



Politechnika  
Wroclawska

# Algorytmy sztucznej inteligencji w Przemysle 4.0

Wstep do sztucznej inteligencji

Dr inż. Radoslaw Idzikowski



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



## Czym jest sztuczna inteligencja?

**Sztuczna inteligencja (AI)** to dziedzina informatyki zajmująca się tworzeniem systemów, które mogą wykonywać zadania zwykle wymagające ludzkiej inteligencji. W ciągu lat badacze opracowali różne definicje **AI**. Jedni skupiali się na tym, aby **AI** działała tak jak człowiek, podczas gdy inni woleli definiować inteligencję poprzez racjonalność, czyli podejmowanie logicznych, optymalnych decyzji (czyli „robienie tego, co należy”). W obu przypadkach **AI** może być rozumiana zarówno jako procesy myślowe (wewnętrzne), jak i zachowania (zewnętrzne).



# Definicja

<b>Thinking Humanly</b> <i>"The exciting new effort to make computers think ... machines with minds, in the full and literal sense." (Haugeland, 1985)</i> <i>"[The automation of] activities that we associate with human thinking, activities such as decision-making, problem solving, learning ..." (Bellman, 1978)</i>	<b>Thinking Rationally</b> <i>"The study of mental faculties through the use of computational models." (Charniak and McDermott, 1985)</i> <i>"The study of the computations that make it possible to perceive, reason, and act." (Winston, 1992)</i>
<b>Acting Humanly</b> <i>"The art of creating machines that perform functions that require intelligence when performed by people." (Kurzweil, 1990)</i> <i>"The study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better." (Rich and Knight, 1991)</i>	<b>Acting Rationally</b> <i>"Computational Intelligence is the study of the design of intelligent agents." (Poole et al., 1998)</i> <i>"AI ... is concerned with intelligent behavior in artifacts." (Nilsson, 1998)</i>

Różne definicje sztucznej inteligencji, zorganizowane w cztery kategorie.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sztuczna inteligencja. Nowe spojrzenie. Wydanie IV. Tom 1

# Acting humanly – działanie jak człowiek

## Test Turinga

zaproponowany przez **Alana Turinga** (1950), miał na celu dostarczenie satysfakcjonującej definicji operacyjnej inteligencji.



W celu zdania testu, komputer musiałby posiadać następujące zdolności:

- ▶ **przetwarzanie języka naturalnego,**
- ▶ **przechowywanie wiedzy,**
- ▶ **automatycznie wnioskowanie,**
- ▶ **uczenie maszynowe,** pozwalające na dostosowanie się do nowych okoliczności oraz wykrywania wzorców.



# Thinking humanly – myślenie jak człowiek

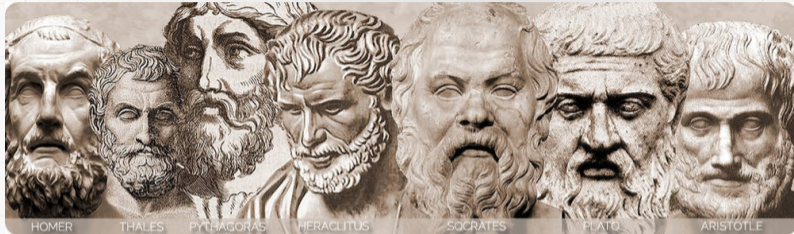
W celu stwierdzenia, że program myśli jak człowiek, to w pierwszej kolejności musimy określić oraz zrozumieć jego sposób myślenia. Zgłębienie ludzkiego umysłu jest możliwe poprzez:

- ▶ **introspekcję,**
- ▶ **eksperymenty psychologiczne,**
- ▶ **obrazowanie mózgu.**

Fundamentem kognitywistyki jest badanie poprzez eksperymenty zarówno zachowania ludzi jak i zwierząt.



# Thinking rationally – racjonalne myślenie



## Logika

Już w **starożytnej Grecji** próbowano określić prawa naturalnego myślenia, która miały za zadanie regulować działanie ludzkiego umysłu. Zaproponowane przez **Arystotelesa sylogizmy** określały schematy wnioskowania.

