

# BIOLOGIA SYNTETYCZNA

## POMOŻE NAM PRZETRWAĆ CZY NAS ZNISZCZY?



*The Futures Literacy Company*



Od kiedy sekwencjonowanie i synteza DNA stały się coraz tańsze, biologia syntetyczna postrzegana jest przez wielu jej zwolenników jako próba „zaprojektowania życia zgodnie z potrzebami ludzkości”. Dziedzina ta może mieć potencjalnie ogromny wpływ na społeczeństwo, gospodarkę, środowisko, a nawet życie na ziemi. Jej zastosowania rozszerzyły się na prawie każdą ważną branżę. Produkty z dziedziny bioinżynierii szybko przenikają do naszego życia już od pewnego czasu i jest bardzo prawdopodobne, że do 2030 roku będziemy jedli, ubierali się, użyjemy lub zostaniemy poddani leczeniu jednym z tych produktów.

W porównaniu z bardziej ugruntowanymi technikami modyfikacji genetycznej, wiele aspektów biologii syntetycznej ma obecnie całkowicie nowatorski charakter. Pomimo to, wartość rynku biologii syntetycznej osiągnęła około 10 miliardów dolarów w 2021 roku i może wzrosnąć do 37-100 miliardów dolarów do 2030 roku. Z kolei badania McKinsey sugerują, że około 400 zastosowań bioinżynierii, z których prawie wszystkie są już wykonalne, może wygenerować od 2 do 4 bilionów dolarów rocznie w latach 2030-2040.

Obszary badań obejmują między innymi analizę struktury i funkcji cząsteczek biologicznych, które przekładają się na funkcje i dynamikę organizmu. Ponadto naukowcy stosują zasady inżynierii, aby zrozumieć i wpływać na ścieżki, połączenia i interakcje w systemach biologicznych. Trzeci obszar to powielanie lub ulepszanie. Kolejna dziedzina badań wykorzystuje DNA i RNA jako nośniki do przechowywania informacji i przetwarzania danych. Trwają też prace nad innowacyjnymi interfejsami żywych organizmów z komputerami.

Potencjalnych korzyści, jakie może przynieść biologia syntetyczna jest bardzo wiele. Oto niektóre z nich:

- Zmniejszenie wpływu użytkowania gruntów przez człowieka na różnorodność biologiczną;
- Bioremediacja zanieczyszczonych terenów przemysłowych;
- Wykorzystanie syntetycznych alternatyw dla produktów obecnie pozyskiwanych z roślin i zwierząt;
- Przywrócenie lub ochrona różnorodności genetycznej i ochrona zagrożonych gatunków;
- Powstanie nowych i/lub skuteczniejszych terapii i szczepionek oraz metod diagnostycznych;
- Łatwiejsze wykrywanie zanieczyszczeń;
- Szybsze rozwiązywanie problemów z niedoborem kluczowych materiałów.

Należy jednak pamiętać, że nowe trendy w biotechnologii oznaczają również nowe zagrożenia. Jeśli im na czas nie zapobiegniemy, mogą one mieć katastrofalne skutki dla nas - ludzi i całej planety. Dlatego, podobnie jak w przypadku sztucznej inteligencji, działać należy już tu i teraz.



## JAKIE NOWE MOŻLIWOŚCI OTWIERA BIOINŻYNIERIA?

## JAKIE ZAGROŻENIA RODZI BIOLOGIA SYNTETYCZNA I CZY JESTEŚMY W STANIE JE KONTROLOWAĆ?

## W JAKI SPOSÓB BIOINŻYNIERIA WPŁYNIE NA OCHRONĘ ZDROWIA, ŚRODOWISKO, PROCESY PRODUKCYJNE I PRODUKTY?

# OSIĄGNIĘCIA BIOLOGII SYNTETYCZNEJ

## Innowacje biologiczne koncentrują się dziś na czterech obszarach:

- **biomolekuły:** mapowanie, pomiary i inżynieria cząsteczek,
- **biosystemy:** inżynieria komórek, tkanek i narządów,
- **biomaszyny:** interfejs między biologią a maszynami,
- **biocomputing:** wykorzystanie komórek lub cząsteczek, takich jak DNA, do obliczeń.

