

TOMASZ TWARDOWSKI*, ALFREDO AGUILAR**

Czy biotechnologia zmierza do biogospodarki cyrkularnej?

1. Wprowadzenie

15 listopada 2022 r. media podały informację, że liczba ludzi na Ziemi przekroczyła 8 mld. Oznacza to, że należy wytworzyć stosownie zwiększoną ilość żywności (w tym paszy dla zwierząt), leków, odzieży, jak również energii. Jednocześnie wiadomo, że areal ziemi uprawnej nie ulegnie zmianie, a zapotrzebowanie na wodę (do konsumpcji i produkcji, np. rolnej) istotnie wzrośnie. To, jak zapewnić godne życie tak wielu ludziom na świecie, jest istotnym wyzwaniem dla nas wszystkich, a zwłaszcza dla naukowców opracowujących innowacyjne technologie. Rozwiązaniem nie wydają się popularne koncepcje zmniejszenia populacji ludności (zwykle nie poddające analizie sposobu ich realizacji), czy też obniżenia konsumpcji, oraz powszechnego skłonienia ludzi do zmiany nawyków żywieniowych, np. przez promowanie wegetarianizmu, a nawet weganizmu.

W ostatnich dekadach postęp nauki i wynikające z niego możliwości transformacji gospodarki sprawiły, iż w społeczeństwie pojawiła się spora doza optymizmu dotycząca rozwiązania tego problemu. Najlepszym przykładem nowych możliwości są osiągnięcia w dziedzinie sekwencjonowania genomu człowieka. W 2001 r. przeprowadzono sekwencjonowanie ludzkiego genomu, co umożliwiło wprowadzenie nowych metod diagnozowania i leczenia wielu chorób uwarunkowanych genetycznie (Lander et al. 2001; Venter et al. 2001). Jednocześnie w latach 2019–2022 ogromne osiągnięcia biologii molekularnej w walce z pandemią *Corona virusa* wspaniale zilustrowały wpływ rozwoju nauk podstawowych na praktyczny postęp medycyny. Konsekwencją poznania struktur genomów wielu organizmów było opracowanie nowych testów medycznych, leków, szczepionek i wielu różnych zastosowań w rolnictwie, weterynarii, technologii żywności, ochronie środowiska itp.

Drugą połowę XX wieku charakteryzował ogólny optymizm dotyczący rozwiązywania problemów dzięki postępowi nauk biologicznych. Sekwencjonowanie genomów podsta-

* Prof. dr hab. Tomasz Twardowski (twardows@ibch.poznan.pl), Institute of Bioorganic Chemistry, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poland; Task Group Bioeconomy, European Federation of Biotechnology, Barcelona, Spain

** Dr. Alfredo Aguilar, ESAB, European Society for Applied Biocatalysis, Frankfurt Am Main, Germany. Head of Unit Biotechnologies, ret. European Commission, Brussels, Belgium

wowych roślin doprowadziło do rozwoju znacznie bardziej racjonalnego i zrównoważonego rolnictwa. Przełomowe dokonania w nauce, medycynie i przemyśle biologicznym szybko uzyskały aprobatę sporej części społeczeństwa Unii Europejskiej. Zawiązał się owocny dialog całego społeczeństwa z naukowcami, klinicystami, przemysłowcami oraz, co nie mniej ważne, z politykami, tworząc społeczny i polityczny klimat do praktycznego wykorzystania osiągnięć doskonałej europejskiej nauki w życiu codziennym.

2. Historia i uwarunkowania rozwoju

W 2005 r. opracowano i przedstawiono założenia programowe KBBE (*Knowledge Based Bio-Economy*, czyli biogospodarki opartej na wiedzy), w konsekwencji czego obserwujemy ewolucję biogospodarki: od lustrzanego odbicia klasycznej gospodarki do integracyjnej gospodarki, opartej przede wszystkim na nowoczesnej biotechnologii. Współczesna biogospodarka jest uznawana za system efektywny i zgodny z zasadami ekologicznej zrównoważonej gospodarki cyrkularnej. Na funkcjonowanie i rozwój tego systemu zasadniczy wpływ ma szereg następujących czynników globalnych [Patermann C., Aguilar A.A., 2021].