*"Socrates is a man; all men are mortal; therefore, Socrates is mortal."*



## Acting rationally – racjonalne działanie

**Agent** to system, który wykonuje działania autonomicznie. **Racjonalny agent** to taki, który dąży do osiągnięcia najlepszego możliwego wyniku na podstawie dostępnych informacji. **Agent** ten powinien samodzielnie dostosowywać się do zmian, uczyć się na błędach i podejmować decyzje w niepewnych warunkach.

Przewaga podejścia racjonalnego nad innymi polega na tym, że nie wymaga ono naśladowania człowieka, a zamiast tego opiera się na matematycznie dobrze zdefiniowanych zasadach racjonalności. Dzięki temu można tworzyć systemy, które potrafią podejmować optymalne decyzje, nawet jeśli muszą działać w złożonych i zmieniających się środowiskach.

## Wyzwania w AI

Jednym z głównych problemów w rozwoju **AI** jest problem zgodności wartości. Polega on na tym, że trudne jest idealne sformułowanie celów, które powinny zostać osiągnięte przez **AI**, w taki sposób, aby były one zgodne z ludzkimi wartościami.

### Przykład

W przypadku autonomicznego samochodu celem jest bezpieczne dotarcie do celu. Jeśli jednak priorytetem byłoby wyłącznie bezpieczeństwo, samochód mógłby nigdy nie opuścić garażu, aby uniknąć jakiegokolwiek ryzyka. Dlatego **AI** musi być w stanie zbalansować różne cele, takie jak bezpieczeństwo i efektywność, jednocześnie dbając o komfort pasażerów i zasady społeczne, np. nie denerwowanie innych kierowców.

Z tego powodu kluczowe jest, aby **AI** nie tylko realizowała swoje cele, ale także potrafiła uczyć się naszych preferencji i dostosowywać swoje działania w taki sposób, aby były korzystne dla ludzi.





# Podstawy sztucznej inteligencji

## Filozofia

- ▶ **Arystoteles** (384–322 p.n.e.) opracował formalne prawa rozumowania, znane jako **sylogizmy**, które pozwalały na wyciąganie poprawnych wniosków.
- ▶ **Ramon Llull** (1232–1315) stworzył system logicznego wnioskowania zwany **Ars Magna** („Wielka Sztuka”).
- ▶ W XVII wieku **René Descartes** oddzielił umysł od materii, promując **dualizm** – koncepcję, że ludzki umysł nie podlega prawom fizyki, w przeciwieństwie do zwierząt, które postrzegał jako maszyny. Alternatywą był **materializm**, który głosił, że działanie mózgu zgodnie z prawami fizyki tworzy umysł.
- ▶ **Empiryzm** postulował, że wszelka wiedza pochodzi z doświadczenia zmysłowego. John Locke podsumował to stwierdzeniem: „Nic nie jest w umyśle, czego wcześniej nie było w zmysłach”.

Ruch ten prowadził do rozwoju indukcji, zasady, że ogólne reguły są uzyskiwane przez wielokrotne skojarzenia między elementami.



# Podstawy sztucznej inteligencji

## Matematyka

Matematyka była kluczowa w formalizacji logiki, prawdopodobieństwa oraz teorii obliczeń, co umożliwiło powstanie AI jako dyscypliny naukowej:

- ▶ Formalna logika wywodzi się z prac **George'a Boole'a** i **Gottloba Fregego**. **Frege** rozszerzył **logikę Boole'a**, tworząc logikę pierwszego rzędu.
- ▶ **Kurt Gödel** wykazał, że niektóre prawdy matematyczne nie mogą być dowiedzione, co miało fundamentalne znaczenie dla teorii obliczeń.
- ▶ **Alan Turing** rozwinął koncepcję **maszyn Turinga**, co pozwoliło zdefiniować, które problemy są rozwiązywalne przez algorytmy.
- ▶ **Teoria prawdopodobieństwa**, rozwinięta przez **Blaise'a Pascala** i **Pierre'a Fermata**, stała się kluczowa w sytuacjach, gdzie dostępne informacje są niepewne. W XX wieku **Thomas Bayes** opracował regułę, która pozwala aktualizować prawdopodobieństwa na podstawie nowych dowodów.



