwiązania do hoteli. Robot konsjerż oferuje gościom możliwość sterowania urządzeniami wewnętrznymi (klimatyzacja, telewizja, oświetlenie) poprzez polecenia głosowe.





## WYZWANIA I REKOMENDACJE DLA AI W SŁUŻBIE ZDROWIA

Z każdą nową technologią i jej coraz powszechniejszą implementacją przychodzą również wyzwania. Nie inaczej kwestia ta wygląda z zastosowaniem AI w sektorze służby zdrowia, który z uwagi na swoją krytyczną rolę, jaką pełni w społeczeństwie, pozostaje niekiedy szczególnie wrażliwy na kierowane wobec samej technologii zarzuty. Do najczęściej przytaczanych wyzwań, z którymi zmagają się rozwiązania oparte na AI w tym sektorze należą:

- Osiągnięcie dobrej jakości, ustrukturyzowane oraz mierzalne dane – są one niezbędne do poprawnego i efektywnego funkcjonowania algorytmów AI. Szczególnie istotne jest, aby zbiory uczące i testowe, na podstawie których tworzone są rozwiązania, były odzwierciedleniem danych rzeczywistych[54]. Wyzwania dotyczące danych w opiece zdrowotnej dotyczą takich kwestii jak[55]:
  - przechowywanie danych w różnych systemach, placówkach oraz w niejednorodnych formatach,
  - brak spójności w przechowywaniu danych w systemach elektronicznej dokumentacji medycznej,
  - brak konsensusu wśród lekarzy co do objawów schorzeń i chorób,
  - duży poziom złożoności danych w porównaniu z innymi sektorami,
  - zmieniające się otoczenie regulacyjne i prawne.
- Zachowanie prywatności oraz odpowiedniego stopnia cyberbezpieczeństwa oferowanych rozwiązań. Biorąc pod uwagę, że stawką w tym obszarze jest ludzkie zdrowie oraz życie nie ma w nim miejsca na żaden kompromis. Konieczne jest więc powołanie odpowiednich procedur oraz przyjęcie proaktywnego i kompleksowego podejścia w celu zapobieżenia naruszeniom poufnych

informacji oraz incydentom związanym z bezpieczeństwem. Staje się to tym bardziej istotne, że obserwuje się wzrost liczby cyberataków na placówki opieki zdrowotnej, w tym ransomware[56]. Skutki jednego z największych w historii tego typu ataków (WannaCry, który miał miejsce w 2017 roku) dotkliwie odczuła brytyjska służba zdrowia[57]. Implementowanie coraz to nowszych i bardziej kompleksowych technologii, w tym AI, zwiększa potencjalną powierzchnię dla cyberataków. Wprowadzenie środków bezpieczeństwa w celach prewencyjnych powinno być więc działaniem komplementarnym, towarzyszącym implementacji tego typu rozwiązań.

- Odpowiedni poziom regulacji i ram prawnych, który będzie wymagał znalezienia równowagi pomiędzy koniecznym poziomem ochrony pacjentów oraz zapewnieniem możliwości dalszego rozwoju innowacyjności w sektorze[58].
- Określenie odpowiedzialności za decyzje oraz ewentualne błędy i szkody spowodowane przez rozwiązania oparte na algorytmach AI – konieczne jest wyznaczenie zakresu odpowiedzialności, która spoczywa na lekarzach i personelu medycznym oraz na dostawcy danego rozwiązania opartego na AI[59]. Warto podkreślić również, że rozwiązania AI są narażone na problem „czarnej skrzynki", gdzie dane wejściowe są znane, lecz dokładne kroki prowadzące do danej decyzji nie zawsze mogą zostać odtworzone. Pojawia się więc duża trudność w dojściu do przyczyny decyzji w przypadku, gdy jest ona błędna[60].
- Skalowalność na inne rynki – każdy rynek posiada charakterystyczne dla niego cechy, takie jak język czy kultura, a także ma inne wymagania, co skutkuje koniecznością opracowywania wielu strategii przez firmy oferujące rozwiązania AI, chcące rozwijać się międzynarodowo[61].

Biorąc pod uwagę opisane w niniejszym rozdziale przykłady, dalszy rozwój AI w sektorze zdrowia wymaga bez wątpienia kompleksowej współpracy pomiędzy podmiotami świadczącymi usługi medyczne, firmami technologicznymi opracowującymi rozwiązania, a także sektorem publicznym. Wymienione studia przypadków dotyczące azjatyckich krajów, będących tak zwanymi *early adopters* oraz przykłady wdrożeń technologii w placówkach medycznych, mogą stanowić pewne ilustracje kształtowania się tego typu współpracy i wskazywać na dobre praktyki i rekomendacje dotyczące implementacji AI w sektorze zdrowia na innych rynkach. Niemniej jednak, aby dokładnie ocenić wpływ AI na sektor zdrowia oraz jakość świadczonych usług, potrzebne są wieloletnie wdrożenia pozwalające na kompleksową ocenę skutków ich implementacji oraz wpływu jakie wywierają na cały sektor służby zdrowia.

# INTELIGENTNY TRANSPORT

5 sierpnia 1888 roku Berta Benz, żona konstruktora Karla Benza, wyruszyła na pierwszą w historii podróż samochodem. Pokonanie stusześciokilometrowej trasy z Mannheim do Pforzheim w Niemczech zajęło jej ponad 15 godzin i na zawsze odmieniło historię transportu. 9 października 2005 roku pojazd autonomiczny Stanley przygotowany przez zespół z uniwersytetu Stanforda jako pierwszy przekroczył metę 212 kilometrowej trasy zawodów DARPA Grand Challenge, których trasa biegła przez pustynię Mojave w Kalifornii. Był to pierwszy w historii wyścig samochodów autonomicznych, za kierownicą których zasiadły algorytmy[62]. Transformacja tego jak podróżujemy w XXI wieku odbywa się na naszych oczach, a wspomniane zawody były tylko jednym z pierwszych kroków na tej drodze. Ewolucja ta nie byłaby możliwa bez ogromnych ilości danych cyfrowych - jednak to dopiero sztuczna inteligencja, napędzana danymi niczym silnik paliwem, pozwala nam realnie myśleć o inteligentnych systemach transportowych.

Inteligentna mobilność to nie tylko autonomiczne samochody - to wieloaspektowe zagadnienie, dotyczące także ruchu lotniczego, szynowego, przewozu zarówno osób jak i dóbr, pojedynczych przesyłek oraz ładunków cargo. Wyróżnić można co najmniej cztery poziomy, na których AI już dziś zmienia wzorce transportowe:

- przedmiot transportu (np. użytkownik, przesyłka);
- środek transportu (np. pojazd, pociąg, dron);
- podsystem środka transportu (np. tramwaj wraz z szynami, przystankami i trakcją);
- system transportu (całość infrastruktury transportowej i jej użytkowników na danym obszarze, np. w określonym mieście).

Podsumowując, inteligentny transport zmieni nie tylko to jak, czym oraz kiedy podróżujemy, ale także to, jak rozumiemy mobilność w szerszym kontekście społecznym i gospodarczym.

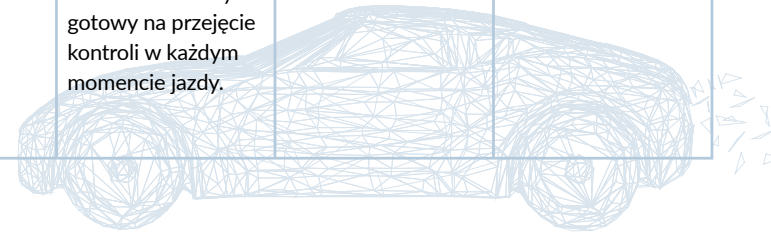
## ŚWIATOWY RYNEK INTELIGENTNEGO TRANSPORTU

Według analiz dotyczących inwestycji typu Venture Capital w roku 2018 to właśnie spółki z sektora transportowego przyciągnęły największą część z globalnej puli 254 miliardów dolarów przeznaczonych na finansowanie innowacyjnych start-upów oraz firm. Łącząc te dane z faktem, że AI stanowił równocześnie najbardziej interesującą technologię dla VC niezależnie od branży, zrozumiała staje się wysoka dynamika rynku inteligentnego transportu omówiona poniżej[63].

Sektorem przykuwającym najwięcej uwagi, szczególnie z perspektywy inwestorów i producentów, jest aktualnie rynek samochodów autonomicznych. Trzynastu z grupy czternastu największych producentów samochodowych ogłosiło, że planuje produkcję pojazdów autonomicznych, zaś dwanaście z czternastu największych firm technologicznych wskazuje, że planuje dostarczać sprzęt lub oprogramowanie dla bezzałogowych aut[64]. Jak pokazują badania, aktualna globalna wartość tego rynku szacowana jest na 54,23 miliarda dolarów. Prognozowany wzrost na poziomie 39,47% w latach 2019-2026 (skumulowany roczny wskaźnik wzrostu, ang. *Compund Annual Growth Rate*, CAGR) zwiększyć ma tę wycenę do ponad 550 miliardów na koniec tego okresu[65]. Jak pokazuje szereg analiz, tak nakreślony rozwój rynku autonomicznych pojazdów ma następować najdynamiczniej w regionie Azji i Pacyfiku, czemu sprzyjać mają m.in. możliwości infrastrukturalne, przyjazne uwarunkowania prawne oraz gotowość konsumentów[66]. W najbliższych latach zmieniać ma się także specyfika omawianego sektora. Samochody mogą posiadać różne poziomy autonomiczności w skali od 1 do 5, gdzie piąty oznacza całkowicie samodzielną jazdę.

Rysunek 1. Pięć poziomów autonomii samochodów

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| Pojazd wyposażony jest w zaawansowany system wspomagania kierowcy (ang. *Advanced Driver-Assistance Systems*, ADAS), który potrafi wykonywać jedną określoną czynność w wyznaczonym czasie: kontrolować tor i prędkość jazdy czy ostrzegać o niebezpieczeństwie kolizji. | Pojazd wyposażony jest w zaawansowany system wspomagania kierowcy (ADAS), który potrafi wykonywać równocześnie dwa lub więcej zakresów wsparcia, w tym np. automatyczne hamowanie awaryjne. | Samochód posiada zautomatyzowany układ prowadzenia (ang. *Automated Driving System*, ADS), który jest w stanie samodzielnie wykonywać szereg czynności związanych z prowadzeniem pojazdu. Kierowca musi być gotowy na przejęcie kontroli w każdym momencie jazdy. | Zautomatyzowany układ prowadzenia (ADS) wykonuje wszystkie czynności związane z prowadzeniem pojazdu. Kierowca nie musi być gotowy na przejęcie kontroli w trakcie jazdy. | Zautomatyzowany układ prowadzenia (ADS) jest kierowcą pojazdu. Nie występuje potrzeba montowania kierownicy, a człowiek jest jedynie pasażerem. |



Źródło: United States Department of Transportation, *Automated Vehicles for Safety*, [online:] https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety.

W roku 2017 ponad 88% rynku stanowiły samochody wyposażone jedynie w 1 stopień samodzielności, oparty na zaawansowanych systematach wspomagania kierowcy (ADAS). Sama wartość przychodów z sektora ADAS ma się podwoić do roku 2021 i osiągnąć globalnie wartość 35 miliardów rocznie. Jednak to dopiero początek. Jak pokazują estymacje, w latach 2020-2028 to poziom 4. w praktyce niedostępny aktualnie w sprzedaży komercyjnej, ma doświadczyć największego wzrostu o dynamice ponad 97% CAGR[67]. Jednocześnie umożliwi to powstanie całkowicie nowego rynku obrotu danymi wytwarzanymi przez samochody autonomiczne, którego wartość według szacunków osiągnąć może nawet 750 miliardów dolarów w roku 2030[68].

Coraz ważniejszy rynek stanowią także autonomiczne systemy latające oraz pływające. Pierwszy z nich, w ramach którego rozwijane są nie tylko małe statki powietrzne, ale również np. latające taksówki, wyceniany był w roku 2018 na ponad 20 miliardów dolarów globalnie[69]. Same bezzałogowe statki powietrzne (UAV) stanowią największy segment w ramach rynku robotów użytkowych, odpowiadając za około 44% jego całości[70]. Zdecydowanie niższą dynamikę wzrostu prezentuje rynek pływających statków autonomicznych, który w roku 2018 wyceniany był na 6,1 miliarda dolarów globalnie[71]. Warto wspomnieć także o rynkach autonomicznych tramwajów oraz pociągów. Pomimo dość ograniczonego wzrostu w najbliższych dekadach (globalnie na poziomie 4-7% CAGR) mają one osiągnąć największą dynamikę – nawet 20-30% wzrostu, właśnie w Azji[72].

Zarządzanie mobilnością zarówno osób jak i towarów to kolejny obszar, w którym AI zmienia reguły gry. Rynek inteligentnych systemów transportowych, które pozwalają na podstawie dużych ilości danych w czasie rzeczywistym zarządzać ruchem, cenami spedycji i transportu czy systemem informacji dla podróżnych, wyceniany był w roku 2018 na 23 miliardy dolarów globalnie[73]. W ostatnich latach coraz większą dynamikę prezentuje także sektor *ride-sharing* korzystający w coraz większym stopniu z rozwiązań AI. Napędzany przez międzynarodowe marki, takie jak Uber, czy lokalnych liderów, takich jak azjatycki Grab, osiągnął w roku 2018 wartość ponad 61 miliardów dolarów[74].

## OBSZARY ZASTOSOWANIA

Mieszkańcy najbardziej zatłoczonych miast na świecie spędzają średnio ponad 100 godzin rocznie w korkach. Według szacunków Azjatyckiego Banku Rozwoju w samej Azji problem przeciążenia systemu transportowego generuje w krajach regionu straty na poziomie 2-5% PKB. Biorąc pod uwagę powyższe wyzwania, w dalszej części zaprezentowano 4 sektory, w ramach których AI już dziś pomaga w optymalizacji, a często wręcz redefinicji transportu. Są nimi autonomiczne samochody, sektor lotniczy i autonomiczne statki powietrzne, AI na kolei oraz systemy inteligentnego zarządzania mobilnością. Jak pokazują analizy McKinsey Global Institute, proaktywne wdrożenie AI w transporcie oraz logistyce tylko w ramach 10 krajów Stowarzyszenia Narodów Azji Południowo-Wschodniej (ASEAN)[75] może wygenerować ponad 108 miliardów dolarów w ich gospodarkach narodowych.