2.1. Wzrost populacji

Populacja Ziemi rośnie gwałtownie od połowy ubiegłego stulecia. ONZ szacuje, że w roku 2050 na Ziemi będzie żyło około 10 mld ludzi. Oznacza to konieczność bardziej efektywnego wykorzystania ziemi uprawnej, wody oraz wszystkich łańcuchów produkcyjnych (nawozy, rolnictwo, żywność, pasze, energia etc). Rolnictwo i produkcja żywności są odpowiedzialne za około jedną trzecią całkowitej emisji dwutlenku węgla [United Nations. Population. The world in 2100].

2.2. Bezpieczeństwo żywnościowe

FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) zdefiniowała bezpieczeństwo żywnościowe jako sytuację, w której społeczeństwo ma zawsze dostęp do wystarczającej ilości bezpiecznej i zdrowej żywności. Według FAO w 2016 r. 108 mln ludzi w 48 krajach było w stanie kryzysu (ogromne braki w konsumpcji, a w konsekwencji niedożywienie). Liczba ta wzrosła do 135 mln osób w ponad 50 krajach w 2019 r. Badania wskazują, iż aby uchronić społeczeństwo przed głodem konieczne jest zwiększenie produkcji żywności o 70% przed 2050 r. [McCarthy et al. 2018; Knoema, 2019].

2.3. Globalizacja

Globalizacja zmieniała w ostatnich dekadach życie wszystkich ludzi. Uważa się, że szczególnie znaczenie odegrał tu postęp w zakresie transportu i technologii komunikacyjnych. Wielkie korporacje z powodzeniem wykorzystywały zachodzące zmiany sprzedając produkty, technologie i informacje ponad granicami państw. Globalizacja generuje ekonomiczną współzależność narodów na całym świecie; umożliwia rozwój wolnego handlu,

z czym wiążą się także liczne negatywne konsekwencje. Jednakże konieczne jest docenienie wielu pozytywnych aspektów globalizacji, takich jak wymiana informacji naukowej. Doskonałą ilustracją tego zjawiska jest otwartość naukowców i wydawców, którzy powszechnie udostępniali wszystkie publikacje i dane eksperymentalne dotyczące testów diagnostycznych i szczepionek podczas pandemii Covid-19.

2.4. Zmiana klimatu

Rozwój innowacyjnych technologii wdrażanych do gospodarki wpływa na zmianę klimatu, a przez to na charakter zasobów biologicznych. Praktyczne wdrożenie biogospodarki w rolnictwie i przemyśle przyczynia się do ograniczenia emisji dwutlenku węgla i złagodzenia niektórych negatywnych skutków zmiany klimatu. Jednakże ocena efektu tych czynników, zwłaszcza w sposób ilościowy, nie jest możliwa.

2.5. Aspekty społeczne

Wśród podmiotów zajmujących się biogospodarką panuje przekonanie o konieczności integracyjnego charakteru przemian w powiązaniu z szerokim poparciem społecznym i politycznym. Rosnąca świadomość społeczna w odniesieniu do zmian klimatycznych, szkód w środowisku itp. jest wyraźnym sygnałem, że biogospodarka musi być nie tylko odnawialna i zrównoważona, ale także zdolna do generowania dobrobytu i dodatkowych miejsc pracy. Musi również promować integrację społeczną przynoszącą korzyści całemu społeczeństwu.

2.6. Legislacja

Wdrożenie biogospodarki zależy w znacznym stopniu od regulacji prawnych, zarówno regionalnych, krajowych, jak i globalnych. W tym zakresie obserwujemy ogromne zróżnicowanie między poszczególnymi krajami. Podkreślić należy, że legislacja jest bezpośrednio uwarunkowana akceptacją społeczną dokonywaną przez wybory polityczne w poszczególnych krajach. Obecnie brak jest norm prawnych o zasięgu ogólnosięciowym.

3. Kierunki rozwoju

Perspektywny rozwój biogospodarki opartej na biotechnologii uwarunkowany jest wieloma czynnikami. Z pewnością należy wyróżnić aspekty społeczne, prawne i techniczne oraz naukowe.

Z przeprowadzonych badań wynika, że społeczeństwo krajów Unii Europejskiej jest w dużym stopniu negatywnie nastawione do żywności genetycznie zmodyfikowanej (GM) (choć z istotnymi różnicami regionalnymi). W efekcie w krajach UE obowiązują bardzo rygorystyczne przepisy dotyczące genetycznie zmodyfikowanych organizmów oraz żywności/paszy GM. Społeczeństwa w Ameryce Północnej i Południowej w więk-

szym stopniu wspierają technologie modyfikacji genetycznej genomów roślin, zwierząt oraz mikroorganizmów. We wszystkich regionach świata opinia publiczna zgodnie, uważa, że znakowanie produktów GM jest konieczne i ważne jest pełne informowanie konsumentów o rodzaju technologii stosowanej przy produkcji danego rodzaju żywności [Woźniak-Gientka E., 2022].