**Ekonomia** dostarczyła AI narzędzi do podejmowania racjonalnych decyzji:

- ▶ **Daniel Bernoulli** wprowadził pojęcie użyteczności, co pozwala na analizę decyzji opartych na subiektywnych wartościach.
- ▶ **Léon Walras** zbudował teorie, które uwzględniały preferencje między różnymi wynikami, co później znalazło zastosowanie w teorii decyzji.
- ▶ **Teoria gier** opracowana przez **Johna von Neumanna** i **Oskara Morgensterna** wprowadziła pojęcie **strategii optymalnych** w grach, co znalazło zastosowanie w **AI**, szczególnie w systemach wieloagentowych, gdzie różne podmioty wpływają na swoje wyniki.



Badania nad funkcjonowaniem mózgu dostarczyły **AI** inspiracji do tworzenia modeli przetwarzania informacji:

- ▶ **Paul Broca** w 1861 roku odkrył obszar mózgu odpowiedzialny za produkcję mowy, co zapoczątkowało badania nad organizacją funkcjonalną mózgu.
- ▶ **Neurony**, odkryte dzięki technice barwienia **Camillo Golgiego** i badaniom **Santiago Ramón y Cajala**, są podstawowymi jednostkami funkcjonalnymi mózgu. Sygnały między neuronami tworzą **wzorce aktywności**, co zainspirowało rozwój **sztucznych sieci neuronowych**.
- ▶ Współczesne techniki, takie jak **elektroencefalografia (EEG)** i funkcjonalny **rezonans magnetyczny (fMRI)**, umożliwiają dokładne mapowanie aktywności mózgu, co wspiera rozwój **AI** w zakresie przetwarzania i analizy informacji.



**Psychologia** odegrała istotną rolę w zrozumieniu, jak myślą i działają ludzie oraz zwierzęta:

- ▶ **Behawioryzm**, prowadzony przez **Johna Watsona**, skupiał się na badaniu zewnętrznych zachowań organizmów, odrzucając teorię procesów myślowych jako niewiarygodnych.
- ▶ Psychologia poznawcza wprowadziła pojęcie umysłu jako urządzenia przetwarzającego informacje. **Frederic Bartlett** oraz jego uczeń **Kenneth Craik** zasugerowali, że umysł tworzy wewnętrzne modele rzeczywistości, które pozwalają na lepsze podejmowanie decyzji i reagowanie na otoczenie.
- ▶ Współczesna psychologia, w szczególności interakcja człowiek-komputer, odegrała kluczową rolę w rozwoju systemów, które współdziałają z ludźmi.

# Historia sztucznej inteligencji

## Początki AI (1943–1956)

Pierwsze prace uznawane za pionierskie w dziedzinie **AI** miały miejsce w **1943 roku**, kiedy **Warren McCulloch** i **Walter Pitts** stworzyli model sztucznych neuronów. Zainspirowani fizjologią ludzkiego mózgu, teorią logiki oraz obliczeń **Turinga**, pokazali, że sieć połączonych neuronów może obliczać dowolną funkcję logiczną. Zasugerowali także, że takie sieci mogłyby się uczyć, co zainspirowało dalsze badania nad sztucznymi sieciami neuronowymi.

W 1956 roku **John McCarthy** zorganizował w **Dartmouth College** konferencję, która miała na celu połączenie sił badaczy z różnych dziedzin, takich jak **automatyka**, **sieci neuronowe** oraz studia nad **inteligencją**. Była to pierwsza konferencja oficjalnie poświęcona **sztucznej inteligencji**, która dała początek formalnym badaniom nad **AI**.