### AUTONOMICZNE SAMOCHODY

Tradycyjny samochód podczas swojego całego okresu eksploatowania spędza średnio 96% czasu na parkingu. Niektórzy zwracają uwagę, że w związku z tym bardziej odpowiednim terminem byłaby „maszyna parkingowa”[76]. Zgodnie z przewidywaniami badaczy w pełni autonomiczny samochód wykorzystywany w dostosowanym systemie transportowym mógłby osiągnąć poziom zagospodarowania sięgający nawet 75% swojego czasu (prawie 19 razy więcej!)[77]. Optymalizacja zasobów, w tym maszyn oraz parkingów, to tylko jeden z powodów, dla których tak dynamicznie rozwija się sektor autonomicznych samochodów (ang. *autonomous vehicles*, AV), inne to m.in. wygenerowanie dodatkowego czasu wolnego w trakcie podróży (ze względu na brak potrzeby prowadzenia pojazdu), a także ograniczenie wypadków na drogach. Kraje azjatyckie znajdują się w gronie liderów zarówno pod kątem gotowości na wprowadzenie AV, jak i szybkości implementacji usług

transportowych, które one umożliwiają. W zestawieniu przygotowanym przez KPMG International kraje, takie jak Singapur (2), Korea Południowa (10) czy Japonia (11), znalazły się na szczycie globalnego rankingu[78].

**Singapur: polityką publiczną w stronę autonomicznych samochodów**

Strategiczna decyzja na poziomie administracji centralnej oraz jej konsekwentna realizacja we współpracy z firmami z branży automotive oraz IT to przepis na sukces Singapuru w wyścigu o implementację rewolucyjnych innowacji autonomicznego transportu. Już w 2014 roku powołano Singapurską Inicjatywę na rzecz Autonomicznych Pojazdów[79]. W tym samym roku przyjęto także strategiczny plan Smart Mobility 2030, zakładający niezbędną współpracę trzech grup interesariuszy: rządu, firm komercyjnych oraz uniwersytetów[80]. Przykładem takiej współpracy są badania prowadzone w ramach Singapore-MIT Alliance for Research and Technology, ośrodka badawczego prowadzonego wspólnie przez Singapurską Narodową Fundację Badań oraz Massachusetts Institute of Technology. W tym jedynym centrum B+R prowadzonym przez MIT poza USA, jeden z kluczowych projektów dedykowano właśnie „Przyszłości Miejskiej Mobilności"[81]. Singapur w ramach zmian w Prawie Ruchu Drogowego z roku 2017 dopuścił testowanie samochodów autonomicznych na publicznych drogach, wprowadzając jednocześnie zapisy dotyczące niezbędnych środków bezpieczeństwa, m.in. rejestrowania wszystkich działań pojazdów w celu ewentualnego badania ich w przypadku stłuczek lub wypadków[82]. Badania społeczne potwierdzają zaufanie obywateli Singapuru nie tylko do technologii, ale także regulacji, ponieważ wykazują oni jedną z najwyższych na świecie gotowości do korzystania z usług oferowanych przez autonomiczne pojazdy[83].

Azjatyckie firmy aktywnie rozwijają swoją bazę technologiczną w zakresie autonomicznych pojazdów. Hyundai podczas Zimowych Igrzysk Olimpijskich w Korei Południowej w 2018 roku zaprezentował swój testowy autonomiczny egzemplarz SUV-a Nexo, który przed ceremonią otwarcia pokonał 190 kilometrową trasę z Pjongczang do Seulu[84]. Celem koreańskiego producenta jest taki rozwój modelu, aby w roku 2021 napędzany wodorem Nexo uzyskał czwarty poziom autonomii[85]. W oparciu o samochody Hyundai-a swoją technologię dla AV rozwija także Samsung, który jeszcze w roku 2017 uzyskał pozwolenie na testy na drogach publicznych w Korei Południowej, a także wykupił w tym celu amerykańskiego producenta samochodów Harmen. Z kolei japoński rząd, w ramach Letnich Igrzysk Olimpijskich w roku 2020, zamierza udostępnić uczestnikom zawodów system autonomicznych samochodów w Tokio, który ma być rynkowo operacyjny już dwa lata później[86]. Honda, która początkowo w celu osiągnięcia systemów autonomicznych na czwartym poziomie planowała rozpocząć współpracę z Waymo – spółką córką korporacji Alphabet[87] – ostatecznie zdecydowała się zainwestować ponad 2 miliardy dolarów w projekt AV General Motors[88]. Co ciekawe samo Waymo posiada aktualnie flotę AV, która pokonała najwięcej kilometrów testowych na świecie, przekraczając pod koniec roku 2018 granicę 10 milionów mil (ok. 16 milionów kilometrów)[89].

**Korea Południowa: K-City**

Pod koniec roku 2018 w Korei Południowej ukończono budowę największego na świecie środowiska testowego dla samochodów autonomicznych. Sztuczne miasto o nazwie K-City obejmujące obszar 360 000 metrów kwadratowych zostało wzniesione przez rząd koreański nakładem 10 milionów dolarów[90] Znajdują się w nim zarówno tereny miejskie – centrum biznesowe, parking, bulwary

z drzewami, aleje ze sklepami, jak i autostrada czy przejazd kolejowy. Łącznie 35 różnych warunków drogowych ma umożliwić testowanie AV do poziomu 4. włącznie. W kolejnej fazie rozbudowy planowane jest także stworzenie infrastruktury umożliwiającej symulacje różnych warunków pogodowych, od deszczu, przez śnieg i grad po mgłę. W ramach współpracy KOTSA oraz Samsung, K-City uzyskać ma także infrastrukturę 4G oraz 5G umożliwiającą zarówno komunikację pojazdu autonomicznego z infrastrukturą drogową (*vehicle-to-infrastructure*, V2I) jak i z innymi pojazdami (*vehicle-to-vehicle*, V2V) oraz infrastruktury drogowej z pojazdem (*infrastructure-to-vehicle*, I2V)[91].

Oprócz rynku konsumenckiego w nadchodzących dekadach AV zrewolucjonizują także inne sektory, przykładem czego są testowane już modele transportowe, takie jak Robo-taxi, autonomiczne autobusy, a także tzw. *platooning*, wykorzystujący częściowo lub całkowicie autonomiczne konwoje ciężarówek. Jak szacują specjaliści usługa przewozu w taksówce prowadzonej przez algorytm w obszarze miejskim będzie średnio o 30-50% tańsza od tradycyjnej trasy[92]. Od 2016 roku bostońska firma nuTonomy testuje w Singapurze pierwszą na świecie autonomiczną taksówkę, wykorzystując m.in. elektrycznego Mitsubishi i-MiEv[93]. Z kolei w 2018 roku w japońskiej Jokohamie Nissan we współpracy z firmą DeNA uruchomił pierwszy testowy serwis robo-taxi w kraju kwitnącej wiśni[94]. Analizując komunikację zbiorową należy wrócić do Zimowych Igrzysk Olimpijskich w Korei Południowej, podczas których firma KT zaprezentowała testowy autonomiczny autobus kursujący na krótkich (2.2 kilometra) trasach, z oraz na lotnisko[95]. Z kolei w styczniu 2019 roku na jednym z japońskich lotnisk linie lotnicze All Nippon uruchomiły testową trasę obsługiwaną przez autonomiczny autobus. W wypadku sukcesu projektu do roku 2020 samoprowadzące się busy mają stanowić jeden ze standardowych środków komunikacji na tokijskim lotnisku Haneda[96]. Mówiąc o autonomicznym przewozie cargo wskazać trzeba Singapur, który prowadzi aktualnie program testowy w zakresie autonomicznych konwojów ciężarówek[97]. W tym wypadku model *platooningu* zakłada obecność kierowcy w pierwszym z kilku jadących w konwoju pojazdów, oraz przemieszczanie się pozostałych w oparciu o bieżącą komunikację oraz synchronizację ruchu pomiędzy ciężarówkami. W ramach projektu trwającego w latach 2017-2019, prowadzonego przez singapurskie ministerstwo transportu oraz PSA Corporation, wykorzystywane są pojazdy ciężarowe SCANII oraz Toyoty. Po zakończeniu pierwszej fazy testów w roku 2020 wybrana zostanie jedna z dwóch firm, która oprócz dalszych jazd w terenie rozpocząć ma także ulokowane w Singapurze działania B+R dotyczące właśnie autonomicznych tirów.

## SEKTOR LOTNICZY ORAZ AUTONOMICZNE STATKI POWIETRZNE

Algorytmy samouczące rewolucjonizują transport nie tylko na ziemi, ale także w powietrzu. Już dziś AI potrafi wspierać kluczowe procesy w sektorze lotniczym – od zarządzania flotą, miejscem bagażowym i paliwem, przez analizę prognostyczną zużycia silników i innych elementów samolotów, po wsparcie pilotów w nawigacji. Przykłady z krajów azjatyckich pokazują, że technologia może nie tylko zwiększać bezpieczeństwo i wygodę korzystania z transportu lotniczego dla pasażerów, ale także przynosić realne oszczędności dla przewoźników. Japan Airlines wykorzystuje algorytmy AI w celu dynamicznego dostosowania cen biletów, co pozwala na pełniejsze obsadzanie lotów, z wynikami sięgającymi średnio 80% opłaconych miejsc na trasach międzynarodowych[98]. Ten sam operator we współpracy z Accenture aktualnie testuje także na dwóch japońskich lotniskach system przyspieszający odprawę pasażerów w oparciu o technologię AI oraz rozpoznawania głosu[99]. Z kolei Korean Airline wykorzystuje algorytmy IBM Watson w celu usprawniania i skracania logistyki związanej z procesami naprawy oraz konserwacji elementów mechanicznych samolotów[100].

Autonomiczne statki powietrzne, wciąż będące we wczesnej fazie rozwoju i testów, posiadają potencjał redefinicji modeli biznesowych w wielu branżach – od przesyłek pocztowych po miejski transport. Kraje azjatyckie stanowią w wielu wypadkach swojego rodzaju laboratorium dla rozwoju tego rodzaju rozwiązań. Na podstawie porozumienia z roku 2016 Airbus Helicopters i Urząd Lotnictwa Cywilnego Singapuru uruchomiły wspólny projekt Skyways, którego celem jest testowanie autonomicznych statków powietrznych przenoszących paczki pomiędzy punktami odbioru. W początkowej fazie bazy odbioru i dostarczenia umiejscowiono na kampusie National University of Singapore[101]. W roku 2017 w projekt zaangażowała się także poczta singapurska, która już dwa lata wcześniej dokonała pierwszej na świecie dostawy paczki do rąk odbiorcy za pomocą drona (ang. *unmanned aerial vehicle*, UAV), wówczas jeszcze kierowanego przez operatora[102]. Z kolei niemiecka firma Volocopter w drugiej połowie 2019 roku rozpocznie testowanie swojej autonomicznej taksówki w Singapurze. Maszyna wyposażona w 18 wirników jest w stanie pomieścić dwóch pasażerów i transportować masę o łącznej wartości równej 160 kilogramów na odległość do 30 kilometrów. System może być sterowany za pomocą joysticka lub poruszać się całkowicie autonomicznie w ramach wyznaczonych stref ruchu powietrznego, na podstawie wprowadzonych wcześniej danych[103]. Ciekawy pomysł na wykorzystanie małych autonomicznych statków powietrznych zaproponowała w 2016 roku singapurska sieć restauracji Timbre. Testowała ona wykorzystanie „latających kelnerów" dostarczających zamówienia z kuchni do stolików gości[104]. System ten miał stanowić odpowiedź na problemy związane z brakiem dostatecznej liczby pracowników w sektorze gastronomicznym, obserwowany szczególnie w takich krajach, jak Singapur czy Japonia. Autonomiczne drony firmy Infinium Robotics, które testowano w lokalach Timbre nie podawały dań bezpośrednio do stołu, lecz dostarczały je kelnerom na sali, odbierającym maksymalnie dwukilogramową „przesyłkę" od wspierających go UAV.

## AI NA KOLEI

Transport szynowy to kolejny sektor, w którym AI wspomaga nie tylko pracowników, ale także pasażerów kolei. Algorytmy samouczące mogą wspierać zarządzanie rozkładami jazdy, patrolowanie peronów kolejowych, a nawet poruszanie się autonomicznych pociągów. Przykładem wdrażania AI w odniesieniu do kolei jest system predykcji opóźnień pociągów rozwijany przez Fujitsu we współpracy z największą aplikacją transportową w Japonii Norikae Annaiod. W ramach programu testowego z roku 2016, w oparciu o dane pozyskiwane od użytkowników, aktualne warunki pogodowe oraz historię funkcjonowania sieci kolejowej AI przewidywał i informował pasażerów o prawdopodobnych opóźnieniach[105]. Z kolei MTR Corporation z Hong Kongu, wykorzystując sztuczną inteligencję dla optymalizacji procesów związanych z utrzymaniem oraz naprawą taborów, jest w stanie uzyskać nawet o 50% większą efektywność logistyczną[106]. Technologie samouczące pozwalają także na wprowadzanie do transportu szynowego konserwacji zapobiegawczej (ang. *Condition Based Maintenance*, CBM) oraz analizy prognostycznej (ang. *Predictive Maintenance*, PM) w zakresie zużycia sprzętu oraz unikania awarii. O zwiększenie bezpieczeństwa podróży z pomocą AI dba również Korea Railroad Corporation. W tym celu wykorzystuje ona sieć kamer zamontowanych na pociągach, połączonych z systemem AI rozpoznającym na przesyłanych na żywo nagraniach gniazda srok na przewodach trakcyjnych. Wczesne wykrycie takiej przeszkody umożliwia szybką reakcję oraz neutralizację zagrożenia dla ruchu pociągów na tym odcinku. Według informacji przewoźnika w jednym tylko roku 2017 usunął on ponad 7100 takich gniazd[107]. Z kolei bezpieczeństwa stacji kolejowej Seibu Shinjuku w Tokio pilotażowo pilnuje robot zaopatrzony w kamerę wspieraną przez AI. W czasie rzeczywistym jest on w stanie analizować i wykrywać niebezpieczne wydarzenia, takie jak bójki, zasłabnięcia czy porzucony bagaż, a następnie zdalnie powiadamiać strażników[108].