Sekwencjonowanie genomu i synteza genów są coraz tańsze i szybsze.

Trwają badania nad nową klasą programowalnych systemów modyfikujących DNA oraz nad wieloma ulepszonymi narzędziami do edycji genów.

Naukowcy opracowują nowy mobilny próbnik eDNA, który może zbierać materiał w środowisku i autonomicznie wykrywać patogeny lub gatunki inwazyjne.

Testuje się skuteczność i zakres terapii CRISPR. Opracowywane są terapie nowotworowe, chorób oczu, przewlekłych infekcji. Naukowcy wykorzystali już edycję genomu do skorygowania dziedzicznych chorób siatkówki.

Prowadzone są badania kliniczne spersonalizowanych szczepionek mRNA na wiele nowotworów.

Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe znacznie przyspieszają odkrywanie leków, umożliwiły nowe badania molekularne, zapewniły możliwość przewidywania struktury białek i niestandardowe projektowanie cząsteczek od podstaw, a także generowanie nowych związków chemicznych.

Obecnie prowadzone są dziesiątki projektów mających na celu stworzenie molekularnych robotów - nanomaszyn opartych na DNA lub białkach.

Programowalne nanoroboty zbudowane z żywych tkanek (xenoboty) są w stanie poruszać się i współpracować ze sobą przez 10 dni bez pożywienia, można je będzie wykorzystać do oczyszczania środowiska i w medycynie.

Biosensory, które mogą wykrywać broń biologiczną i szkodliwe chemikalia oraz obecność określonych sekwencji DNA.

Biologiczne komputery, które powstają na bazie genetycznie zmodyfikowanych szczepów bakterii, które mogą wyczuwać różne substancje chemiczne i reagować na nie.

Trwają badania mające określić czy wyhodowane w laboratorium komórki krwi (z powodzeniem przetoczone już pacjentowi) utrzymują się dłużej w organizmie niż oddane komórki krwi.

Dzięki biologii syntetycznej generowane są odnawialne chemikalia. Organizmy poddane inżynierii odwrotnej wykorzystywane są w zamkniętych warunkach przemysłowych na przykład do produkcji paliw.

Organs-on-chips (OoCs), systemy zawierające zmodyfikowane lub naturalne miniaturowe tkanki wyhodowane wewnątrz mikroprzepływowych chipów, które lepiej naśladują ludzką fizjologię.

Sekwencjonowanie genomu i edycja genów są wykorzystywane w procesie precyzyjnej fermentacji, w wyniku którego powstają mikroby zaprojektowane do tworzenia syntetycznych produktów, takich jak oleje i roślinne substytuty mięsa.

Technologia CRISPR pozwoliła zwiększyć poziom kwasów tłuszczowych omega-3 w roślinach, stworzyć jabłka, które nie brunatnieją, odporny na suszę ryż oraz grzyby, które wytrzymują wstrząsy podczas transportu. Niektóre zmodyfikowane odmiany soi, kukurydzy i ziemniaków są dostępne od dawna. Pojawiły się też pierwsze pomidory z edycją CRISPR.



# OSIĄGNIĘCIA BIOLOGII SYNTETYCZNEJ

Istnieją już projekty i firmy produkujące i sprzedające wyhodowane w laboratorium, wolne od uboju mięso. Trwają prace nad technologiami zwiększającymi skalę produkcji i obniżającymi jej koszty.

Kilka firm opracowuje biologiczne, trwałe biofilmy i powłoki, dzięki którym można naprawiać wyszczerbienia, rysy i pęknięcia. Produkują one też cząsteczki, mikroby i materiały do różnych zastosowań, m.in. do przenoszenia dotyku na powierzchnie smartfonów, ekranów czy skóry.

Trwają prace nad optymalizacją wydajności produkcji skór z grzybni i opracowania nowych białek dla biomateriałów.

Chiny prowadzą dziesiątki eksperymentów z zakresu edycji genów, aby stworzyć nowe rasy superświń odpornych na choroby i przystosowanych do zmian klimatycznych.