# Historia sztucznej inteligencji

## Wczesny entuzjazm i wielkie oczekiwania (1952–1969)

Lata 50. i 60. były okresem dynamicznego rozwoju **AI**, a badacze eksperymentowali z różnymi rodzajami programów. **Alan Turing** opisał swoją wizję maszyn myślących, wprowadzając koncepcje takie jak **Test Turinga**, **uczenie maszynowe** i **algorytmy genetyczne**. W tym czasie powstały także pierwsze programy komputerowe do gier (**warcaby**), które same uczyły się grać lepiej niż ich twórcy.

Jednym z najbardziej wpływowych projektów tego okresu była praca **Herberta Simona** i **Allena Newella**, którzy stworzyli program **Logic Theorist**, zdolny do rozwiązywania **matematycznych twierdzeń**. W 1958 roku **John McCarthy** stworzył język programowania **Lisp**, który przez wiele lat dominował.

# Historia sztucznej inteligencji

## Kryzys i rzeczywistość (1966–1973)

W miarę jak badania nad **AI** posuwały się naprzód, napotymano jednak na poważne ograniczenia. Wczesne systemy **AI** dobrze radziły sobie w prostych środowiskach (tzw. mikroświatach), ale zawodziły przy bardziej skomplikowanych zadaniach. **Herbert Simon** i inni badacze przewidywali, że komputery szybko przewyższą ludzi w grach takich jak **szachy**, jednak to miało się stać dopiero wiele lat później.

Brakowało także wystarczającej **mocy obliczeniowej** i **zaawansowanych algorytmów**. W szczególności **raport Lighthilla** w 1973 roku skrytykował postępy w **AI** i doprowadził do wycofania rządowego finansowania w **Wielkiej Brytanii**, co zapoczątkowało tzw. „*zimę AI*” – okres, w którym zainteresowanie sztuczną inteligencją znacząco spadło.



# Historia sztucznej inteligencji

## Systemy ekspertowe (1969–1986)

Pomimo trudności, lata 70. i 80. przyniosły rozwój **systemów ekspertowych**, które opierały się na wąsko wyspecjalizowanej wiedzy, umożliwiając rozwiązywanie złożonych problemów w wybranych dziedzinach. Przykładem był system **DENDRAL**, opracowany na **Uniwersytecie Stanforda**, który analizował dane chemiczne, oraz **MYCIN**, który pomagał w diagnozowaniu chorób na podstawie reguł.

Systemy ekspertowe były pierwszymi sukcesami **AI** w praktycznych zastosowaniach. **MYCIN** potrafił stawiać trafne diagnozy na poziomie ekspertów, a **DENDRAL** pozwalał chemikom na analizę struktury związków chemicznych na podstawie danych z mas spektrometrycznych.



# Historia sztucznej inteligencji

## Powrót sieci neuronowych (1986–obecnie)

W połowie lat 80. **sieci neuronowe**, które zostały odrzucone na początku lat 70., przeżyły swój renesans. **Algorytm propagacji wstecznej**, opracowany w latach 60., został odkryty na nowo i stał się kluczowym narzędziem w trenowaniu **sieci neuronowych**. **Sieci neuronowe** okazały się skuteczne w rozwiązywaniu problemów, które wymagały **rozpoznawania wzorców**, takich jak rozpoznawanie pisma ręcznego czy mowy.

**Koneksjonizm** – model bazujący na **sieciach neuronowych** – stał się realnym konkurentem dla bardziej symbolicznych podejść do **AI**. Sieci te mogły uczyć się na przykładach i były bardziej elastyczne w zastosowaniach niż tradycyjne systemy ekspertowe.



# Historia sztucznej inteligencji

## Uczenie maszynowe i probabilistyczne podejście (1987–obecnie)

Z czasem **systemy ekspertowe** zaczęły tracić na znaczeniu, ponieważ miały trudności z adaptacją do nowych sytuacji i nauką na podstawie doświadczeń. To otworzyło drogę dla **uczenia maszynowego**, które zamiast opierać się na regułach, pozwalało systemom samodzielnie uczyć się z danych.