**Japonia: Autonomiczny pociąg**

7 stycznia 2019 roku około godziny 1:50 East Japan Railway Co., część największej na świecie grupy kolejowej Japan Railway (JR), rozpoczęła swój pierwszy test pociągu autonomicznego. Wykorzystano do tego trasę publicznej linii kolejowej w Tokio[109]. Dwa okrążenia, każde o ponad 34 kilometrowej długości, zostały wykonane już po zamknięciu linii. Autonomiczny pociąg rozpędzał się do maksymalnej prędkości 80 kilometrów na godzinę. Firma planuje wprowadzić składy prowadzone przez algorytmy do codziennych przewozów w roku 2027, co ma być odpowiedzią na zwiększającą się liczbę pasażerów oraz spadający zasób siły roboczej na kolei. Powodem takiego stanu rzeczy jest m.in. masowe odchodzenie załogi East Japan Railway na emerytury (sięgające nawet 3000 pracowników rocznie) przy dwa razy mniejszej liczbie nowo zatrudnianych[110].

## SYSTEMY INTELIGENTNEGO ZARZĄDZANIA MOBILNOŚCIĄ

Coraz większa ilość oraz lepsza jakość danych cyfrowych wytwarzanych zarówno przez różnego rodzaju środki komunikacji, podróżnych, a nawet infrastrukturę, w połączeniu z możliwościami analitycznymi AI tworzy całkiem nowy sektor rynku związany z inteligentnym zarządzaniem mobilnością osób i towarów. Jak pokazali w swoich badaniach naukowcy z Uniwersytetu w Tokio, na podstawie odpowiednio dużej ilości danych sztuczne sieci neuronowe są w stanie prognozować krótkotrwałe trendy komunikacyjne w populacji miejskiej, nawet te stosunkowo niezwiązane ze standardowymi wzorcami mobilności[111]. Wdrażanie tego typu rozwiązań w pierwszej kolejności dotyka obszarów zurbanizowanych, które implementują idee inteligentnych miast (ang. *smart city*). Malezyjska stolica Kuala Lumpur jest jednym z przykładów takich metropolii, aktualnie implementujących system wspierający zarządzanie ruchem ulicznym, a także czas reakcji oraz dojazdu do nagłych wypadków[112]. Podobnie skonstruowane rozwiązania AI pomagają nie tylko w optymalizacji transportu ludzi, ale także usprawniają procesy spedycji, czy szerzej przesyłania i logistyki dóbr komercyjnych. Zarządzanie terminalami przeładunkowymi w oparciu o algorytmy głębokiego uczenia implementowane, aby lepiej wykorzystać przestrzeń oraz dostępne zasoby, to tylko jeden z przykładów. Innym jest wykorzystywanie uczenia maszynowego w celu zaplanowania najodpowiedniejszych tras dla dostarczenia przysyłek kurierskich i pocztowych, uwzględniając preferencje klientów oraz dane dostarczane w czasie rzeczywistym na temat pogody czy korków. Singapurska poczta, ze wsparciem oprogramowania firmy LogiNext, pod koniec 2018 roku rozpoczęła wdrażanie takiego systemu w ramach swojej regionalnej platformy logistycznej LaMP (Last Mile Platform)[113].

Przedstawione powyżej możliwości techniczne AI w połączeniu z szeregiem innych aktualnych trendów, takich jak gospodarka współdzielenia, elektromobilność czy userwisowienie rynku, dały początek koncepcji *Mobilności 3.0*. Zakłada ona optymalizację zasobów i procesów na poziomie całościowego systemu transportowego na danym obszarze (zazwyczaj miejskim). Oznacza zatem ekonomię współdzielenia w odniesieniu do samochodów, rowerów i innych środków komunikacji realizowaną w modelu „mobilność jako usługa" (ang. *Mobility as a Service*, MaaS), gdzie zarówno infrastruktura, jak i środki transportu są ściśle zintegrowane dzięki wymianie i analizie danych w czasie rzeczywistym[114]. Ważną rolę odgrywa również skupienie się na podróżnym jako kluczowym elemencie, dookoła którego buduje się system, uwzględniając jego wymagania oraz potrzeby. Z perspektywy użytkownika oznacza to dostęp poprzez jeden punkt (np. aplikację mobilną) do różnorodnych form transportu, w tym częściowo oraz w pełni autonomicznego, a także do informacji pozwalających skracać i obniżać koszt przejazdu lub dostawy dzięki predykcjom

AI[115]. Najbardziej znaną aplikacją realizującą model MaaS jest Whimp, określany przez swojego twórcę mianem „Netflixa dla transportu". Serwis funkcjonuje aktualnie w Helsinkach, Birmingham oraz Antwerpii, a według zapowiedzi z końca 2018 roku w najbliższym czasie ma być również dostępny w Singapurze[116].

**Azjatycki Uber: Grab**

Założony w 2012 roku w Malezji start-up, dostarczający swoje usługi ride-sharingu do ośmiu krajów Azji Południowo-Wschodniej, stanowi pierwszy w historii regionu decacorn – firmę wycenianą na ponad 10 miliardów dolarów. Grab, który ulokował swoją siedzibę w Singapurze, waluację na poziomie 14 miliardów dolarów[117] zawdzięcza m.in. inwestycjom VC takich firm, jak Toyota, Yamaha czy japoński Softbank. Pod koniec 2018 roku firma podpisała także strategiczne partnerstwo z Microsoftem, m.in. w celu implementacji zaawansowanych rozwiązań AI. Mają one umożliwić użytkownikom aplikacji naniesienie adresu odbioru na mapie poprzez zrobienie zdjęcia otoczeniu (widzenie komputerowe, rozpoznawanie obrazów), czy też dostęp do opartego na sztucznej inteligencji chatbota i systemu spersonalizowanych rekomendacji np. w zakresie obieranej trasy przejazdu. Sam Grab w tym samym roku we współpracy z Narodowym Uniwersytetem Singapuru otworzył dedykowane laboratorium AI, które przy wsparciu ponad 4 milionów dolarów rozpoczęło pracę nad analizą i rozwiązywaniem problemów transportowych w regionie[118].

## WYZWANIA, REKOMENDACJE, DOBRE PRAKTYKI Z AZJI

Mimo iż wiele z zaprezentowanych powyżej rozwiązań nie zostało wciąż implementowanych na masową skalę, niewątpliwie wyszły one już z laboratorium i są na etapie praktycznych testów. Kraje takie jak Singapur, Japonia czy Korea Południowa, stanowiące grupę tak zwanych *early adopters*, jako pierwsze wprowadzają je do realnej gospodarki. Proces ten pozwala na wskazanie kluczowych wyzwań jakie muszą zostać przezwyciężone przed przystąpieniem do masowej implementacji AI w transporcie. Jednocześnie azjatyckie unikalne doświadczenia pozwalają na wskazanie dobrych praktyk oraz rekomendacji w zakresie zachęt czy regulacji, które można wykorzystać w procesie implementacji AI na globalnym (w tym europejskim) rynku.

Szczególnie wiele wyzwań związanych jest wciąż z próbami wykorzystania na masową skalę pojazdów o coraz wyższych poziomach autonomii (szczególnie 3-5). Obejmują one zarówno problemy techniczne, jak i dylematy etyczne, m.in.:

- podejmowanie decyzji w oparciu o sztuczne sieci neuronowe w sytuacjach granicznych, niepewnych (ang. *edge cases*)[119], np. przy niepewnej klasyfikacji obiektów na drodze;
- cyberbezpieczeństwo pojazdów autonomicznych, w tym zapobieganie atakom na systemy widzenia komputerowego w celu ich „oszukania"[120];
- jazda z wysokimi prędkościami na autostradach oraz drogach szybkiego ruchu, zwłaszcza w kontekście dylematów związanych z sytuacjami granicznymi;
- podejmowanie zautomatyzowanych decyzji mających implikacje dla zdrowia i życia uczestników ruchu.

Szereg wyzwań związanych z rozwojem i implementacją AI, szczególnie w aspekcie etycznym, zaadresowanych może być na poziomie polityk publicznych. Przykłady grup doradczych w tym zakresie, stworzonych zarówno w Singapurze jak i Unii Europejskiej, pokazały, że współpraca różnorodnych interesariuszy może przynosić realne wyniki. W przypadku azjatyckiego państwa-miasta są nimi m.in. przeznaczone do konsultacji w styczniu 2019 roku Ramy Zarządzania Sztuczną Inteligencją[121], zaś w przypadku UE opublikowane

w kwietniu tego samego roku Ramy etyczne dla rozwoju godnego zaufania AI[122].

Najważniejszymi elementami dobrych praktyk w zakresie wdrażania AI w sektorze transportowym, które zaobserwować można biorąc pod uwagę opisane w niniejszym rozdziale przykłady są:

- Strategiczny namysł nad największymi wyzwaniami społecznymi i gospodarczymi w perspektywie średnio i długookresowej (np. brak rąk do pracy w określonej branży) oraz analiza roli jaką może odegrać AI w odpowiedzi na nie.
- Proaktywna postawa państwa, które nie tylko inwestuje środki publiczne, ale także podejmuje działania celowe, takie jak np. współpraca z międzynarodowymi liderami rynku AI, wsparcie start-upów czy wprowadzanie zmian w systemie edukacji wyższej.
- Ustanawianie dedykowanych stref testowych dla poszczególnych usług opartych o ruch autonomiczny, umiejscowionych w realnej tkance miejskiej.
- Tworzenie prawa oraz regulacji sprzyjających rozwojowi nie tylko samej technologii AI, ale także modeli biznesowych opartych o jej działanie.

# SZTUCZNA INTELIGENCJA W ROLNICTWIE

Rolnictwo odgrywa kluczową rolę w gospodarce światowej. W skali globalnej jest to sektor o wartości 3 bilionów dolarów, który zatrudnia ponad 20% światowej populacji[123]. W latach 1960–2015 produkcja rolna potroiła się w związku ze wzrostem liczby ludności z 3 do 7 miliardów[124]. Według danych Organizacji ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) ONZ, światowa populacja wzrośnie aż do 9,8 miliarda do 2050 roku[125], podczas gdy zaledwie 4% dodatkowych gruntów będzie przeznaczonych pod uprawę. ONZ przewiduje, że w tym czasie produkcja żywności będzie musiała wzrosnąć o 70%[126], aby sprostać zapotrzebowaniu związanemu ze światowymi trendami demograficznymi. Wynika to dodatkowo z takich czynników, jak:

- zmiany klimatyczne, które zakłócają okresy wegetacyjne, przyczyniając się do jałowienia ziemi i zalewania niegdyś żyznych delt wodą morską;
- obawy dotyczące bezpieczeństwa żywnościowego. Obecnie prawie połowa produkowanej żywności, czyli 2 miliarda ton rocznie, zamienia się w odpady spożywcze i organiczne. Jednocześnie około 124 milionów ludzi w 51 krajach boryka się z brakiem bezpieczeństwa żywnościowego, niedożywieniem lub głodem;
- postępująca urbanizacja, która prowadzi do zmniejszania się zasobów siły roboczej na obszarach wiejskich oraz kurczenia się zasobów ziemi rolnej[127].

Aby osiągnąć wymagany wzrost produkcji żywności w przyszłości stosowanie dawnych praktyk opartych głównie na nawozach, pestycydach i tradycyjnych maszynach rolniczych będzie niewystarczające. Przemysł rolny jest zatem pod ciągłą presją poszukiwania coraz bardziej innowacyjnych rozwiązań w celu lepszego wykorzystania areału upraw, ochrony oraz wzrostu wydajności produkcji. To z kolei napędza zapotrzebowanie

na nowe technologie w rolnictwie i związaną z tym automatyzację[128].

Ogromną szansę na zaspokojenie tych potrzeb daje rozwój sztucznej inteligencji. Jako system rozwiązań interdyscyplinarnych, AI może przynieść zmianę paradygmatu w dzisiejszym sposobie postrzegania rolnictwa. Algorytmy uczenia maszynowego, rozwiązania Internetu Rzeczy i dużych wolumenów danych są obecnie stosowane w rozmaitych dziedzinach, takich jak transport, handel i finanse. Branża rolnicza nadal jednak boryka się z ich skalowalnym przyjęciem, mimo zapotrzebowania i ogromnego potencjału do osiągnięcia efektów synergii na styku współpracy maszyn i ludzi. Zastosowania AI w rolnictwie mogą być wielorakie: od automatyzacji wielu manualnych zadań i procesów, sterowanych komputerowo systemów nawadniania, autonomicznych ciągników i kombajnów, po rozwiązania związane z instalacją czujników pomiarowych, GPS, radarów i innych urządzeń, z których dane są analizowane w czasie rzeczywistym. Aplikacje AI mogą wspierać rolników w procesie siewu, uprawy, zbioru i sprzedaży. Technologie te mogą pomóc m.in. w dostarczaniu informacji o stanie upraw, sygnalizowaniu niekorzystnych zmian pogodowych, zmniejszaniu się zasobów, podejmowaniu decyzji, a w konsekwencji przyczynić się do zwiększania zbiorów czy minimalizowania strat. Biorąc pod uwagę te szerokie możliwości systematycznie przybywa podmiotów oferujących rozwiązania AI w rolnictwie oraz wzrasta zainteresowanie inwestorów.

## ŚWIATOWY RYNEK AI W SEKTORZE ROLNICTWA W ROŚLINNEJ PRODUKCJI ROLNO-SPOŻYWCZEJ

W 2018 roku wartość globalnego rynku AI w rolnictwie wyniosła 330 milionów dolarów i oczekuje się, że osiągnie nawet 1,5 miliarda dolarów do końca 2025 roku, z roczną stopą wzrostu (CAGR) wynoszącą w tym okresie około 25%[129]. Wśród głównych czynników wpływających na wzrost rynku AI w rolnictwie można wyróżnić:

- rosnące zapotrzebowanie na produkcję rolną,
- dążenie do maksymalizacji wydajności upraw,
- rosnące wdrażanie nowych, zaawansowanych technologii w sektorze rolnym,
- zwiększone wykorzystanie urządzeń takich jak czujniki i drony w gospodarstwach rolnych,
- wsparcie rządowe i międzynarodowe inicjatywy na rzecz wdrażania nowoczesnych technik rolniczych.