Trwają eksperymenty ze specjalnie zaprojektowanymi komarami aby ograniczyć rozprzestrzenianie się śmiertelnych chorób, takich jak denga, żółta febra i wirus Zika. Naukowcy pracują też nad osłabioną formą wywołujących malarię pasożytów z rodzaju Plasmodium, które nie wywołują choroby u ludzi, ale spowodują, że organizm wytworzy przeciwciała.

Związki pochodzące z biologii syntetycznej wytwarzają ulepszone składniki produktów do pielęgnacji skóry. Dzięki biosyntezie stworzono skwalen (kluczowy przeciwutleniacz), biofermentowane mikroalgi do produktów przeciwstarzeniowych, czy kwas alguronowy, glikoproteinę (biofermentowany egzopolisacharyd wyizolowany z brązowych wodorostów).

Naukowcy pracują nad kilkoma projektami ulepszenia fotosyntezy. W 2022 roku zmodyfikowane rośliny soi wykazały wzrost plonów o 20% dzięki ulepszonemu systemowi fotosyntezy.

Za pomocą narzędzia do edycji genów CRISPR naukowcy odkryli, jak przyspieszyć dojrzewanie drzew.

Wykorzystanie ludzkiego DNA do przechowywania danych jest już technicznie możliwe.

Naukowcy stworzyli syntetyczną bakterię zdolną do pływania, wprowadzając do niej siedem białek. Z minimalną informacją genetyczną, kuliste syntetyczne bakterie są uważane za najmniejsze jak dotąd mobilne formy życia.

Udało się stworzyć "kompletny" ludzki embrion bez użycia plemników, komórek jajowych i macicy, który nie powstał w wyniku poczęcia, a transformacji komórek macierzystych.

Nowe techniki badań genetycznych zarodków pozwalające wygenerować cały genom zarodka i obliczyć prawdopodobieństwo wystąpienia określonych dolegliwości przed zabiegiem in-vitro. Można określić, czy zarodek ma odpowiednią liczbę chromosomów i przejrzeć oceny ryzyka zawału serca, niektórych nowotworów i cukrzycy. Możliwe jest również obliczanie wyników i optymalizacja pod kątem innych cech genetycznych, takich jak wzrost i inteligencja.

Biopolimery, takie jak polisacharydy, białka i lipidy, mogą być wykorzystywane do produkcji jadalnych folii lub powłok. Firmy projektują też biodegradowalne i jadalne opakowania na bazie wodorostów.

Naukowcy wykorzystali zeolit jako katalizator do rozkładania różnych cząsteczek polimeru. Większość z nich można było przekształcić w użyteczny propan. Oferuje to nowe rozwiązanie w zakresie masowego recyklingu tworzyw sztucznych.

Syntetyczne tkaniny projektowane z DNA organizmów żywych, w oparciu o materiały fermentowane mikrobiologicznie, z grzybni.

Dzisiaj testy domowe mogą określić skład genetyczny mikrobiomu.



# OSIĄGNIĘCIA BIOLOGII SYNTETYCZNEJ

Inne projekty w dziedzinie rolnictwa obejmują syntetyczne organizmy zdolne do produkcji ogromnych ilości oleju roślinnego oraz drzewa orzechowe, które można uprawiać w pomieszczeniach, zużywając tylko ułamek wody, którą normalnie potrzebują drzewa orzechowe, a jednocześnie produkujące dwukrotnie więcej orzechów.

Syntetyczne macice są wykorzystywane z powodzeniem w eksperymentach naukowych.

Prowadzi się badania nad genetyką, aby zmienić przeznaczenie psychodelików jako terapii na depresję i PTSD.

Powstaje platforma, która ma pomóc pacjentom w określeniu, które leki powinni przyjmować - w zależności od danych genetycznych.

Mięso acelularne tworzone z organicznych cząsteczek, które nie zawierają w finalnym produkcie żadnego żywego (lub kiedyś żywego) materiału.

Naukowcy wykorzystują sieci neuronowe do opracowywania nowych segmentów genomów ludzkich. Celem jest stworzenie sztucznego ludzkiego genomu, który umożliwi badanie DNA bez naruszania prywatności żadnej osoby.