W latach 90. **Judea Pearl** wprowadził **sieci bayesowskie**, które umożliwiały **modelowanie niepewności**. Rozwój **teorii decyzji** oraz **algorytmów probabilistycznych** zrewolucjonizował **AI**, wprowadzając bardziej elastyczne podejście do podejmowania decyzji.

Rozwój internetu oraz eksplozja dostępnych danych doprowadziły do powstania nowych algorytmów **uczenia maszynowego**, które mogły przetwarzać ogromne ilości danych. Zbiory danych obejmujące miliardy obrazów, nagrań dźwiękowych i tekstów stały się kluczowe w trenowaniu nowoczesnych systemów **AI**.

Dzięki tym ogromnym zasobom dane stały się kluczowym zasobem dla **AI**, co przyczyniło się do znaczących postępów w takich dziedzinach jak rozpoznawanie mowy i obrazu, przetwarzanie języka naturalnego oraz uczenie się przez maszyny.



# Historia sztucznej inteligencji

## Deep Learning (2011–obecnie)

Ostatnie lata przyniosły ogromny wzrost zainteresowania **AI** dzięki rozwojowi głębokiego uczenia (**deep learning**), które opiera się na **wielowarstwowych sieciach neuronowych**. W 2012 roku system opracowany przez **Geoffreya Hinton**a zwyciężył w konkursie **ImageNet**, osiągając przełomowe wyniki w klasyfikacji obrazów.

Od tego czasu **deep learning** zrewolucjonizował dziedziny takie jak rozpoznawanie obrazów, mowy, tłumaczenie maszynowe, diagnostyka medyczna i gry komputerowe. System **AlphaGo**, który pokonał mistrza świata w **Go**, był jednym z najbardziej imponujących osiągnięć **AI** ostatnich lat.



## Stan sztucznej inteligencji

W 2016 roku **Stanford University** opublikowało raport „*AI100*”, który analizuje **stan badań i zastosowań sztucznej inteligencji** oraz prognozy na przyszłość. Eksperti przewidują, że **AI** będzie odgrywać coraz większą rolę w takich dziedzinach jak **samochody autonomiczne, diagnostyka i leczenie medyczne** oraz **opieka nad osobami starszymi**. Jednocześnie kluczowym wyzwaniem pozostaje wykorzystanie **AI** w sposób zgodny z wartościami demokratycznymi, takimi jak wolność, równość i przejrzystość.



## Osiągnięcia sztucznej inteligencji:

- ▶ Liczba artykułów o **AI** wzrosła **20-krotnie** od 2010 roku. Najpopularniejsze obszary to **uczenie maszynowe, widzenie komputerowe i przetwarzanie języka naturalnego**.
- ▶ Wzrosła liczba pozytywnych artykułów na temat **AI**. Najczęściej poruszane kwestie to prywatność danych i stroniczość algorytmów.
- ▶ Liczba studentów kierunków związanych z **AI** wzrosła **5-krotnie** w **USA** i **16-krotnie** na świecie od 2010 roku.
- ▶ Frekwencja na konferencjach **AI**, takich jak **NeurIPS**, wzrosła o 800% od 2012 roku.



# Przykłady sukcesów technologicznych

## Rozpoznawanie obrazów

**Wyzwanie LSVRC (Large-Scale Visual Recognition Challenge)** przyniosło imponujące postępy w rozpoznawaniu obiektów. W 2010 roku systemy AI miały **28% błędów** w wykrywaniu obiektów, a w 2017 roku liczba ta spadła do **2%**, przewyższając ludzką dokładność.





# Przykłady sukcesów technologicznych

## Szybkość trenowania modeli

Czas potrzebny do trenowania modeli rozpoznawania obrazów zmniejszył się 100-krotnie w ciągu ostatnich lat, co świadczy o gwałtownym postępie w optymalizacji algorytmów i wykorzystaniu potężnych zasobów obliczeniowych.