Prognozuje się, że światowy rynek inteligentnych gospodarstw rolnych (ang. *smart farm*) w latach 2018-2022 wzrastać będzie średnio 14% rocznie, osiągając ostatecznie wartość ponad 23 miliardów dolarów[130]. Szczególnie silna dynamika rozwoju sztucznej inteligencji obserwowana jest w automatyce i robotyce np. autonomiczne maszyny, inteligentne roboty, a zwłaszcza drony rolnicze. Według badania PwC z 2016 roku, całkowity rynek rozwiązań i usług opartych na dronach wynosił ponad 127 miliardów dolarów, a w samym rolnictwie ponad 32 miliardy dolarów[131]. Z kolei najbardziej popularnymi technologiami AI stosowanymi w rolnictwie są analiza predykcyjna, uczenie maszynowe i widzenie komputerowe. Szacuje się, że analityka predykcyjna będzie jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin wspomagających procesy decyzyjne rolników. Warto też zauważyć, że rosnąca popularność zastosowań przetwarzania obrazu i widzenia komputerowego w rolnictwie jest możliwa między innymi dzięki obniżającym się kosztom sprzętu, zwiększonej mocy obliczeniowej i wzrastającemu zainteresowaniu automatycznymi metodami oceny żywności[132]. Zastosowanie tych technik ma wiele zalet w porównaniu z tradycyjnymi metodami opartymi na pracy ręcznej, jednak nadal istnieje szereg wyzwań do pokonania związanych z komputerową analizą i klasyfikacją danych obrazowych[133]. Kluczowym obszarem zastosowania AI w rolnictwie jest tak zwane rolnictwo precyzyjne (ang. *precision agriculture*), nazywane także rolnictwem cyfrowym, w którym rozróżnia się następujące działania wspierane komputerowo: monitorowanie i rozpoznanie upraw,

mapowanie pól, monitorowanie i prognozowanie pogody, gospodarowanie glebą i wodą: monitorowanie składników odżywczych, wilgotności czy zarządzanie nawadnianiem[134]. Rolnictwo precyzyjne ma coraz większy udział w rynku globalnym i oczekuje się, że trend ten utrzyma się dzięki coraz popularniejszym i dostępniejszym nowym technologiom oraz poprawiającej się infrastrukturze.

Rynek AI w rolnictwie można określić jako skonsolidowany ze względu na obecność ograniczonej liczby graczy skupionych w zaledwie kilku krajach, którzy wykorzystują swoją przewagę technologiczną i umacniają globalną pozycję rynkową[135]. Rynek Ameryki Północnej stanowił około 45,2% światowego rynku w 2018 roku, podczas gdy cała Europa tylko około 24,7%. Stany Zjednoczone są aktualnie zarówno największym globalnym „konsumentem" AI w sektorze rolnym, jak i twórcą wielu kluczowych rozwiązań dla tej branży[136]. Prognozuje się jednak, że to rynek w regionie Azji i Pacyfiku, zwłaszcza Indii i Azji Południowo-Wschodniej, będzie się rozwijał najdynamiczniej w latach 2019-2025. Wzrost ten można przypisać rosnącej popularności produktów i usług AI wśród rolników w takich krajach jak Indie, Indonezja, czy Chiny. W Japonii i Chinach szerokie grono użytkowników urządzeń mobilnych i wdrożenie IoT na dużą skalę sprawiają, że popularyzacja zastosowań inteligentnych rozwiązań rolniczych jest łatwiejsza. Rolnictwo odgrywa szczególnie kluczową rolę w gospodarce Indii. Kraj ten znajduje się w światowej czołówce największych producentów żywności, a sektor ten odpowiada za blisko 18% jego PKB. Według raportu IBEF ponad 58% wiejskich gospodarstw domowych jest uzależnionych od rolnictwa jako głównego środka utrzymania[137]. Rolnictwo indyjskie posiada zatem duży potencjał dla rozwoju sektora AI. Wiele firm technologicznych i start-upów pojawiło się tam w ciągu ostatnich kilku lat oferując rozwiązania oparte na AI, z których coraz częściej korzystają rolnicy[138]. Dodatkowy bodziec stymulacyjny pochodzi z licznych rządowych programów inwestycyjnych dla rolnictwa, mających na celu wzrost przedsiębiorczości i innowacji w obszarze AI oraz rozwój współpracy z firmami z krajów rozwiniętych. Równie interesujące są trendy w indonezyjskiej gospodarce cyfrowej. Oprócz dojrzałych sektorów – takich jak turystyka, e-commerce i fintech – rolnictwo jest postrzegane jako kolejny duży segment w cyfrowym przemyśle tego kraju[139]. Przemysł rolny w Korei Południowej również przechodzi ciekawą zmianę, ponieważ coraz więcej obywateli przenosi się na wieś, wybierając przedsięwzięcia rolnicze i tym samym napędzając wzrost tego sektora. Z uwagi na nowoczesną wiedzę informatyczną rolnictwo obecnie przekształca się tam w przemysł o wyższej wartości dodanej, który łączy produkcję, handel detaliczny i turystykę w jednym. Władze tego kraju aktywnie współpracują z kluczowymi firmami IT w celu wdrożenia na obszarach wiejskich inteligentnych technologii, takich jak AI, roboty i IoT, w celu dalszej poprawy infrastruktury i procesu produkcji rolniczej[140].

## OBSZARY ZASTOSOWANIA AI W SEKTORZE ROLNICTWA W PRODUKCJI ROŚLINNEJ

Głównym celem, jaki przyświeca rozwojowi technologii rolnej oraz rolnictwa precyzyjnego opartego na AI, jest zwiększenie wydajności przy jednoczesnym zminimalizowaniu negatywnego wpływu na środowisko[141]. Obecnie aż 70-80% nowego sprzętu rolniczego zawiera pewne komponenty systemu rolnictwa precyzyjnego[142]. W takim procesie produkcji rolnej generowane są nowe dane pochodzące z różnorodnych czujników, które umożliwiają lepsze zrozumienie otoczenia (np. warunki uprawy, gleby i warunków pogodowych) i samego procesu (dane maszynowe), co ma ułatwić dokładniejsze i szybsze podejmowanie decyzji przez rolników. Wykorzystanie rozwiązań AI i usług analizy danych, np. w chmurze, umożliwia między innymi przewidywanie warunków pogodowych, optymalizację czasu siewu, zwalczanie chorób roślin uprawnych i przeciwdziałanie atakom szkodników. Służy także do analizy rynkowej i ustalania cen, aby pomóc rolnikom w zoptymalizowaniu produkcji i generowaniu wyższych przychodów. Zastosowania sztucznej inteligencji w roślinnej produkcji rolnej można podzielić na trzy główne kategorie: zarządzanie uprawami, gospodarkę wodną i zarządzanie glebą[143].

## ZARZĄDZANIE UPRAWAMI

### Rolna analityka predykcyjna

Jednym z najważniejszych wyzwań w rolnictwie precyzyjnym jest przewidywanie plonów. Ma to duże znaczenie dla mapowania upraw, szacowania ilości zbiorów, dopasowania podaży do popytu i zarządzania uprawami w celu zwiększenia wydajności, w tym na szczeblu regionalnym. Modele AI szczególnie przydatne są do monitorowania i przewidywania wpływu różnych czynników środowiska na uprawy, takich jak zmiany pogody. Sztuczna inteligencja potrafi też wspomagać rolników w wywiadzie rynkowym czy ocenie konkurencyjności upraw. Gospodarstwa rolne mogą wykorzystać analizę danych w czasie rzeczywistym na strumieniach danych pochodzących z wielu źródeł jednocześnie, w celu stworzenia wydajnego i inteligentnego łańcucha dostaw. Przykładem może być wykorzystanie obrazów wysokiej rozdzielczości z systemów powietrznych (dronów lub helikopterów), dzięki którym w czasie uprawy można dokonywać szacunków, tworząc mapę pola i identyfikując obszary wymagające wody, nawozów lub pestycydów. Przyczynia się to w dużym stopniu do optymalizacji zużycia zasobów.

**Personalized Village Advisory Dashboard**

Rolnicy w wielu częściach Indii są w dużej mierze uzależnieni od terminowych opadów deszczu. Wszelkie opóźnienia w nadejściu pory opadów mogą niekorzystnie wpłynąć na żniwa, udane zbiory i późniejsze zyski. Microsoft we współpracy z International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) i lokalną społecznością w południowo-wschodnim stanie Andhra Pradesh w Indiach wykorzystali zaawansowaną analitykę i uczenie maszynowe w chmurze do stworzenia spersonalizowanego panelu doradczego dla 4000 rolników w 106 wioskach, jak również aplikacji siewnej dla 175 rolników[144]

Rolnicy z prostymi telefonami, obsługującymi SMS, mogą uzyskać dostęp do zaleceń dotyczących wysiewu dla całego regionu oraz zoptymalizować czas sadzenia. Rolnicy, którzy zastosowali się do otrzymanych porad opartych na AI zwiększyli plony o 30% w porównaniu do tych, którzy przestrzegali tradycyjnych harmonogramów sadzenia[145].

**CropIn Technology**

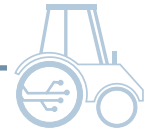
Start-up CropIn z Bengaluru w Indiach oferuje narzędzia w modelu SaaS do zarządzania gospodarstwem, wywiadu biznesowego, prognozowania i poprawy sprzedaży oraz CRM[146]. Wykorzystuje w tym celu najnowsze technologie, bazujące na dużych wolumenach danych, algorytmach AI, geotagowaniu czy też monitorowaniu satelitarnym. Usługi te pozwalają klientom analizować i interpretować dane z ich gospodarstw oraz uzyskiwać w czasie rzeczywistym informacje o stanie upraw. Bank Światowy wybrał CropIn jako partnera technologicznego w projekcie partnerstwa publiczno-prywatnego rządu Indii i Banku Światowego. Projekt ma na celu wprowadzenie zmian technologicznych w praktykach rolniczych w Madhya Pradesh i Bihar, a także pomóc rolnikom dostosować się do zmian klimatycznych i związanej z nimi nieprzewidywalności warunków upraw[147].

### Wykrywanie i kontrola chwastów

Wielu producentów rolnych wskazuje chwasty jako najważniejsze zagrożenie dla produkcji roślinnej, ponieważ są trudne do wykrycia i odróżnienia od roślin uprawnych. Negatywny wpływ chwastów na uprawy obejmuje rywalizację o wodę, światło, składniki odżywcze i przestrzeń. Skutkuje to wzrostem kosztów produkcji, utrudnionym zbieraniem czystych ziaren, pogorszeniem jakości

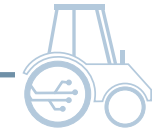
produktów, wzrostem niebezpieczeństwa podrażnień i chorób, a tym samym zmniejszeniem wartości pól uprawnych. Stosowanie herbicydów wyeliminowało potrzebę ręcznego usuwania chwastów z pól oraz pozwoliło na zmniejszenie kosztów produkcji i zwiększenie plonów. Jednak wzrastająca odporność chwastów na środki chemiczne staje się coraz bardziej powszechna. Szacuje się, że około 250 gatunków chwastów stało się odpornych na herbicydy[148]. Dodatkowo mitygowanie negatywnego wpływu agrochemikaliów na środowisko i pokonywanie ograniczeń konwencjonalnych technologii opryskiwania stawiane są jako ważne wyzwania dla rolnictwa lub wręcz priorytety polityk publicznych wielu krajów.

Firmy agrotechniczne wykorzystują automatykę i robotykę, aby pomóc rolnikom w znalezieniu skuteczniejszych sposobów ochrony upraw przed chwastami. Nowoczesne metody AI stosowane są w celu zminimalizowania stosowania herbicydów poprzez precyzyjniejsze kontrolowanie chwastów. Pozwalają one na identyfikację chwastów stosując takie techniki, jak widzenie komputerowe, analiza spektralna, teledetekcja i obrazy termiczne. Z kolei precyzyjne rozpylanie za pomocą autonomicznych robotów może pomóc w zmniejszeniu oporności na herbicydy oraz zredukowaniu negatywnego wpływu na środowisko.



**TartanSense**

TartanSense z Bangalore opracowuje roboty dla małych gospodarstw, wykorzystując widzenie komputerowe i robotykę do budowy precyzyjnych opryskiwaczy[149]. Roboty te potrafią wykryć chore rośliny i chwasty i precyzyjnie je spryskać. Daje to możliwość obniżenia kosztów i zmniejszenia ilości pozostałości chemicznych w glebie oraz na owocach i warzywach. TartanSense planuje rozszerzenie oferty poza swój pierwszy produkt BrijBot, który jest robotem do spryskiwania chwastów dla drobnych hodowców bawełny i ma za zadanie zmniejszyć koszty odchwaszczania nawet o 70%.



**Żukbot**

Rozwiązania w postaci autonomicznych robotów rolniczych inspirują też rozwój technologii na rynku rodzimym. Polski robot Żukbot, skonstruowany przez grupę studentów z Politechniki Gdańskiej i przeznaczony do precyzyjnych oprysków, potrafi odróżnić chwasty od zdrowej, pożytecznej rośliny. Wskazuje to na trendy rozwoju wynalazków z myślą o rodzimym rolnictwie, dostosowanych do jego warunków i specyfiki upraw[150].

**Wykrywanie chorób i szkodników**

Jedną z kluczowych kwestii w rolnictwie jest wykrywanie i zwalczanie chorób i szkodników roślin, które mają negatywny wpływ na rozwój upraw oraz obniżenie jakości zbiorów, co w konsekwencji skutkuje niższą ceną rynkową. Obecnie najpowszechniej stosowaną praktyką jest jednolite rozpylanie pestycydów nad obszarem uprawy. Ten zabieg, choć stosunkowo skuteczny, podobnie jak w przypadku zwalczania chwastów ma wysokie koszty finansowe i znaczące koszty środowiskowe[151].

Technologia widzenia komputerowego, dane z naziemnych sensorów IoT i dronów mogą być łączone w celu zapewnienia bardziej optymalnych rozwiązań. Drony z kamerami o wysokiej rozdzielczości zbierają precyzyjne obrazy pól, które mogą przepływać przez sieć neuronową w celu wykrycia obszarów z chorobami czy identyfikacji poziomu stresu roślin w różnych stadiach wzrostu. Istnieją już algorytmy umożliwiające wykrycie 26 chorób u 14 różnych gatunków roślin uprawnych z 99% dokładnością[152]. W przypadku zainfekowanych roślin przy pomocy dronów można również dostarczać środki zaradcze. Modele przewidywania ataku szkodników wykorzystujące AI i uczenie maszynowe mogą zaś ułatwiać wskazanie ryzyka ataku na podstawie analizy warunków pogodowych i etapu uprawy.

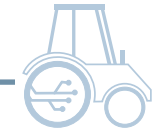
**Plantix**

Plantix to aplikacja mobilna berlińskiego start-upu agrotechnologicznego PEAT popularyzowana szczególnie w Indiach. Oparta na technologii AI pomaga rolnikom i entuzjastom ogrodnictwa w informowaniu o chorobach, inwazji szkodników oraz niedoborach składników odżywczych[153]. Dzięki udostępnieniu zdjęcia liścia, które jest dopasowane do modelowego obrazu z serwera, następuje diagnoza stanu zdrowia rośliny. Aplikacja pozwala na diagnostykę ponad 150 globalnie zidentyfikowanych patogenów roślin na ponad 40 typach upraw rolnych[154]. Aplikacja identyfikuje też potencjalne wady i niedobory składników odżywczych w glebie.