Działania w celu zróżnicowania badań genomowych i włączenie do nich genów pochodzących z innych kontynentów niż Ameryka Północna i Europa.

Chiński badacz dokonał edycji zarodków stworzonych z jaja zdrowej kobiety i nasienia mężczyzny z zakażeniem HIV. Urodziły się zdrowe bliźniaki, stając się pierwszym znanym przypadkiem dzieci poddanych edycji genów.

Badacze budują pierwszą w historii kompleksową mapę wszystkich 37,2 bilionów ludzkich komórek w ciele.

W ciągu ostatniej dekady Chiny cicho stworzyły skalowany narodowy program zbierania, sekwencjonowania i przechowywania danych genetycznych swoich obywateli, które pozwalają rządowi na ciągłe monitorowanie swoich obywateli. Ściganie przestępców wskazywane jest jako główną korzyść z badań genetycznych.

Badacze wykorzystali model uczenia maszynowego do wygenerowania nowych mutacji naturalnych enzymów, które pozwalają bakteriom rozkładać tworzywa sztuczne znajdujące się w butelkach po napojach i większości opakowań konsumenckich. Enzym, nazwany FAST-PETase, może działać na skalę przemysłową na przykład do oczyszczania składowisk odpadów.



### **Niekompletna wiedza na temat działania przyrody**

Sprawia to, że bardzo trudno jest zastosować cykle projektowania, testowania i uczenia się stosowane w konwencjonalnej inżynierii do produkcji syntetycznych materiałów biologicznych.

### **Złożone problemy etyczne**

Wzrost obaw i wyzwań w zakresie implikacji moralnych i społecznych związanych z rozwojem biologii syntetycznej, gdy nowe techniki, takie jak chirurgia genetyczna czy tworzenie organoidów wyhodowanych z ludzkich komórek macierzystych, staną się publicznie dostępne. Wzrost napięć w związku z decyzjami dotyczącymi dozwolenia lub zapobiegania edycji komórek rozrodczych człowieka.

### **Zagrożenia dla środowiska**

Organizmy wytworzone przy użyciu biologii syntetycznej i uwolnione do środowiska mogą mieć nieznany, niezamierzony i potencjalnie nieodwracalny wpływ na ekosystemy. Zmodyfikowany organizm może konkurować z gatunkami rodzimymi dla danego ekosystemu czy wpływać na środowisko poprzez przemieszczanie się genów lub materiału genetycznego między organizmami.

### **Zagrożenia dla zdrowia ludzkiego**

Możliwe jest pojawienie się nowych alergenów, odporności na nowe antybiotyki czy rakotwórczych efektów produktów biologii syntetycznej. Istnieje też potencjalne ryzyko, że syntetycznie zmodyfikowane organizmy stworzą nowe patogeny lub toksyny albo zwiększą zjadliwość lub ilość znanych patogenów lub toksyn.



### **Konflikty geopolityczne**

Geopolityczny wyścig o dominację w dziedzinie badań i osiągnięć w dziedzinie biologii syntetycznej już trwa. Chiny rozwijają rozległy krajowy ekosystem biotechnologiczny, co może zapewnić im strategiczną przewagę w zakresie badań, testowania i opracowywania nowych produktów.

**Ze względu na brak globalnych ram regulujących bioinżynierię, możemy spodziewać się konfliktów geopolitycznych wynikających z wykorzystania nowych technologii opartych na biotechnologii.**

W miarę postępu technologii bioinżynieryjnych konieczna jest współpraca rządów nad wspólną wizją przyszłości, a także nad harmonizowanymi politykami i przepisami.

### **Koszty badań bioinżynieryjnych**

**Jednak** ceny komponentów, sprzętu i materiałów wciąż spadają.

### **Dostęp do zasobów**

W szczególności specjalistów i kapitału, może zwiększyć prawdopodobieństwo i szybkość nowych odkryć lub je spowolnić.

## Niepewność regulacyjna i polityczna

**Z uwagi na szybki rozwój tej dziedziny konieczny jest** rozwój inicjatyw regulacyjnych zmierzających do ograniczających ryzyka oraz standaryzacyjnych - zmierzających do stworzenia interoperacyjności w zakresie modelowania biosystemów i standardów projektowania DNA.