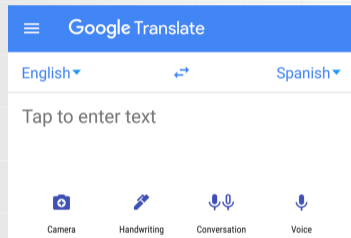




# Przykłady sukcesów technologicznych

## Tłumaczenie maszynowe

Systemy tłumaczenia maszynowego, takie jak **Google Translate**, obsługują obecnie ponad **100 języków** i każdego dnia tłumaczą **setki miliardów słów**. W tłumaczeniu między językami pokrewnymi, takimi jak francuski i angielski, systemy te osiągają poziom zbliżony do ludzkiego w określonych dziedzinach.





# Przykłady sukcesów technologicznych

## Rozpoznawanie mowy

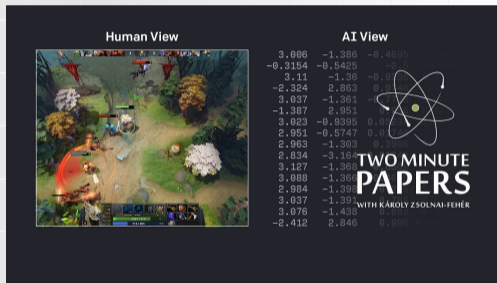
W 2017 roku system rozpoznawania mowy **Microsoftu** osiągnął poziom błędu wynoszący **5,1%**, co jest porównywalne z wydajnością człowieka w transkrybowaniu rozmów telefonicznych. Asystenci głosowi, tacy jak **Alexa**, **Siri** i **Google Assistant**, wykonują coraz bardziej złożone zadania, od odpowiadania na pytania po dokonywanie rezerwacji w restauracjach.



# Przykłady sukcesów technologicznych

## Gry komputerowe

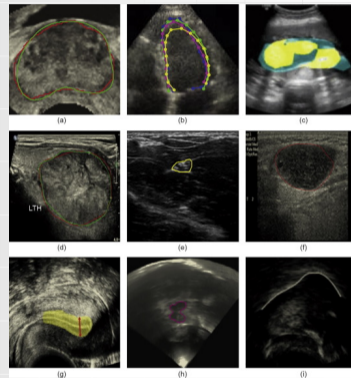
Sukcesy **AI** w grach obejmują pokonanie ludzkich mistrzów w **szachach**, **Go**, **pokierze** oraz takich grach wideo jak **Dota 2** i **StarCraft II**. Systemy **AI**, takie jak **AlphaGo** i **AlphaZero**, przewyższają ludzkie możliwości, ucząc się na podstawie gier własnych bez ludzkiego wkładu.



# Przykłady sukcesów technologicznych

## Diagnostyka medyczna

**AI** osiągnęła poziom ekspercki w diagnozowaniu wielu chorób, szczególnie tych, które wymagają analizy **obrazów medycznych**, takich jak **rak skóry**, **siatkówki** oraz **prostaty**. Systemy **AI**, takie jak **LYNA**, osiągnęły **99,6%** dokładności w diagnozowaniu **raka piersi**, a współpraca między lekarzami a **AI** przynosi jeszcze lepsze wyniki.





# Przykłady sukcesów technologicznych

## Autonomiczne pojazdy

**Samochody autonomiczne**, takie jak te rozwijane przez **Waymo**, przejechały już miliony mil na drogach publicznych, osiągając poziom bezpieczeństwa porównywalny z ludzkiemi kierowcami. W sektorze lotniczym, **drony** dostarczają krew i inne materiały medyczne w odległych regionach, np. w Rwandzie.





Wielu ekspertów prognozuje, że **AI** osiągnie **poziom ludzkiej inteligencji** w szerokim zakresie zadań między rokiem **2029 a 2200**. Średnia prognoza wynosi **2099 rok**, choć niektórzy przewidują, że AI osiągnie taki poziom już w **2025** roku. Przyszłość **AI** może przynieść zarówno dalszy rozwój obecnych technik, jak i fundamentalne przełomy, które zdefiniują nowe podejścia do tworzenia **inteligentnych systemów**.