**Monitorowanie jakości produktów rolnych**

Informacje na temat rodzaju i jakości ziarna, owoców lub warzyw są wymagane przez rolników na różnych etapach procesu produkcji. Dokładne wykrywanie i klasyfikacja cech jakościowych upraw może zwiększyć cenę produktu i zmniejszyć ilość odpadów. Ręczne metody oceny stanowią wyzwanie nawet dla doświadczonych osób. Kontrola wzrokowa jest żmudna i czasochłonna, co utrudnia szybkie podejmowanie decyzji i skalowalność. Operator zwykle traci koncentrację po kilku godzinach pracy z powodu zmęczenia lub nieodpowiedniego oświetlenia[155].

Dzięki technikom AI i widzeniu komputerowemu, automatyczny klasyfikator może zapobiegać błędom ludzkim w procesie oceny jakości, co czyni go alternatywą dla ręcznej inspekcji[156]. Przykładowo na podstawie obrazów roślin uchwyconych pod światłem białym i UVA można sprawdzić jak dojrzałe są zielone owoce. Z tej analizy rolnicy mogą tworzyć różne kategorie poziomu gotowości owoców lub upraw przed wysłaniem ich na rynek. Uczenie maszynowe może też ujawnić optymalne warunki uprawy, aby zmaksymalizować smak i inne pożądane cechy produktów rolnych. Naukowcy odkryli na przykład, że wystawienie roślin na działanie światła 24 godziny na dobę zapewnia lepszy smak bazylii[157]. Modelowanie predykcyjne umożliwia również selektywne testowanie tylko najlepszych produktów w terenie. Analiza laboratoryjna AI identyfikuje produkty o ulepszonym profilu smakowym w testach wczesnej generacji. Tradycyjne techniki rolnicze nie dawały wcześniej takich możliwości.



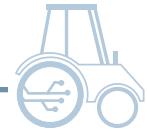
**Głębokie uczenie maszynowe do sortowania ogórków**

Pozornie prosta czynność jaką jest sortowanie ogórków wymaga sporych nakładów pracy ze względu na ich zróżnicowany rozmiar, kształt, kolor czy inne atrybuty. W Japonii każde gospodarstwo ma swój własny system klasyfikacji i nie ma standardu branżowego. Zniekształcone lub krzywe ogórki są jednak klasyfikowane jako produkty niskiej jakości. Nauka systemu ręcznego sortowania nie jest jednak łatwym zadaniem. Często zajmuje miesiące, a zapotrzebowanie na wytrenowanych pracowników skupia się w ograniczonym okresie szczytu sezonu zbiorów.
Japończyk Makoto Koike posłużył się technologią głębokiego uczenia maszynowego do opracowania automatycznego sortownika ogórków w rodzinnej produkcji[158]. Zastosowanie tej technologii do rozpoznawania obrazów pozwoliło komputerowi uczyć się znaczących „cech" obrazów z zestawu danych treningowych. System opracowany przez Makoto najpierw wykorzystuje minikomputer (Raspberry Pi 3) do robienia zdjęć ogórków za pomocą kamery i w pierwszej fazie uaktywnia małą sieć neuronową, aby zweryfikować czy obraz jest ogórkiem. Następnie zdjęcie przesyłane jest do większej sieci neuronowej działającej na serwerze Linux, aby przeprowadzić bardziej szczegółową klasyfikację.

Dzięki zastosowaniu algorytmów głębokich sieci neuronowych można w ten sposób automatycznie klasyfikować obrazy ogórków z wysokim stopniem dokładności według pożądanych cech i je sortować. Przykład ten pokazuje, że nie tylko duże firmy mogą z powodzeniem wykorzystywać dostępne algorytmy, ale również małe gospodarstwa rolne do nawet najprostszych, choć czasochłonnych zadań.

**Sadzenie i zbiór upraw**

Przewiduje się, że przemysł rolny odnotuje 6% spadek liczby pracowników rolnych w latach 2014–2024. Automatyzacja sadzenia i zbioru upraw jest więc kolejnym obszarem, który może pomóc sprostać wyzwaniom związanym z brakiem siły roboczej, zwłaszcza sezonowym. Istnieją już rozwiązania do autonomicznego sadzenia, np. za pomocą dronów, które obniżają koszty nawet o 85%. Systemy te wystrzeliwują strąki z nasionami i substancjami odżywczymi do gleby, zapewniając wszystkie składniki odżywcze niezbędne do uprawy roślin[159]. Zautomatyzowany sprzęt żniwny może również wykorzystywać AI do zbierania dojrzałych owoców i warzyw w odpowiednim czasie, oszczędzając dodatkowo potrzebne zasoby siły roboczej i minimalizując odpady. Przewiduje się, że wartość rynku inteligentnych zbiorów w regionie Azji i Pacyfiku zwiększać się będzie średnio o 14,29% (CAGR) w okresie 2018-2023[160]. Wzrost ten można przypisać zwiększonemu popytowi z krajów takich jak Japonia i Chiny.



**Autonomiczny zbiór pomidorów**

W styczniu 2018 roku japońska firma Panasonic Corporation zaprezentowała prototyp nowego w pełni autonomicznego robota do zbierania pomidorów[161].

Jest on wyposażony w kamery o wysokiej rozdzielczości, czujniki i funkcje AI do identyfikacji i wybierania dojrzałych pomidorów. Porusza się na specjalnych szynach, które mogą być montowane na otwartych farmach, jak i w szklarniach. Urządzenie to wykorzystuje samodzielnie wykonywane zdjęcia i laserowy dalmierz, który pomaga określić lokalizację owocu. Dzięki analizie zdjęć przy pomocy algorytmów uczenia maszynowego robot jest w stanie odróżnić kolor i kształt pomidorów. Następnie zbiera tylko te owoce, które są odpowiednio dojrzałe i nadają się do zerwania i spożycia.

## GOSPODAROWANIE GLEBĄ

Złożone procesy biologiczne zachodzące w glebie w dalszym ciągu stanowią wyzwanie dla badaczy i rolników, a ich pełne zrozumienie to jeden z trudniejszych problemów. Pomiary gleby są na ogół czasochłonne i kosztowne. Tańsze i szybsze rozwiązania do oceny gleby można będzie uzyskać za pomocą analiz opartych na technikach AI. Potencjalne zastosowanie tych metod wiąże się przede wszystkim z przewidywaniem-identyfikacją właściwości gleby rolniczej, takich jak: oszacowanie wysuszenia gleby, stanu i temperatury.

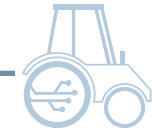
**Sensory analizy gleby firmy Toyota**

Aby zdiagnozować stan gleby tradycyjne metody analizy potrzebują nawet kilku miesięcy. Po tym czasie może być już za późno na zastosowanie odpowiedniego środka w przypadku wykrycia ubytków w żyzności. Najnowszy wynalazek japońskiej firmy Toyota ma na celu szybką analizę i mapowanie cech gleby przy użyciu sensorów optycznych[162]. Rozwiązanie oparte jest na serii czujników zintegrowanych z pługiem, który jest powoli przeciągany przez ziemię na głębokości 10-15 centymetrów.

Czujniki te analizują około 30 różnych składników gleby w czasie rzeczywistym, a dane spektroskopowe są w tym samym czasie łączone z danymi GPS[163]. W rezultacie powstaje cyfrowa mapa pola oznaczona kolorami wskazującymi między innymi na stopień zdolności do wymiany kationów w glebie, czy też przechowywania niezbędnych składników odżywczych.

## GOSPODAROWANIE WODĄ

Projektowanie i odpowiednie zarządzanie systemami nawadniania stanowi spore wyzwanie dla rolnictwa. Automatyzacja tego procesu może pomóc rolnikom lepiej radzić sobie z problemami ograniczonego dostępu do czystej wody. Modele AI dają możliwość dostosowania specyficznych parametrów zapotrzebowania na wilgoć ze względu na rodzaj uprawy i oceny zawartości wilgoci w polach, np. przy pomocy czujników pomiarowych na dronach można określić, które części pola są suche lub odbiegają od normy pożądanej wilgotności gleby. Daje to również możliwość sygnalizowania rolnikom zapotrzebowania na wodę oraz regulację automatycznego nawadniania. Maszyny wyposażone w algorytmy wytrenowane na historycznych wzorcach pogody, jakości gleby i rodzaju upraw pozwalają lepiej kontrolować i zautomatyzować nawadnianie i zwiększyć ogólną wydajność uprawy.



**ConserWater**

Indyjski start-up agrotechniczny ConserWater odpowiada na wyzwanie związane z efektywniejszym gospodarowaniem i ochroną wód w rolnictwie. Panel kontrolny ConserWater jest dostępnym on-line systemem monitorowania danych dotyczących dystrybucji wody na danym terenie. Oprogramowanie wykorzystuje kombinację dynamicznych informacji lokalnych w czasie rzeczywistym, w tym satelitarnych i historycznych danych pogodowych, wraz z algorytmami uczenia maszynowego do ich analizy, aby jak najlepiej przewidywać potrzeby irygacyjne. Technologia ta jest skalowalna i niezależna od wielkości gospodarstwa, gdyż nie wymaga instalacji żadnych specyficznych czujników naziemnych. Opiera się przede wszystkim na obserwacjach satelitarnych[164]. Korzystając z technologii ConserWater rolnicy w Indiach mogą zaoszczędzić nawet 50% wody do nawadniania[165].

# WYZWANIA I REKOMENDACJE DLA DALSZEGO ROZWOJU TECHNOLOGII OPARTEJ NA AI W ROLNICTWIE

Czwarta rewolucja przemysłowa ma potencjał do wyraźnego zwiększenia wydajności i napędzenia zrównoważonego rozwoju w produkcji żywności. Już dziś mamy wyjątkową okazję obserwować proces przekształcania się branży rolnej ze „starego" rolnictwa w erę rolnictwa cyfrowego opartego na AI. Jednak wykorzystanie tej nowoczesnej technologii na obszarach wiejskich jest ciągle bardzo niskie w zdecydowanej większości krajów[166]. W związku z tym istnieje szereg wyzwań i zaleceń dla rozwoju wschodzącego sektora AgriTech.

## KOSZT I DOSTĘP

Głównym czynnikiem spowalniającym wzrost globalnego rynku AI w rolnictwie jest ciągle relatywnie wysoki koszt tej technologii. Wykorzystanie technologii AI różni się znacząco w krajach rozwiniętych i rozwijających się[167]. Partnerstwo RIICE[168] wspierające małe gospodarstwa rolne głównie w krajach Azji, podkreśla istnienie sporej przepaści cyfrowej między gospodarkami tych dwóch grup z powodu silnie zróżnicowanego dostępu do technologii (tj. mocy obliczeniowej, przepustowości Internetu i zaawansowanego oprogramowania) oraz braku wykwalifikowanej siły roboczej w krajach rozwijających się. Często społecznościom, które potrzebują AI najbardziej, brakuje infrastruktury fizycznej i technologicznej wymaganej do jej obsługi. Wysiłki w zakresie gromadzenia i analizy nowych danych przynoszą korzyści głównie dużym, dobrze usytułowanym rolnikom, którzy dysponują środkami i wiedzą niezbędną do ich skutecznego oraz dokładnego zbierania[169]. Pojawiającym się trendem, próbującym rozwiązać ten problem, jest tworzenie partnerstw między właścicielami technologii a ich odbiorcami z krajów rozwijających się oraz największych rynków rolnych.

## ZBYT DUŻO DANYCH, ZA MAŁO STANDARDÓW

Rozwój rolnictwa cyfrowego i związanych z nim technologii otworzył wiele nowych możliwości dla generowania i analizy pokaźnych wolumenów danych. Do 2050 roku typowe gospodarstwo rolne ma wytwarzać średnio 4,1 miliona punktów danych każdego dnia. Podczas gdy rozwój samych algorytmów uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji jest niezwykle szybki, zbiory danych rolniczych właściwie przygotowane i dobrze oznaczone są zazwyczaj małe i dostępne w bardzo ograniczonej liczbie. Konieczne jest wypracowanie standardów obejmujących procesy gromadzenia, przechowywania i udostępniania danych, a także poddawania ich analizie. Obecnie rolnicy niechętnie dzielą się danymi zebranymi w swoich gospodarstwach, a zarówno duże firmy jak i start-upy agrotechniczne budują zazwyczaj zamknięte systemy, pracując w silosach zamiast jeziorach danych. Branża agrotechniczna oparta na AI musi w przyszłości stać się ekosystemem, w którym wszyscy gracze mogą pozostać niezależni, jednocześnie bezpiecznie udostępniając i aktualizując dane o ustalonym formacie i strukturze. Priorytetem staje się zatem zapewnienie bezpiecznych, zaufanych platform danych, gdzie dane jednego uczestnika systemu mogą łączyć się z wkładem innego użytkownika bez utraty własności lub kontroli nad którymkolwiek zasobem. To z kolei umożliwi przeprowadzanie działań analitycznych na złożonych, ale skalowalnych i wydajnych systemach połączonych zestawów danych.

## WYZWANIA DOTYCZĄCE PRYWATNOŚCI DANYCH ROLNICZYCH

W ścisłym związku z poprzednim wyzwaniem są kwestie prywatności w odniesieniu do tego, kto jest właścicielem danych i kto może na nich zarabiać[170], zwłaszcza w przypadku aplikacji AI wdrożonych w chmurze. Wielu rolników jest zaniepokojonych potencjalnym niewłaściwym wykorzystaniem informacji dotyczących ich działalności rolniczej[171], firm nasiennych lub gospodarstw konkurencyjnych[172]. Schuster[173] ostrzega,

że fundusze hedgingowe mogą wykorzystywać dane w czasie rzeczywistym podczas żniw z rozlicznych źródeł (dane pogodowe, prognozy wydajności, teledetekcja, dane z maszyn takich jak kombajny itp.) do spekulacji na rynkach towarowych. Dlatego budowanie systemów sztucznej inteligencji wykorzystujących bezpieczne enklawy w celu zapewnienia poufności danych, prywatności użytkowników i integralności decyzji będzie sporym wyzwaniem dla rozwiązań sztucznej inteligencji w rolnictwie.