## Biohacking

**Niskie bariery wejścia** otwierają drzwi do potencjalnych nadużyć z potencjalnie śmiertelnymi konsekwencjami. Niektóre technologie biologiczne są stosunkowo tanie i dostępne. Komercyjne zestawy do edycji genów CRISPR są sprzedawane stosunkowo tanio w Internecie.



## Ochrona danych genetycznych

**Obawy o prywatność i** wykorzystanie prywatnych danych genetycznych bez stosownej zgody są powszechne, mając na uwadze fakt, że podstawą postępów w biologii syntetycznej są dane z naszych ciał i mózgów. Ochrona prywatności genetycznej będzie coraz trudniejsza i wymaga odpowiednich przepisów i zabezpieczeń.

## Sprawiedliwa dystrybucja korzyści

**Podobnie jak w przypadku innych nowoczesnych technologii, istnieje znaczące ryzyko, że kraje rozwinięte będą głównym beneficjentem rozwoju biologii syntetycznej z pominięciem krajów rozwijających się.**

## Zakłócenia w konwencjonalnej produkcji

W najbliższej przyszłości pojawią się zakłócenia w tradycyjnej produkcji mięsa i nabiału, tekstyliów oraz w rozwoju farmaceutyków.

## Przechowywanie genomu

Według szacunków, do 2025 roku może zabraknąć miejsca na przechowywanie ludzkich genomów.

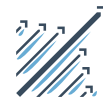
## DNA do badań

W związku z szybkim rozwojem biologii syntetycznej potrzeba jest coraz większej ilości zanonimizowanych sekwencji DNA do badań.

## Tempo innowacji

Podczas gdy tempo innowacji jest szybkie, **wyjście badań poza laboratorium wymaga czasu.**

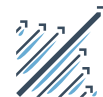
# SZANSE WYNIKAJĄCE Z OBECNIE PROWADZONYCH BADAŃ



- Nowe możliwości dla opieki zdrowotnej, farmacji, rolnictwa, produkcji żywności i napojów, urody, chemii, zrównoważonego rozwoju, energii i produkcji materiałów
- Ulepszenie lub zastąpienie wielu czynników wykorzystywanych obecnie w procesach produkcyjnych ich odpowiednikami powstałymi przy wykorzystaniu biologii syntetycznej - od paliw i surowców, poprzez materiały i produkty, aż po towary konsumpcyjne, takie jak elektronika czy odzież
- Szybsze i tańsze sekwencjonowanie genomu czy synteza genów i następną generacją programowalnych systemów modyfikujących DNA oraz narzędzia do edycji genomu, a co za tym idzie nowe terapie i leki ukierunkowane genetycznie, nowa diagnostyka i leczenie nowotworów, chorób rzadkich, chorób oczu, przewlekłych infekcji oraz szybkie wykrywanie i diagnozowanie patogenów oraz produkcja szczepionek, m.in. w oparciu o mRNA
- Biosensory, które mogą wykrywać broń biologiczną i szkodliwe chemikalia oraz obecność określonych sekwencji DNA
- Xenoboty do oczyszczania środowiska, odblokowywania żył i innych operacji, wczesnego wykrywania raka czy punktowego dostarczania leków
- Stosowanie bakterii probiotycznych edytowanych za pomocą CRISPR w leczeniu infekcji, w szczególności tych opornych na antybiotyki
- Większa precyzja leczenia dzięki nowym metodom kontrolowania terapii komórkowej
- Nowe techniki powstrzymywania, a nawet odwracania chorób związanych z wiekiem
- Syntetyczne łona i biotorby
- Chirurgia genowa (naprawianie błędów w kodzie biologicznym), m.in. optymalizacja dzieci pod kątem cech genetycznych
- Optymalizacja leków rekreacyjnych pod kątem unikalnego profilu genetycznego danej osoby
- Wzrost bezpieczeństwa leków dzięki wykorzystaniu systemów organ-on-a-chip (OoC) imitujących funkcje, procesy i reakcje fizjologiczne narządów
- Ukierunkowane terapie i ulepszanie genetyczne z wykorzystaniem robotyki molekularnej, dzięki możliwości programowania DNA i robotów
- Ograniczenie rozprzestrzeniania się śmiertelnych chorób zakaźnych w oparciu o specjalnie zaprojektowane organizmy
- Nowe terapie w oparciu o badania nad mikrobiomem ludzkim
- Sztuczna krew
- Lepsze poznanie podstawowych zasad życia i możliwości jego projektowania dzięki opracowaniu najprostszej formy życia - organizmu, komórki z minimalną informacją genetyczną.
- Przyspieszenie odkrywania nowych leków dzięki wykorzystaniu sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego
- Szybsze składanie białek i leków dzięki obliczeniom kwantowym oraz odkrycia oparte na kwantowej naturze enzymów, DNA, wirusów itp.
- Nowe, proste formy sieci neuronowych stworzone z materiału biologicznego (biologiczne komputery)
- Przechowywanie danych w ludzkim DNA z możliwością ich odczytania przez tysiące lat
- Nowe produkty oparte o proces i platformy precyzyjnej fermentacji
- Mięso wyhodowane w laboratorium
- Skóry i biomateriały z grzybni i białek