## Korzyści

**Sztuczna inteligencja** może przynieść ogromne korzyści, znacznie podnosząc poziom naszego życia. Nasza cywilizacja opiera się na ludzkiej inteligencji, a dostęp do znacznie potężniejszej inteligencji maszynowej mógłby jeszcze bardziej zwiększyć nasze możliwości. Główne korzyści obejmują:

- ▶ **AI i robotyka** mogą uwolnić nas od powtarzalnych, czasochłonnych prac, zwiększając jednocześnie produktywność.
- ▶ **Zautomatyzowanie** procesów produkcji mogłoby doprowadzić do wzrostu gospodarczego i obfitości zasobów.
- ▶ **AI** może przyspieszyć odkrycia w dziedzinie nauki, takie jak **opracowanie nowych leków, rozwiązania problemów klimatycznych** czy **zarządzanie zasobami**.

**Demis Hassabis, CEO Google DeepMind**, ujął to słowami: „*Najpierw rozwiążmy AI, a potem użyjmy AI do rozwiązania wszystkiego innego.*” Potencjalnie **AI** mogłaby pomóc nam rozwiązać największe problemy współczesnego świata.



- ▶ Broń, która może identyfikować i eliminować cele bez interwencji człowieka, stwarza zagrożenie eskalacji konfliktów na dużą skalę.
- ▶ Może być używana do masowego nadzoru, monitorując rozmowy, wideo czy e-maile na niespotykaną dotąd skalę.
- ▶ Może wyeliminować wiele miejsc pracy, ale jednocześnie zwiększać produktywność i tworzyć nowe formy zatrudnienia.
- ▶ Stosowana w aplikacjach krytycznych, takich jak pojazdy autonomiczne czy systemy wodociągowe, niesie ryzyko błędów, które mogą mieć tragiczne skutki.
- ▶ Może być używana zarówno do obrony, jak i ataków w cyberprzestrzeni, zwiększając skuteczność złośliwego oprogramowania.



## Długoterminowe ryzyka: Superinteligencja

Jednym z największych długoterminowych zagrożeń związanych z AI jest perspektywa stworzenia sztucznej **superinteligencji** (ASI) – systemu, który znacznie przewyższa ludzką inteligencję. Już w latach 50. **Alan Turing** ostrzegał, że jeśli maszyny zaczną myśleć na poziomie porównywalnym z ludźmi, mogą szybko przewyższyć nasze możliwości, co doprowadzi do utraty kontroli przez człowieka.

Problem „**króla Midasa**” – czyli niebezpieczeństwo, że **AI** dosłownie spełni zadane cele, ale zignoruje niezamierzone skutki – stanowi główne wyzwanie w tworzeniu inteligentnych systemów. Przykładem jest postać z mitologii greckiej, król **Midas**, który zażyczył sobie, aby wszystko, czego dotknie, zamieniało się w złoto, ale później pożałował tej decyzji.



## Podsumowanie

- ▶ **AI** może być rozwijana w celu modelowania myślenia ludzkiego lub osiągnięcia optymalnych rezultatów. Ważne pytanie to, czy bardziej zależy nam na symulacji ludzkiego myślenia, czy efektywności działania.
- ▶ Standardowy model **AI** koncentruje się na **racjonalnym działaniu** – **idealny inteligentny agent** podejmuje najlepsze możliwe działania. Jednak istnieją dwa istotne problemy: ograniczenia obliczeniowe i niepewność co do celów, które **AI** powinna realizować.
- ▶ **Filozofowie** zasugerowali, że umysł działa jak maszyna, podejmując decyzje na podstawie wiedzy. Matematycy dostarczyli narzędzi do manipulacji pewnymi i niepewnymi stwierdzeniami, co stanowi fundament **AI**.
- ▶ **Ekonomiści** wprowadzili pojęcie **maksymalizacji użyteczności**, a **neurologi** odkryli podobieństwa i różnice między mózgiem a komputerami.
- ▶ W dłuższej perspektywie **AI** może ewoluować w **nieprzewidywalne sposoby**, co stawia wyzwanie kontrolowania **systemów superinteligentnych**.