## DOSTOSOWANIE DO SPECYFIKI I CIĄGŁYCH ZMIAN ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Rolnictwo jest jednym z najtrudniejszych obszarów do kwantyfikacji statystycznej, ponieważ warunki do uprawy ciągle się zmieniają i wiele czynników jest trudnych do przewidzenia. Zmienna pogoda, wahania w jakości gleby czy możliwość choroby upraw lub ataku szkodników są bezustannym wyzwaniem. Ważnym aspektem rolnictwa opartego na AI będzie zatem adaptacja do różnorodności geograficznej i postępujących zmian klimatu[174]. Przykładowo czynniki, które wpływają na pewien rodzaj uprawy i stosowane do niego nawozy w regionie Ameryki Północnej, prawie na pewno nie mają związku z tym co może wystąpić w przypadku tego samego wysiewu w Indiach lub Afryce Południowej. Sporym problemem związanym z wdrażaniem uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji w rolnictwie jest to, że w większości przypadków żadne dwa środowiska nie są dokładnie takie same i wymagają każdorazowo dostosowania specyficznych parametrów[175]. Sprawia to, że testowanie, walidacja i pomyślne wdrożenie takich technologii jest znacznie bardziej pracochłonne niż w innych branż. Dlatego też konieczne będzie opracowanie rozwiązań dostosowanych do stref geograficznych i ich specyficznych mikroklimatów.

## WPŁYW SPOŁECZNY

Wpływ AI na przemysł rolny tyczy się również specyfiki jego rynku pracy. Pomimo dużych szans, jakie w długim okresie niesie AI i automatyzacja rolnictwa – szczególnie w kontekście postępującej urbanizacji i globalnego spadku liczby pracowników rolnych – niektóre prognozy wskazują na możliwość wystąpienia problemu bezrobocia pracowników rolnych w wybranych regionach w najbliższym dziesięcioleciach (horyzont średniookresowy). Monotonne zadania terenowe będzie można coraz łatwiej automatyzować, co będzie stopniowo sprawić, że niektóre prace fizyczne staną się niepotrzebne. Pracownicy będą zastępowani przez inteligentne roboty, które mogą bezpiecznie poruszać się w przestrzeni, znajdować i przenosić produkty rolne, a także wykonywać proste i bardziej złożone operacje w terenie.

Choć niektóre miejsca pracy mogą zostać utracone w krótkim okresie większość ekspertów uważa, że dzięki AI stworzonych zostanie więcej nowych miejsc pracy niż wypartych. Raport Światowego Forum Ekonomicznego sugeruje, że AI i robotyka przyczynią się globalnie do stworzenia aż 58 milionów dodatkowych miejsc pracy[176]. To z kolei może zaowocować zmniejszeniem się problemów związanych z oddaleniem obszarów wiejskich od bardziej rozwiniętych aglomeracji miejskich i zwiększyć ich inkluzję społeczną. Technologie cyfrowe w rolnictwie stwarzają możliwości rozwoju nowych przedsiębiorstw i mają potencjał do zwiększenia atrakcyjności obszarów wiejskich, w szczególności dla młodszych pokoleń. Aby było to możliwe jednym z pilnych wyzwań, zarówno w Azji jak i w Europie, jest ograniczony dostęp do odpowiednich ram finansowania, a także inkubatorów i akceleratorów start-upowych dla wschodzącej branży AgriTech[177]. Do dalszego rozwoju konieczne jest zainteresowanie i wsparcie ze strony sektora finansowego, Venture Capital i decydentów politycznych.

## WYZWANIA DLA POLITYKI PUBLICZNEJ

Inicjatywy rządowe wspierające wprowadzanie rozwiązań AI w rolnictwie mogą przyczyniać się bezpośrednio zarówno do wzrostu tego rynku jak i optymalizacji produkcji rolnej. W samej Europie Komisja Europejska postawiła sobie za cel cyfryzację sektora rolnego i obszarów wiejskich oraz zwiększenie wykorzystania danych

w procesie podejmowania decyzji w tej branży[178]. Priorytetem wciąż pozostaje podniesienie jakości infrastruktury i poprawy łączności obszarów wiejskich, np. poprzez zapewnienie powszechnego dostępu do szerokopasmowego Internetu.

**Indie – polityki publiczne na rzecz inteligentnego rolnictwa**

W celu pobudzenia innowacji i przedsiębiorczości w rolnictwie rząd Indii wprowadził nowy program AGRI-UDAAN, wspierający rozwój start-upów i umożliwiający im znalezienie potencjalnych inwestorów. Ponadto w ramach inicjatywy Startup India administracja publiczna tego kraju uruchomiła program Agriculture Grand Challenge i stworzyła Fund of Funds, aby zapewnić nowym przedsiębiorcom możliwość finansowania inwestycji w nowe technologie, będące odpowiedzią na najważniejsze wyzwania sektora rolnego[179]. Inne programy infrastrukturalne w niektórych stanach Indii, w tym Maharashtra, Madhya Pradesh i Telangana, umożliwiły rolnikom na oddalonych obszarach wiejskich korzystanie z serwisu telefonicznego alarmującego o zagrożeniu atakiem szkodników związanych z danym etapem uprawy oraz warunkami pogodowymi w danym regionie. Co więcej, rząd stanu Karnataka wdrożył rozwiązania, które umożliwiają otrzymywanie prognozowanych cen podstawowych towarów rolnych na podstawie analiz predykcyjnych. Inicjatywy takie jak eNational Market Market (eNAM), działając jako wirtualne platformy, dają szansę milionom małych gospodarstw rolnych na sprzedaż swoich produktów i zwiększenie zysków poprzez eliminację pośredników z łańcucha wartości dostaw żywności[180].

Implementacja AI w rolnictwie to także wyzwanie dla systemu edukacji. Wprowadzenie i wykorzystanie tej technologii wymaga nowych umiejętności i wiedzy wśród rolników i doradców. Tradycyjne praktyki i techniki uprawy nadal stanowią przeszkodę dla rolników do maksymalizacji potencjału ich ziemi i pracy. Niezbędne jest zatem podnoszenie świadomości i organizowanie szkoleń, zwłaszcza na szczeblu regionalnym i lokalnym, w celu dotarcia do małych i średnich gospodarstw, w których korzystanie z technologii cyfrowych nie zawsze jest uważane za opłacalne.

## PRZYPISY


1 PwC, *What doctor? Why AI and robotics will define New Health?* 06.2017, [online]: https://www.pwc.com/gx/en/industries/healthcare/publications/ai-robotics-new-health/ai-robotics-new-health.pdf.

2 Eurostat, *Population structure and ageing*, 05.2018, [online]: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Population_structure_and_ageing.

3 Japan Times, *For the first time, 1 person in 5 in Japan is 70 or older*, 17.09.2018, [online]: https://www.japantimes.co.jp/news/2018/09/17/national/number-women-japan-aged-least-65-years-old-tops-20-million-first-time/.

4 WHO, *Big Data and Artificial Intelligence for Achieving Universal Health Coverage*, 10.2017 [online:] https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/275417/WHO-HMM-IER-REK-2018.2-eng.pdf?ua=1.

5 Global Health Observatory (GHO) data, *Current health expenditure as a percentage of gross domestic product (GDP)*, [online:] https://www.who.int/gho/health_financing/health_expenditure/en/.

6 Liu R., Hemaraj Y., Bose A., *Digital Transformation of Healthcare – State of the Union*, 02.08.2018, [online]: https://benhamouglobalventures.com/2018/08/02/digital-transformation-of-healthcare-state-of-the-union/.

7 Global Market Insights, *Healthcare Artificial Intelligence Market*, 02.2019, [online:] https://www.gminsights.com/industry-analysis/healthcare-artificial-intelligence-market.

8 Accenture, *AI: an Engine for Growth*, [online:] https://www.accenture.com/us-en/insight-artificial-intelligence-healthcare.

9 KPMG, *Investment in AI for healthcare soars*, [online:] https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2018/11/investment-in-ai-for-healthcare-soars.html.

10 CBInsight, *The AI Industry Series: Top Healthcare AI Trends To Watch*, [online:] https://www.cbinsights.com/research/report/ai-trends-healthcare/.

11 M.in.: Novartis, Sanofi, GlaxoSmithKlein, Amgen oraz Merck.

12 CBInsight, *The AI Industry Series: Top Healthcare AI Trends To Watch*, [online:] https://www.cbinsights.com/research/report/ai-trends-healthcare/.

13 PwC, *What doctor? Why AI and robotics will define New Health?* 06.2017, [online]: https://www.pwc.com/gx/en/industries/healthcare/publications/ai-robotics-new-health/ai-robotics-new-health.pdf.

14 Bartoletti I., *Algorithms may outperform doctors, but they're no healthcare panacea*, 26.07.2018, [online:] https://www.theguardian.com/commentisfree/2018/jul/26/tech-healthcare-ethics-artifical-intelligence-doctors-patients.

15 Withers N., *Artificial intelligence used to detect early-stage heart disease*, 09.01.2019, [online:] https://www.europeanpharmaceuticalreview.com/news/82870/artificial-intelligence-ai-heart-disease/.

16 Eurostars, *Artificial Intelligence helps early detection of dementia*, 05.04.2018, [online:] https://www.eurostars-eureka.eu/content/artificial-intelligence-helps-early-detection-dementia.

17 Medical Xpress, *Artificial intelligence predicts Alzheimer's years before diagnosis*, 06.11.2018, [online:] https://medicalxpress.com/news/2018-11-artificial-intelligence-alzheimer-years-diagnosis.html.

18 Bio Spectrum, *Artificial intelligence for early cancer diagnosis*, 22.05.2018, [online:] https://www.biospectrumindia.com/news/57/10988/artificial-intelligence-for-early-cancer-diagnosis.html.

19 Cancer Center, AI Platform, [online:] https://cancercenter.ai.

20 GBC Health, *Innovations in Global Health: Detecting TB using Artificial Intelligence*, 03.2018, [online:] http://gbchealth.org/innovations-in-global-health-detecting-tb-using-artificial-intelligence/.

21 Schlanger Z., *An Algorithm Spotted the Ebola Outbreat Nine Days Before WHO Announced It*, 08.11.2014, [online:] https://www.newsweek.com/algorithm-spotted-ebola-outbreak-9-days-who-announced-it-263875.

22 Niramai, [online:] https://www.niramai.com.

23 Techiexpert, *NIRAMAI to develop AI based software for detecting River Blindness*, 09.04.2019, [online:] https://www.techiexpert.com/niramai-to-develop-ai-based-software-for-detecting-river-blindness/.

24 The National Academics of Sciences, *Engineering, Medicine, Institute of Medicine, Improving Diagnosis in Health Care*, 09.2015, [online:] http://www.nationalacademies.org/hmd/~/media/Files/Report%20Files/2015/Improving-Diagnosis/DiagnosticError_ReportBrief.pdf.

25 Artificial Intelligence Research and Insight, *Machine Learning in Medical Diagnostics*, 05.03.2019, [online:] https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-medical-diagnostics-4-current-applications/.

26 The National Academics of Sciences, Engineering, Medicine, Institute of Medicine, *Improving Diagnosis in Health Care*, 09.2015, [online:] http://www.nationalacademies.org/hmd/~/media/Files/Report%20Files/2015/Improving-Diagnosis/DiagnosticError_ReportBrief.pdf.

27 Sushil Sikchi S., Ali M.S., *Artificial Intelligence in Medical Diagnosis*, International Journal of Applied Engineering Research, Vol.7 No. 11 (2012).

28 IBM News, *At ASCO 2017 Clinicians Present New Evidence about Watson Cognitive Technology and Cancer Care*, 01.07.2017, [online:] https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/52502.wss.

29 SAMSUNG Newsroom, *Samsung Brings Together Medical Imaging and AI for Radiologists at RSNA 2018*, 26.11.2018, [online:] https://news.samsung.com/global/samsung-brings-together-medical-imaging-and-ai-for-radiologists-at-rsna-2018.

30 Canon, *Canon Medical sponsors new and promising AI developments*, 22.02.2019, [online:] https://eu.medical.canon/canon-medical-sponsors-new-and-promising-ai-developments/.

31 Artificial Intelligence Research and Insight, *Machine Learning in Medical Diagnostics*, 5.03.2019 [online:] https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-medical-diagnostics-4-current-applications/.

32 Lunit, *Lunit INSIGHT for Chest Radiography Nodule Detection*, [online:] https://lunit.io/product/#INSIGHT-CXR-Nodule.

33 Lunit, *Lunit INSIGHT for Mammography*, [online:] https://lunit.io/product/#INSIGHT-MMG.

34 Chu M., *Korean hospitals jump into developing medical AI-technology*, 30.01.2018, [online:] http://www.koreabiomed.com/news/articleView.html?idxno=2469.

35 Williams C., *Samsung Medical Center, MS Korea to cooperate for AI healthcare system*, 23.10.2017, http://www.koreabiomed.com/news/articleView.html?idxno=1679.

36 Deep Knowledge Ventures, *AI for Drug Discovery Landscape Overview 2017*, [online:] http://analytics.dkv.global/data/pdf/AIDrugDiscoveryLandscapeOverview2017.pdf.

37 Fleming N., *How artificial intelligence is changing drug discovery*, 30.05.2018, [online:] https://www.nature.com/articles/d41586-018-05267-x.

38 Agrawal P., *Artificial Intelligence in Drug Discovery and Development*, Journal of Pharmacovigilance, Vol. 6 No. 2 (2018).

39 Engine Biosciences, [online:] https://www.enginebio.com.

40 Ellis J., *Drug-discovery startup Engine raises $10m in record-breaking seed round*, 31.01.2018, [online:] https://www.techinasia.com/engine-biosciences-seed.

41 True M., *Health IT Spotlight: AI in Clinical Decision Support & the Impact on Health IT, 08.03.2018*, [online:] https://www.windstreamenterprise.com/insights/healthcare/health-spotlight-ai-clinical-decision-support-impact-health/.

42 PwC, *What doctor? Why AI and robotics will define New Health?* 06.2017, [online]: https://www.pwc.com/gx/en/industries/healthcare/publications/ai-robotics-new-health/ai-robotics-new-health.pdf.

43 Buttice C., *How AI is Enhancing Wearables*, 01.02.2019, [online:] https://www.techopedia.com/how-ai-is-enhancing--wearables/2/33627.

44 Biofourmis, [online:] https://www.biofourmis.com.

45 Karsten J., West D., *Wearable device data and AI can reduce health care costs and paperwork*, 18.10.2018, [online:] https://www.brookings.edu/blog/techtank/2018/10/18/wearable-device-data-and-ai-can-reduce-health-care-costs-and-paperwork/.

46 Chu M., *Korean hospitals jump into developing medical AI-technology*, 30.01.2018, [online:] http://www.koreabiomed.com/news/articleView.html?idxno=2469.