# SZANSE WYNIKAJĄCE Z OBECNIE PROWADZONYCH BADAŃ



- Mięso acelularne tworzone z organicznych cząsteczek, które nie zawierają żywego materiału
- Syntetyczny nabiał z syntetycznego mleka krowiego, wyhodowanego poprzez sztuczne odtworzenie białek w kazeinie i serwatce
- Produkty wykorzystujące trwałe biofilmy i powłoki w budownictwie, produkcji kosmetyków, elektronice
- Inteligentne biopolimery dla przemysłu spożywczego
- Odmiany roślin, które też magazynują węgiel w celu poprawy zdrowia gleby
- Wzrost plonów, wzmocnienie naturalnych mechanizmów obronnych roślin, zwiększenie ich wartości odżywczej, przyspieszenie dojrzewania oraz wydłużenie ich świeżości dzięki ulepszeniu fotosyntezy oraz CRISPR
- Nowe rasy zwierząt odpornych na choroby i przystosowanych do zmian klimatycznych
- Tworzenie nowych materiałów i produktów z pomocą inżynierii mikrobów, komórek, enzymów jako usługi
- Nowe możliwości wychwytywania dwutlenku węgla, recyklingu tworzyw sztucznych i poprawy bioróżnorodności
- Usprawnienie recyklingu tworzyw sztucznych na bazie ich rozkładu na propan lub dzięki wykorzystaniu mutacji naturalnych enzymów
- eDNA jako system wczesnego ostrzegania przed potencjalnymi ogniskami chorób czy do rekonstrukcji starożytnych ekosystemów
- Sekwencjonowanie starożytnych genomów i nowe odkrycia dotyczące ewolucji człowieka, długowieczności i odporności dzięki wglądowi w ludzki genom



# TRENDY



Obserwowane obecnie zmiany,  
które mogą istotnie wpłynąć na przyszłość.

↗ (+)   ↘ (-)

- ↗ Spadek kosztów i wzrost tempa badań bioinżynieryjnych
- ↗ Rozwój ekosystemów wspierających badania i wykorzystanie osiągnięć biologii syntetycznej w czołowych gospodarkach świata
- ↗ Wzrost liczby standardów i regulacji dążących do zrównoważonego rozwoju tej dziedziny
- ↘ Globalny wyścig w dążeniu do dominacji na polu biologii syntetycznej i wynikający z niego wzrost zagrożeń dla środowiska, zdrowia i życia ludzkiego
- ↗ Wzrost wykorzystania osiągnięć biologii syntetycznej w rolnictwie, medycynie i przemyśle, w szczególności w sektorze agri-food, farmacji i przemyśle chemicznym
- ↘ Przyspieszenie rozwoju nowoczesnej broni biologicznej
- ↗ Wzrost zapotrzebowania na biotechnologów, biologów molekularnych, bioinżynierów, etc., a co za tym idzie wzrost popularności studiów na tych kierunkach
- ↗ Wzrost wykorzystania sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego w badaniach w dziedzinie biologii syntetycznej



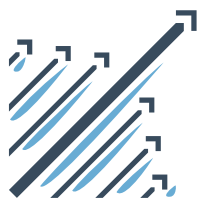
# ANTY TRENDY



Czynniki zmian, które mogą zachwiać  
obecnie obserwowanymi trendami.