Wynikający z badań rozkład opinii polskiego społeczeństwa jest podobny. Ponad połowa Polaków zauważyła, że na rynku dostępne są produkty otrzymane technikami inżynierii genetycznej. Prowadzenie badań z zakresu biotechnologii i inżynierii genetycznej popierane było przez dwie trzecie Polaków. Co trzeci badany Polak uważał, że stosowanie nowoczesnej biotechnologii w produkcji żywności jest przydatne (33%), powinno być wspierane (31%) i może być akceptowane (32%). Ponadto 60% respondentów stwierdziło, że stosowanie nowych metod biotechnologii w produkcji i przetwarzaniu żywności może wiązać się z zagrożeniem dla zdrowia ludzi lub środowiska. Natomiast blisko 70% respondentów stwierdziło, że wykorzystanie mikroorganizmów do oczyszczania ścieków i innych odpadów powinno być realizowane i wspierane [Woźniak-Gientka E., 2022 (2)]***.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO, *World Health Organisation*) zdefiniowała żywność GM jako produkty pochodzące z organizmów, w których dokonano bezpośredniej modyfikacji ich materiału genetycznego (DNA) przez wprowadzenie genu pochodzącego z innego organizmu lub celową modyfikację określonej funkcji genu. Techniki inżynierii

*** Ogromny rozwój i postęp innowacyjnych technologii obserwujemy w zakresie medycyny i farmacji, co w pełni związane jest ze znaczeniem tej dziedziny gospodarki dla nas wszystkich. Pełne zrozumienie procesu chorobowego na poziomie biologii molekularnej prowadzi zarówno do innowacyjnych procedur terapeutycznych, jak i diagnostycznych. Poszerzenie wiedzy w tej dziedzinie przyczyniło się do postępów medycyny w różnych dziedzinach o znaczeniu klinicznym, a w zasadniczym stopniu było możliwe dzięki powstaniu w 2004 r. *International Human Genome Sequencing Consortium* [International Human, 2022]. W konsekwencji ustalenia sekwencji genomów zarówno człowieka, jak i zwierząt, roślin oraz mikroorganizmów, oferowane są relatywnie proste sposoby przeprowadzania testów genetycznych, które mogą wykazać podatność na różne choroby, zwłaszcza uwarunkowane genetycznie, jak np. raka piersi, mukowiscydozę i inne. Oczekuje się również, że informacje o ludzkim genomie pomogą w poszukiwaniu przyczyn np. nowotworów czy też choroby Alzheimera, a także mogą doprowadzić do znacznego postępu w ich leczeniu. Wraz z rozwojem technologii sekwencjonowania nastąpił gwałtowny rozwój bioinformatyki, dający nam do dyspozycji różnorodne aplikacje i narzędzia. Warto jednak zauważyć, że genom każdego pojedynczego organizmu jest unikatowy, a zatem sekwencjonowanie ludzkich genomów obejmuje wiele wariantów. W ten sposób projekt *The Human Genome Project* faktycznie trwający od 1984 do 2022 roku stworzył niezwykle wartościową bazę danych genetycznych zwaną *The Legacy of the Human Genome Project*; jest to główne „narzędzie operacyjne” w pracach biotechnologicznych [International Human Genome Sequencing Consortium, 2004; Waterston et al., 2002].

genetycznej służące do produkcji żywności GM są odmienne w porównaniu z hodowlą konwencjonalną. Inżynier genetyczny planuje dokonanie określonej, zdefiniowanej modyfikacji. Różnice występują nie tylko w koncepcji i metodzie wprowadzania modyfikacji, ale także w uzyskiwaniu kolejnych generacji potomstwa.