47 Neofect, [online:] https://www.neofect.com/en/.

48 Society 5.0, [online:] https://www.gov-online.go.jp/cam/s5/eng/.

49 Nikkei Asian Review, *Japan plans 10 ‚AI hospitals' to ease doctor shortages*, 09.08.2018, [online:] https://asia.nikkei.com/Politics/Japan-plans-10-AI-hospitals-to-ease-doctor-shortages.

50 PwC, *What doctor? Why AI and robotics will define New Health?* 06.2017, [online]: https://www.pwc.com/gx/en/industries/healthcare/publications/ai-robotics-new-health/ai-robotics-new-health.pdf.

51 Sanyal S., *How Is AI Revolutionizing Elderly Care, 31.10.2018*, [online:] https://www.forbes.com/sites/shourjyasanyal/2018/10/31/how-is-ai-revolutionizing-elderly-care/.

52 Greulich-Smith T., *Can artificial inare for the elderly?* [onlitelligence cne:] https://govinsider.asia/innovation/artificial--intelligence-ageing-population/.

53 MJI Robotics, [online:] https://mjirobotics.co.jp/en/.

54 Harris B., *AI in healthcare - not so fast? Study outlines challenges, dangers for machine learning*, 16.01.2019, [online:] https://www.healthcareitnews.com/news/ai-healthcare-not-so-fast-study-outlines-challenges-dangers-machine-learning.

55 Lesueur D., *5 Reasons Healthcare Data Is Unique and Difficult to Measure*, 12.06.2014, [online:] https://www.healthcatalyst.com/insights/5-reasons-healthcare-data-is-difficult-to-measure.

56 Abouelmehdi K., *Big healthcare data: preserving security and privacy*, Journal of Big Data, Vol. 5 No. 1 (2018).

57 Field M., *WannaCry cyber-attack cost the NHS £92m as 19,000 appointments cancelled*, 11.10.2018, [online:] https://www.telegraph.co.uk/technology/2018/10/11/wannacry-cyber-attack-cost-nhs-92m-19000-appointments-cancelled/.

58 Green P., *Regulatory policy changes needed to bring AI into clinical decision making, study says*, 24.01.2019, [online:] https://medicalxpress.com/news/2019-01-regulatory-policy-ai-clinical-decision.html.

59 Downey A., *Line 'needs to be drawn' to establish accountability in healthcare AI, report warns*, 20.02.2019, [online:] https://www.digitalhealth.net/2019/02/accountability-healthcare-artificial-intelligence/.

60 Norman A., *Your Future Doctor May Not be Human. This Is the Rise of AI in Medicine*, 31.01.2018, [online:] https://futurism.com/ai-medicine-doctor.

61 Interview: Mélisande Rouger and Daniela Zimmermann, *Samsung: AI develops beyond the breast*, 14.06.2017, [online:] https://healthcare-in-europe.com/en/news/samsung-ai-develops-beyond-the-breast.html.

62 Rok wcześniej amerykańska Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych w Obszarze Obronności (DARPA) zorganizowała pierwszą taką próbę, jednak wówczas żaden pojazd nie ukończył zawodów - najlepszy samochód pokonał wtedy jedynie 11 kilometrów trasy.

63 KPMG, *Venture Pulse Q4 2018. Global analysis of venture funding*, 15.01.2019, s. 2, [online]: https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/01/kpmg-venture-pulse-q4-2018.pdf.

64 Somasegar S., Li D., *The State of Today's Autonomous Vehicle Market*, Madron Venture Group, 2017, [online]: https://www.madrona.com/avmarket/.

65 Allied Market Research, *Autonomous vehicle market- Global opportunity analysis and industry forecast*, 2019-2026, 05.2018, [online]: https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-vehicle-market.

66 BIS Research, *Global Autonomous Vehicle Market: Focus on Level of Autonomy for Passenger Cars and Commercial Vehicles, Analysis and Forecast: (2018-2028)*, 2019, [online]: https://bisresearch.com/industry-report/autonomous-vehicle-market.html.

67 Ibidem.

68 McKinsey & Company, *Monetizing car data. New service business opportunities to create new customer benefits*, 09.2016, [online]: www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20Assembly/Our%20Insights/Monetizing%20car%20data/Monetizing-car-data.ashx.

69 Markets and Markets, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market - Global Forecast to 2025*, 02.2018, [online:] https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/unmanned-aerial-vehicles-uav-market-662.html.

70 Technavio, *Global Autonomous Mobile Robots Market 2018-2022. Growth Analysis and Forecast*, 12.2018, [online:] https://www.businesswire.com/news/home/20181211005561/en/Global-Autonomous-Mobile-Robots-Market-2018-2022-Growth.

71 Research and Market, *Autonomous Ships Market by Autonomy, Ship Type, End Use, Solution, and Region - Global Forecast to 2030*, 01.2019, [online:] https://www.researchandmarkets.com/research/fw6nmm/global_autonomous?w=5.

72 Markets and Markets, *Autonomous Train Market by Level of Automation, Technology, Application, Component, Train Type, Track Length, and Region - Global Forecast to 2030*, 05.2018, [online:] https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/autonomous-train.asp; Transparency Market Research, Autonomous Trains Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2017 – 2025, 01.2018, [online:] https://www.transparencymarketresearch.com/autonomous-trains-market.html.

73 Markets and Markets, *Intelligent Transportation System Market by Offering, System, Application, and Geography - Global Forecast to 2023*, 03.2018, [online:] https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/intelligent-transport-systems-its.asp.

74 Markets and Markets, *Ride Sharing Market by Type, Car Sharing, Service, Micro-Mobility, Vehicle Type, and Region - Global Forecast to 2025*, 12.2018, [online:] https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mobility-on-demand-market-198699113.html.

75 Filipiny, Indonezja, Malezja, Singapur, Tajlandia, Brunei, Wietnam, Laos, Mjanma, Kambodża.

76 Hawken P. (ed.), Drawdown: *The Most Comprehensive Plan Ever Proposed to Reverse Global Warming*, Penguin Books, New York 2017, p. 185.

77 Duarte F., Ratti C., *The Impact of Autonomous Vehicles on Cities: A Review*, Journal of Urban Technology, 2018, Vol. 25, Issue 4, p. 10.

78 KPMG International, *Autonomous Vehicles Readiness Index. Assessing countries' openness and preparedness for autonomous vehicles*, 2018, [online:] https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tw/pdf/2018/03/KPMG-Autonomous-Vehicle-Readiness-Index.pdf.

79 Land Transport Authority, *Singapore Autonomous Vehicle Initiative*, [online:] https://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/roads-and-motoring/managing-traffic-and-congestion/intelligent-transport-systems/savi.html.

80 Land Transport Authority and Intelligent Transport Society Singapore, *Smart Mobility 2030. ITS Strategic Plan for Singapore, 2014*, [online:] https://www.lta.gov.sg/content/dam/ltaweb/corp/RoadsMotoring/files/SmartMobility2030.pdf.

81 Singapore-MIT Alliance for Research and Technology (SMART), *Future Urban Mobility (FM) IRG*, https://smart.mit.edu/research/fm/research-projects.

82 Republic of Singapore. Government Gazette. Acts Supplement, *Road Traffic (Amendment)* Act 2017, 21.03.2017, [online:] https://sso.agc.gov.sg/Acts-Supp/10-2017/Published/20170321?DocDate=20170321.

83 KPMG International, *Autonomous...*, op.cit., p.15.

84 Decristofaro P., Lee Y., *Pyeongchang Olympics showcases Korean self-driving vehicles*, Phys.org, 15.02.2018, [online:] https://phys.org/news/2018-02-pyeongchang-olympics-showcases-korean-self-driving.html.

85 Galeon D., *Hyundai's Hydrogen-Powered, Self-Driving SUV Runs on Level 4 Autonomy, Futurism*, 18.02.2018, [online:] https://futurism.com/hyundai-hydrogen-powered-suv-level-4-autonomy.

86 White S., *Japan looks to launch driverless car system in Tokyo by 2020*, Reuters, 04.06.2018, [online:] https://www.reuters.com/article/us-japan-economy-strategy/japan-looks-to-launch-driverless-car-system-in-tokyo-by-2020-idUSKCN1J00VN.

87 Byford S., *Honda reveals its plans for autonomous vehicles*, The Verge, 08.06.2017, [online:] https://www.theverge.com/2017/6/8/15761272/honda-self-driving-cars-autonomous-level-4-date.

88 DeBord M., *GM and Honda are joining forces on self-driving cars with a $750 million Honda investment making GM Cruise worth $14.6 billion*, Business Insider, 04.10.2018, [online:] https://www.businessinsider.com/gm-honda-joining-forces-on-self-driving-cars-2018-10.

89 Ohnsman A., *Waymo Racks Up 10 Million Test Miles Ahead Of Launching Its Robotaxi Business*, Forbes, 10.10.2018, [online:] https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2018/10/10/waymo-racks-up-10-million-test-miles-ahead-of-launching-its-robotaxi-business/#1834c9b37eb1.

90 Min-hee J., *World's Largest Test Bed for Self-driving Cars to Be Opened in Korea*, Business Korea, 08.05.2017, [online:] http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=18018.

91 Sawers P., *Samsung to build 5G and V2X networks for autonomous car tests at South Korea's K-City, Venture Beat*, 06.12.2018, [online:] https://venturebeat.com/2018/12/06/samsung-to-build-5g-and-v2x-networks-for-autonomous-car-tests-at-south-koreas-k-city/.

92 Microsoft, *How IoT and AI are transforming cars with intelligent mobility*, 09.02.2017, [online:] https://blogs.microsoft.com/iot/2017/02/09/how-iot-and-ai-are-transforming-cars-with-intelligent-mobility/.

93 Bhuiyan J., *The world's first network of fully self-driving taxis is up and running*, Recode, 25.08.2016, [online:] https://www.recode.net/2016/8/25/12639472/nutonomy-self-driving-taxis-singapore.

94 Lyon P., *Japan's First-Ever, Self-Driving Robo-Taxis Testing On Public Roads*, Forbes, 28.02.2018, [online:] https://www.forbes.com/sites/peterlyon/2018/02/28/futuristic-self-driving-robo-taxies-testing-on-public-roads-in-japan/#634f1bc02a67.

95 Mu-Hyun Ch., *KT tests driverless bus at Korean airport*, ZD Net, 20.10.2018, [online:] https://www.zdnet.com/article/kt-tests-driverless-bus-at-korean-airport/.

96 Bright C., *All Nippon Airways is trialling driverless buses at Tokyo Haneda Airport*, Business Traveller, 16.01.2019, [online:] https://www.businesstraveller.com/business-travel/2019/01/16/all-nippon-airways-is-trialling-driverless-buses-at-tokyo-haneda-airport/.

97 Channel News Asia, *Singapore to start trials of driverless trucks for port transport*, 09.01.2017, [online:] https://www.channelnewsasia.com/news/singapore/singapore-to-start-trials-of-driverless-trucks-for-port-transpor-7558490.

98 Sato T., *AI helps Japan Airlines pack planes even tighter*, Nikkei Asian Review, 01.09.2018, [online:] https://asia.nikkei.com/Business/Companies/AI-helps-Japan-Airlines-pack-planes-even-tighter.

99 Bright C., *Japan Airlines trialling AI-powered voice recognition technology at Tokyo check-in desks*, Business Traveller, 13.03.2019, [online:] https://www.businesstraveller.com/business-travel/2019/03/13/japan-airlines-trialling-ai-powered-voice-recognition-technology-at-tokyo-check-in-desks/.

100 IBM, *Korean Air is using Watson to search vast amounts of data to improve operational efficiency and on-time performance*, [online:] https://www.ibm.com/watson/stories/airlines-with-watson/.

101 Airbus, *Airbus completes first flight demonstration for its commercial parcel delivery drone 'Skyways'*, 08.02.2018, [online:] https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2018/02/airbus-completes-first-flight-demonstration-for-its-commercial-p.html.

102 Singapore Post, *SingPost Collaborates with IDA to Develop First Drone for Mail Delivery*, 08.10.2015, [online:] https://www.singpost.com/about-us/news-releases/singpost-collaborates-ida-develop-first-drone-mail-delivery.

103 Lim S., *Air taxis will be tested in Singapore skies next year – here are 5 things to know about the Volocopter*, Business Insider Singapore, 22.10.2018, [online:] https://www.businessinsider.sg/air-taxis-will-be-tested-in-singapore-skies-next-year-here-are-5-things-to-know-about-the-volocopter/.

104 Lim S., *Launch plans for serving drones at Timbre grounded*, Today, 08.01.2016, [online:] https://www.todayonline.com/singapore/plans-use-drones-timbres-largest-outlet-pushed-back.

105 Fujitsu Limited, *Fujitsu Begins Field Trial for AI-Based Train Delay Prediction*, 19.07.2016, [online:] https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2016/0719-02.html.

106 Rossi B., *Trains with brains: how artificial intelligence is transforming the railway industry*, Information Age, 22.10.2015, [online:] https://www.information-age.com/trains-brains-how-artificial-intelligence-transforming-railway-industry-123460379/.

107 Lee K., *AI Technology Used to Check Rail Tracks*, The Korea Bizwire, 25.06.2018, [online:] http://koreabizwire.com/ai-technology-used-to-check-rail-tracks/120470.

108 Kyodo News, *Robot station security guard unveiled ahead of 2020 Tokyo Olympics*, 25.10.2018, [online:] https://english.kyodonews.net/news/2018/10/2d643dba2a01-robot-station-security-guard-unveiled-to-press-ahead-of--tokyo-olympics.html.

109 The Japan Times, *New JR East train does Tokyo's Yamanote Line loop twice on auto with just one touch of a button*, 07.01.2019, [online:] https://www.japantimes.co.jp/news/2019/01/07/national/jr-east-takes-new-yamanote-line-train-auto-control-system-spin/.

110 Embassy of Switzerland in Japan, *Steady Progress Being Made in Japanese Rail Routes Aided by AI*, 09.02.2019, [online:] https://www.stofficetokyo.ch/news/artificial-intelligence/steady-progress-being-made-in-japanese-rail-routes-aided-by-ai.

111 Jiang R., Song X., Fan Z., Xia T., Chen Q., Miyazawa S., Shibasaki R., *DeepUrbanMomentum: An Online Deep-Learning System for Short-Term Urban Mobility Prediction*, The Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-18), 2018, [online:] https://pdfs.semanticscholar.org/2a3a/d65455cba36c3e2e502a4a31a26c6eb4d1fb.pdf.