↗ (+)   ↘ (-)

- ↘ Wzrost liczby wypadków biologicznych, niewłaściwe wykorzystanie ludzkich danych genetycznych lub katastrofa ekologiczna
- ↗ Pandemie
- ↘ Wykorzystanie broni biologicznej
- ↘ Restrykcyjne regulacje lub zakaz eksperymentów biologicznych
- ↗ Ocieplenie klimatu i rozprzestrzenianie się nowych zagrożeń epidemiologicznych
- ↘ Zaostrzenie kursu przeciwników biologii syntetycznej ze względu na wymiar etyczny i bezpieczeństwo
- ↘ Wolny postęp w badaniach, ze względu na globalne spowolnienie gospodarcze i niewystarczający dostęp do finansowania czy niepokoje społeczne i konflikty zbrojne
- ↘ Brak odpowiednich ekosystemów w demokratycznych państwach
- ↘ Niedobór specjalistów
- ↘ Silny opór ze strony branż, które najbardziej może dotknąć rozwój biologii syntetycznej
- ↘ Osłabienie międzynarodowej współpracy w zakresie badań
- ↗ Postęp technologiczny (np. w zakresie obliczeń kwantowych) i zwiększenie tempa badań



## PODSUMOWANIE

Już od dłuższego czasu nic nie wzbudza większego zainteresowania naukowców, filozofów, rządów i inwestorów niż biologia syntetyczna. Istnieje moc literatury naukowej oraz wiele spekulacji na temat tego, w jaki sposób ta dziedzina może przekształcić całe nasze dotychczasowe życie na Ziemi i nawet przywrócić to już wymarłe.

Biorąc jednak pod uwagę wszystkie potencjalne korzyści i zagrożenia wynikające z postępów w badaniach biologii syntetycznej, w pierwszej kolejności naukowcy muszą krytycznie ocenić, czy dostępna jest wystarczająca ilość informacji umożliwiających projektowanie procesów biologicznych i zamienienie biologii w naukę predykcyjną. Warto pamiętać, że dotychczasowe, nawet te najbardziej znane osiągnięcia w tej dziedzinie powstały raczej przy użyciu tradycyjnych metod, za pomocą prób i błędów, a nie za pomocą inżynierii opartej na elektronice.

Nie zapominajmy też, że komórki posiadają wrodzone zdolności do mutacji i ewolucji. Czy kiedykolwiek będziemy w stanie przewidzieć potencjalne skutki wprowadzania do natury zmienionych genetycznie cząstek i organizmów? Przy obecnym poziomie naszej wiedzy na temat przyrody, raczej nie prędko. Czy zatem zaryzykujemy nasze zdrowie i egzystencję dla potencjalnych korzyści?

Należy przy tym mieć na uwadze, że potencjalne przewagi, jakie ta dziedzina może zapewnić czołowym potęgom tego świata, pomijając nawet już fakt, że trudno powstrzymać jakikolwiek postęp, nie pomogą zaniechaniu badań i rozwojowi biologii syntetycznej, nawet jeśli demokratyczne społeczeństwa wyrażą niegdyś taką chęć.

Tym bardziej, jeśli zdecydujemy, że potencjalne korzyści, jakie nam obiecują badania nad tą dziedziną, mogą okazać się większe niż wynikające z niej zagrożenia dla naszej egzystencji, wówczas należy jak najszybciej stworzyć stosowne narzędzia, regulacje, odpowiednio przygotowane zasoby kadrowe i zapewnić odpowiednią akceptację społeczną przy znajomości wszystkich tych ryzyk. Inaczej nadzieje związane z pozytywnym wpływem bioekonomii na nasz świat mogą okazać się dość płonne i krótkotrwałe. A pozostawienie tej dziedziny w rękach kierujących się zyskowością komercyjnych bytów czy głównych, niedemokratycznych potęgach militarnych tego świata wydaje się być dość karkołomne.