Pozyskiwanie żywności z wykorzystaniem innowacyjnych technologii to ogromna szansa rozwoju i rozwiązania wielu problemów. Podstawą jest hodowla roślin. Konwencjonalna hodowla roślin opiera się na strategii zapylenia krzyżowego i samozapylenia, co oznacza, że rośliny potomne zawierają losową kombinację materiału genetycznego „rodziców”. Najlepsze potomstwo z pożądanymi cechami jest wybierane po systemowej selekcji, która niestety jest czasochłonna. Natomiast rośliny GM nie zostały zaprojektowane z ideą stworzenia nowej odmiany, a raczej w celu pozyskania genetycznie zmodyfikowanej cechy. Innowacyjna technologia (inżynieria genetyczna) stanowi uzupełnienie konwencjonalnej hodowli roślin przez wprowadzenie interesującej nas cechy technikami inżynierii genetycznej do już zaadaptowanych odmian z konwencjonalnej hodowli roślin. Ta technika modyfikacji genetycznej sprawdza się również w przypadku zwierząt GM pozyskiwanych dla szeroko rozumianej konsumpcji.

W przeciwieństwie do USA, które akceptują stosowanie technologii GM w swojej żywności, kraje europejskie są bardzo rygorystyczne w zakresie zatwierdzania i regulacji żywności GM (z wyjątkiem Hiszpanii i Portugalii). Rygorystyczna polityka dotycząca upraw GM oraz importu żywności i pasz GM powoduje długie opóźnienia w autoryzacji produkcji rolnej GM w krajach UE. Komisja Europejska narzuca także przepisy dotyczące etykietowania żywności i pasz GM od 1992 roku. Media i ekologiczne organizacje pozarządowe często wyrażają swój sprzeciw wobec żywności GM. Stąd też wzrost negatywnego postrzegania żywności GM ze strony obywateli UE. Należy podkreślić, że aczkolwiek w Polsce obowiązuje zakaz sprowadzania pasz genetycznie zmodyfikowanych, to nadal obowiązuje zawieszenie tego zakazu (do 31.12.2023 r.) i Polska importuje rocznie ponad 2 mln ton soi genetycznie zmodyfikowanej na cele paszowe (nowelizacja ustawy „prawo o GMO” z 26.11.2018 r.). Aktualnie (początek 2023 r.) brak jest informacji „co dalej”, a kwestia ta nie jest nawet dyskutowana.

Z przeprowadzonych badań wynika, że konsumenci mają tendencję do ufania informacjom i regulacjom wprowadzanym przez władze administracyjne [Woźniak-Gientka E., 2022]. Surowa polityka dotycząca stosowania technologii GM w kilku krajach prowadzi do przekonania, że żywność GM jest niebezpieczna i właśnie dlatego budzi niepokój, można to zaobserwować w krajach europejskich.

Norman Borlaug, laureat pokojowej Nagrody Nobla w 1970 r., jest określany jako „ojciec zielonej rewolucji”. W efekcie wprowadzenia półkarłowej pszenicy (otrzymanej z zastosowaniem klasycznych technik hodowlanych) uratowano od śmierci głodowej miliony ludzi. Ta „zielona rewolucja” miała miejsce w latach 60. i 70. ubiegłego wieku.

Druga „zielona rewolucja”, a raczej „ewolucja”, oparta na nowych technikach hodowlanych (NBT, *new breeding techniques* popieranych przez dra Normana Borlauga) oraz biologii molekularnej i inżynierii genetycznej, byłaby bardzo potrzebna, aby rozwinąć praktyki technologiczne i rolnicze, które wprowadziłyby w życie tę „nową zieloną (r)ewolucję”. Ta nowa (r)ewolucja winna być ukierunkowana nie tylko na zwiększenie wydajności, odporności na szkodniki, zasolenie i zmiany klimatyczne (przede wszystkim na brak wody), ale także musi charakteryzować się bardziej holistycznym podejściem do kompleksu zagadnień, aby ułatwić rolnictwu, przemysłowi, gospodarstwu rolnym i konsumentom bardziej racjonalne traktowanie środowiska, z myślą o przyszłych pokoleniach na całej planecie.

Skuteczność kampanii dotyczących GMO prowadzonych przez władze lub media, czy też organizacje pozarządowe, zależy od technik komunikacji, a nade wszystko od edukacji społeczeństwa; szczególne znaczenie ma kształcenie ekologiczne dzieci i młodzieży. Dobór słów i stosowanej terminologii może zmienić nastawienie konsumentów do produktów żywnościowych GM. Warto zaznaczyć, że komunikacja naukowa, zwłaszcza kierowana do młodych ludzi, ma szczególne znaczenie i powinna precyzyjnie informować o bilansie korzyści i strat wynikających z decyzji o akceptacji żywności GM [Harfouche i wsp. 2021].