112 Russell J., *Malaysia's capital will adopt 'smart city' platform from Alibaba*, Techcrunch, 2018, [online:] https://techcrunch.com/2018/01/29/malaysia-alibaba-city-brain/.

113 International Post Corporation, *SingPost integrates LogiNext's Artificial Intelligence to next-gen logistics platform LaMP*, 13.12.2018, [online:] https://www.ipc.be/news-portal/e-commerce/2018/12/13/09/29/singpost-integrates-loginexts-artificial-intelligence-to-next-gen-logistics-platform-lamp.

114 Goodall W., Dovey Fishman T., Bornstein J., Bonthron B., *The rise of mobility as a service. Reshaping how urbanities get around*, *Deloitte Review*, 2017, Issue 20, [online:] https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/consumer-business/deloitte-nl-cb-ths-rise-of-mobility-as-a-service.pdf.

115 Pieriegud J., *E-mobilność jako koncepcja rozwoju sektorów Infrastrukturalnych [w:] E-mobliność: wizje i scenariusze rozwoju*, Gajewski J., Paprocki W., Pieriegud J. (Ed.), Centrum Myśli Strategicznych, Sopot 2017, pp. 8-21.

116 MaaS Global, *MaaS Global is starting operations in Singapore – getting ready to launch the groundbreaking mobility service Whim*, [online:] https://maas.global/maas-global-is-starting-operations-in-singapore-getting-ready-to-launch--the-groundbreaking-mobility-service-whim/.

117 Pham S., *Grab is valued at $14 billion after getting a big cash boost from SoftBank*, CNN Business, 06.03.2019, [online:] https://www.cnn.com/2019/03/06/tech/grab-softbank-singapore/index.html.

118 Aravindan A., *Grab to set up artificial intelligence lab with Singapore university*, Reuters, 18.07.2018, [online:] https://www.reuters.com/article/us-grab-artificial-inteligence/grab-to-set-up-artificial-intelligence-lab-with--singapore-university-idUSKBN1K816X.

119 Kampshoff P., Padhi A., *Autonomous-driving disruption: Technology, use cases, and opportunities*, McKinsey & Company, [online:] https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-driving-disruption-technology-use-cases-and-opportunities.

120 Eykholt K., Evtimov I., Fernandes E., Li B., Rahmati A., Xiao Ch., Prakash A., Kohno T., Song D., *Robust Physical-World Attacks on Deep Learning Models*, Cornell University, CVPR 2018, [online:] https://arxiv.org/pdf/1707.08945.pdf.

121 Personal Data Protection Commission. Singapore, *A Proposed Model Artificial Intelligence Governance Framework*, 01.2019, [online:] https://www.pdpc.gov.sg/-/media/Files/PDPC/PDF-Files/Resource-for-Organisation/AI/A-Proposed-Model-AI-Governance-Framework-January-2019.pdf.

122 European Commission, *Independent High-Level Group on Artificial Intelligence (AI HLEG), Ethics Guidelines for Trustworthy AI*, 08.03.2019, [online:] https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai.

123 FAO, 2017, [online]: http://faostat.fao.org/static/syb/syb_5000.pdf.

124 FAO, *The future of food and agriculture – Trends and challenges*, Rome, 2017, [online]: http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf.

125 UN, *World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100*, 21.06.2017, [online]: https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html.

126 FAO, *How to Feed the World in 2050*, [online]: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf.

127 UN, *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, Highlights, 2014, [online]: https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf.

128 World Government Summit, *Agriculture 4.0 – The Future Of Farming Technology*, 2018, [online]: https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2018/February/Oliver-Wyman-Agriculture-4.0.pdf.

129 DBMR, *Global AI in Agriculture Market – Industry Trends and Forecast to 2025*, 2019.

130 Research and Markets, *Global Smart Farming Market to Reach $23.14 Billion by 2022*, 2018, [online]: https://www.globenewswire.com/news-release/2018/08/02/1546021/0/en/Global-Smart-Farming-Market-to-Reach-23-14-Billion-by-2022.html

131 PWC, *Global Market for Commercial Applications of Drone Technology Valued at over $127 bn*, 2016, [online]: https://press.pwc.com/News-releases/global-market-for-commercial-applications-of-drone-technology-valued-at-over--127-bn/s/ac04349e-c40d-4767-9f92-a4d219860cd2.

132 Mahajan, S., Das, A., Sardana, H.K., *Image acquisition techniques for assessment of legume quality*. Trends Food Sci. Technol. 42 (2), 2015, 116–133, [online]: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.01.001.

133 Barbedo, J.G.A., *A review on the main challenges in automatic plant disease identification based on visible range images*. Biosyst. Eng., 2016, 144, 52–60. [online]: https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.017.

134 Khanna A., Kaur S.., *Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture*, Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 157:218-31.

135 Jednymi z najbardziej znaczących globalnych firm na rynku rolnym AI są: IBM, Microsoft Corporation, Descartes Labs, Deere & Company, Granular, aWhere, The Climate Corporation¸ Agribotix LLC, Tule Technologies, Prospera, Mavrx Inc., Cropx, Harvest Croo, Farmbot, Trace Genomics, Spensa Technologies Inc., Resson, Vision Robotics i Autonomous Tractor Corporation.

136 DBMR, *Global AI in Agriculture Market – Industry Trends and Forecast to 2025*, 2019.

137 IBEF, *Agriculture in India: Information About Indian Agriculture & Its Importance*, 04.2019, [online]: https://www.ibef.org/industry/agriculture-india.aspx.

138 Kashyap S., *AI to test and grade fruits and vegetables? These Amazon and Snapdeal ex-staffers are doing just that*, 03.04.2019, [online]: https://yourstory.com/2019/04/startup-intello-ai-grade-fruits-vegetables-wsasbq.

139 Mulia K., *Tani Group is disrupting agriculture, one of Indonesia's key economic sectors: Startup Stories*, 25.03.2019 [online]: https://kr-asia.com/tani-group-is-disrupting-agriculture-one-of-indonesias-key-economic-sectors-startup-stories.

140 UNPAN, *S. Korea: Youth, Smart Tech Reshaping Farming Industry*, 28.04.2017, [online]: http://www.unpan.org/Regions/AsiaPacific/PublicAdministrationNews/tabid/115/mctl/ArticleView/ModuleId/1467/articleId/54482/Default.aspx.

141 Liakos K., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D., *Machine Learning in Agriculture: A Review*, 2018, [online]: https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674/pdf.

142 KE, *Rolnictwo precyzyjne: Przygotowywanie gruntu pod nową rewolucję w rolnictwie*, 2017, [online]: https://cordis.europa.eu/article/id/400295-precision-farming-sowing-the-seeds-of-a-new-agricultural-revolution/pl.

143 Liakos K., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D., *Machine Learning in Agriculture: A Review*, 2018, [online]: https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674/pdf.

144 ICRISAT, *Pioneering digital agricultural applications to help farmers cope with climate change*, 09.06.2019, [online]: https://www.icrisat.org/pioneering-digital-agricultural-applications-to-help-farmers-cope-with-climate-change/.

145 Microsoft, *Digital Agriculture: Farmers in India are using AI to increase crop yields*, 07.11.2017, [online]: https://news.microsoft.com/en-in/features/ai-agriculture-icrisat-upl-india/.

146 Cropin, 20.09.2017, [online]: https://www.cropin.com/tag/smartfarm/.

147 ETRISE, *SaaS-based agri-tech company CropIn registers 300% growth*, 25.02.2019, [online]: https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/startups/newsbuzz/saas-based-agri-tech-company-cropin-registers-300-growth/articleshow/68147881.cms.

148 Sennar K., *AI in Agriculture – Present Applications and Impact*, 18.02.2019, [online]: https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-agriculture-present-applications-impact/.

149 Shrivastava A., *Agri-tech startup TartanSense raises Rs 15 crore from investors*, 11.03.2019, [online]: https://tech.economictimes.indiatimes.com/news/startups/agri-tech-startup-tartansense-raises-rs-15-crore-from-investors/68348116.

150 PAP, *Żukbot - robot rolniczy, który rozpoznaje chore rośliny i chwasty*, 26.11.2017, [online]: https://www.pap.pl/aktualnosci/news,1183983,zukbot---robot-rolniczy-ktory-rozpoznaje-chore-rosliny-i-chwasty.html.

151 Liakos K., Busato P., Moshou D., Pearson S, Bochtis D., *Machine Learning in Agriculture: A Review*, 2018, [online]: https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674/pdf.

152 Mohanty S.P., Hughes D.P., Salathé, M., *Using deep learning for image-based plant disease detection*. Frontiers in plant science, 2016, 7.

153 Lekshmi Priya S., *AI to the Rescue: How Phones are Turning into Plant Doctors for Thousands of Farmers*, 15.03.2019, [online]: https://www.thebetterindia.com/175044/india-farmer-earning-lakhs-plantix-app-crop-health/.

154 Plantix, 04.2019, [online]: https://plantix.net/business/en/vision.

155 Zareiforoush H., Minaei S., Alizadeh M.R. and Banakar A., *A hybrid intelligent approach based on computer vision and fuzzy logic for quality measurement of milled rice*. Measurement, 2015, 66, pp.26-34.

156 Singh K.R., Chaudhury S., *Efficient technique for rice grain classification using back-propagation neural network and wavelet decomposition*. IET Computer Vision, 2016, 10(8), pp.780-787.

157 Trafton A., MIT News, *The future of agriculture is computerized*, 03.04.2019, [online]: http://news.mit.edu/2019/algorithm-growing-agriculture-0403.

158 Sato K., GCP, *How a Japanese cucumber farmer is using deep learning and TensorFlow*, 31.08.2016 [online]: https://cloud.google.com/blog/products/gcp/how-a-japanese-cucumber-farmer-is-using-deep-learning-and-tensorflow.

159 World Government Summit, *Agriculture 4.0 – The Future Of Farming Technology*, 2018, [online]: https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2018/February/Oliver-Wyman-Agriculture-4.0.pdf.

160 Markets and Markets, *Smart Harvest Market*, 2019, [online]: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-harvest-market-7445954.html.

161 Panasonic, *Introducing AI-equipped Tomato Harvesting Robots to Farms May Help to Create Jobs*, 23.05.2018 [online]: https://news.panasonic.com/global/stories/2018/57801.html.

162 Shimbun Ch., Japan Times, *Toyota's optical sensors might help farmers raise crop yields through quick soil analysis*, 07.04.2019, [online]: https://www.japantimes.co.jp/news/2019/04/07/national/toyotas-optical-sensors-might-help--farmers-raise-crop-yields-quick-soil-analysis/#.XLWk3OgzZHY.

163 Toyota, *Toyota field trials new soil analysis system for farmers*, 26.03.2019, [online]: https://blog.toyota.co.uk/toyota--new-soil-analysis-system.

164 The Burn-In, *ConserWater: Innovating AgriTech Using A.I.*, 25.10.2018, [online]: https://www.theburnin.com/thought-leadership/conserwater-innovating-agritech-using-a-i/.

165 ConserWater, *AI-ADIC Help Farmers Grow More With Less Resources*, 03.01.2019, [online]: https://conserwater.com/conserwater_mobitech_partnership_press_release.pdf.

166 KE, *EU Member States join forces on digitalisation for European agriculture and rural areas*, 09.04.2019, [online]: https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/eu-member-states-join-forces-digitalisation-european-agriculture-and-rural-areas.

167 Rodriguez D., et al., *To mulch or to munch? Big modelling of big data*. Agric. Syst. 2017. 153, 32–42.

168 Remote sensing-based Information and Insurance for Crops in Emerging economies ("RIICE"), 2019, [online]: http://www.riice.org/.

169 Kamilaris A., Kartakoullis A., Prenafeta-Boldú F.X., *A review on the practice of big data analysis in agriculture*. Computers and Electronics in Agriculture, 2017, 143, pp.23-37.

170 Nandyala C.S., Kim H.-K., *Big and meta data management for U-agriculture mo-bile services*. Int. J. Software Eng. Appl. (IJSEIA), 2016, 10 (1), 257–270.

171 Shin D.-H., Choi M.J., *Ecological views of big data: perspectives and issues*. Telematics Inform. 2015. 32 (2), 311–320.

172 Carolan M., *Publicising food: big data, precision agriculture, and co-experimental techniques of addition*. Soc. Ruralis. 2016.

173 Schuster J., *Big data ethics and the digital age of agriculture*. Am. Soc. Agric. Biol. Eng. 2017. 24 (1), 20–21.

174 Trafton A., MIT News, *The future of agriculture is computerized*, 03.04.2019, [online]: http://news.mit.edu/2019/algorithm-growing-agriculture-0403.

175 Byrum J., *The Challenges for Artificial Intelligence in Agriculture*, 04.2019, [online]: https://www.plugandplaytechcenter.com/resources/artificial-intelligence-agtech/.

176 WEF, *AI and robotics predicted to create 58 million more jobs they will destroy*, 19.09.2018, [online]: https://channels.theinnovationenterprise.com/articles/ai-and-robotics-predicted-to-create-58-million-more-jobs-they-will-destroy.

177 Mimo tego, wiele akceleratorów AgriTech/foodtech pojawiło się już w Europie w ciągu ostatnich 2 lat, w tym StartLife, EIT Food Accelerator Network, ShakeUpFactory, Startupbootcamp FoodTech, The Yield Lab w Irlandii, SmartAgriFood, KATANA i wiele innych.

178 KE, *Shaping the digital (r)evolution in agriculture*, 2018, [online]: https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_brochure_digital_revolution_2018_en_web.pdf.

179 Nayyar S., *WEF, How drones and data are changing India's farms*, 10.10.2018, [online]: https://www.weforum.org/agenda/2018/10/India-tech-drones-farmers-wages.

180 Ibidem.

INSTYTUT KOŚCIUSZKI

Instytut Kościuszki to wiodący pozarządowy ośrodek naukowo-badawczy o charakterze non-profit założony w 2000 r. Naszą misją jest działanie na rzecz społeczno-gospodarczego rozwoju i bezpieczeństwa Polski, jako aktywnego członka Unii Europejskiej oraz NATO. Instytut specjalizuje się w tworzeniu strategicznych rekomendacji i kierunków rozwoju kluczowych polityk publicznych, stanowiących merytoryczne wsparcie dla polskich i europejskich decydentów politycznych. Instytut Kościuszki jest pomysłodawcą i głównym organizatorem Europejskiego Forum Cyberbezpieczeństwa – CYBERSEC, corocznej konferencji poświęconej strategicznym aspektom cyberprzestrzeni.

PARTNER RAPORTU

SAMSUNG

© Instytut Kościuszki 2019

INSTYTUT KOŚCIUSZKI