I pamiętajmy, rozwój biologii syntetycznej już teraz rozszerza grono agentów wymagających uwagi. Zwiększa to potrzebę opracowania systemów detekcji, identyfikacji i monitoringu oraz aktywnego budowania środków zaradczych przeciwko zagrożeniom chemicznym i biologicznym.

## O NAS

SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI,  
JEŚLI INTERESUJE CIĘ  
PRZYSZŁOŚĆ!

### **4CF The Futures Literacy Company**

4CF Sp. z o.o.  
Pl. Trzech Krzyży 10/14  
00-535 Warszawa, Polska

**Email:** [info@4cf.pl](mailto:info@4cf.pl)  
**Tel.:** +48 22 24 72 772  
**www:** [4cf.eu](http://4cf.eu)

4CF jest polską firmą doradczą zajmującą się foresightem strategicznym i budową długoterminowych strategii. Od prawie dwóch dekad 4CF pomaga swoim klientom w przygotowaniu się na niepewne jutro. Firma zrealizowała setki projektów dla firm prywatnych, instytucji publicznych i międzynarodowych, w tym UNESCO, UNDP i WHO.

Wykorzystując foresight, 4CF wspiera klientów w odkrywaniu przyszłych możliwości, aby już dziś mogli podejmować ważne strategiczne decyzje i wdrażać rozwiązania zapewniające lepszą przyszłość ich interesariuszy. Dbamy o to, aby nasi klienci byli zawsze o krok przed konkurencją. Firma jest jedynym polskim członkiem Association of Professional Futurists, Foresight Educational and Research Network oraz założycielem polskiego węzła The Millennium Project.

4CF jest w czołówce światowych innowatorów i aktywnie przyczynia się do rozwoju najnowocześniejszych narzędzi foresightowych. Eksperti firmy w dziedzinie foresightu posiadają rozległą interdyscyplinarną wiedzę i doświadczenie. Stale doskonalą metodologię 4CF i aktywnie współpracują z wiodącymi międzynarodowymi ośrodkami foresightowymi.





**NORBERT KOŁOS**  
Managing Partner  
norbert@4cf.eu

**ŁUKASZ MACANDER**  
Partner  
lukasz@4cf.eu



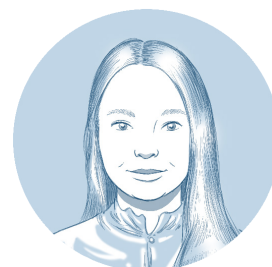
**KACPER NOSARZEWSKI**  
Partner  
kacper@4cf.eu

**ANNA SACIO-SZYMAŃSKA**  
Principal  
anna@4cf.eu



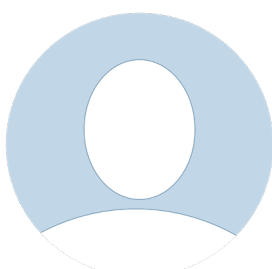
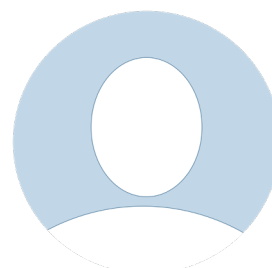
**KAROL WASILEWSKI**  
Foresight Advisor  
karol@4cf.eu

**WERONIKA RAFAŁ**  
Foresight Specialist  
weronika@4cf.eu



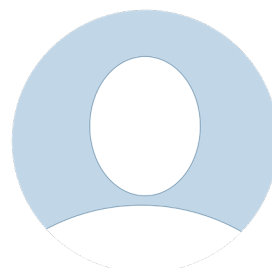
**MICHAŁ NADZIAK**  
Analyst  
michal.nadziak@4cf.eu

**BARTOSZ FRĄCKOWIAK**  
Consultant  
bartosz.frackowiak@4cf.eu



**ILONA POSLUZHNA**  
Junior Analyst  
darek@4cf.eu

**KATARZYNA FIGIEL**  
Foresight Specialist  
katarzyna.figiel@4cf.eu



**DARIUSZ KOZDRA**  
Communications  
darek@4cf.eu