Genetycznie zmodyfikowana żywność jest jednym ze sposobów, który może pomóc w rozwiązaniu obecnych i przyszłych problemów na skalę globalną. Z pewnością nie jest to jedyna opcja, aczkolwiek obecnie trudno jest zaproponować alternatywne rozwiązania. Zapewnia ona szansę stworzenia bezpieczeństwa żywnościowego na całym świecie. Zastosowanie żywności genetycznie zmodyfikowanej może poprawić produkcję żywności i zapewnić jej dostępność. Mimo wszystkich korzyści, jakie oferuje żywność GM i jej zastosowanie, nadal istnieją obawy ze strony społeczeństwa powodujące odrzucenie produktów GM. Czynniki wpływające na akceptację społeczną żywności GM to wiedza, zaufanie społeczeństwa do władz i przepisów dotyczących żywności GM, ekspozycja medialna i komunikacja, informacje o pozytywnych efektach inżynierii genetycznej czy też brak naukowego uzasadnienia surowych norm prawnych. Wiedza jest ważnym czynnikiem w podejmowaniu decyzji przez konsumentów i przetwarzaniu informacji oraz jest wysoce związana z postrzeganiem przez społeczeństwo korzyści i zagrożeń związanych z żywnością GM. Społeczeństwo z krajów o liberalnych przepisach wykazuje większą akceptację dla żywności GM w porównaniu ze społeczeństwem z krajów o restrykcyjnych przepisach. *Mass media* często używają nierealnych i przerażających obrazów, przedstawiając produkty GM i skupiają się na akcentowaniu ryzyka.

Jednakże z całym naciskiem stwierdzić trzeba, że kluczem do rozwiązania problemu braku żywności jest nie tylko nauka i technika. Jednym z pierwszych kroków powinno być drastyczne zmniejszenie ilości odpadów żywnościowych. Istotne zmniejsze-

nie marnotrawstwa produktów żywnościowych miałyby ogromny pozytywny wpływ na dostępność żywności.

4. Konkluzje i perspektywy

Obecnie biogospodarka jest pojęciem dobrze ugruntowanym w naszych społeczeństwach, zarówno w środowisku akademickim, jak i w przemyśle, w agencjach rządowych, organizacjach międzynarodowych, wśród rolników i ekologów. W ciągu ostatnich dziesięciu lat ponad sześćdziesiąt krajów ze wszystkich kontynentów, zarówno z krajów rozwiniętych, jak i rozwijających się, a także organizacje międzynarodowe (np. UE), opracowały strategie dotyczące biogospodarki. Biogospodarka stała się katalizatorem przejścia od ekonomicznego paradygmatu linearnego systemu produkcji do cyrkularnej (kołowej), zrównoważonej biogospodarki.

Biogospodarka Oparta na Wiedzy (KBBE) w Unii Europejskiej powstała w efekcie stworzenia przez Komisję Europejską programów badawczych w zakresie biotechnologii i nauk o życiu jeszcze na początku lat 80. ubiegłego wieku. Aguilar et al. (2013) nakreślili genezę i rozwój różnych programów biotechnologicznych, a Patermann i Aguilar (2018) opisali elementy, które sprzyjały powstaniu biogospodarki w UE. W tym ostatnim artykule autorzy opisują *Zeitgeist* (niem. duch czasu), który pozwolił wielu pozornie niepowiązanym wydarzeniom i okolicznościom rozwijać się w różnych konformacjach, prowadząc ostatecznie do ewolucji od biotechnologii w kierunku biogospodarki cyrkularnej.

Oczywiste jest, że biogospodarka jest bezpośrednio związana z naukami podstawowymi i stosowanymi. Bez silnej bazy badań podstawowych nie będzie w przyszłości innowacyjnych rozwiązań i zastosowań przemysłowych. Doskonała baza naukowa jest najsilniejszym filarem gwarantującym solidną i konkurencyjną biogospodarkę.

W trakcie pandemii Covid-19 całe społeczeństwo mogło się przekonać, że szeroka baza doskonałości naukowej jest warunkiem wstępnym sukcesu biogospodarki, ale nie jest to czynnik jedyny i wystarczający. Opracowanie testów analitycznych i szczepionek w ciągu jednego roku było możliwe tylko i wyłącznie dzięki kumulacji wiedzy i doświadczenia minionych 30 lat badań w zakresie biologii molekularnej przez tysiące badaczy w wielu krajach. Potrzebnych jest jeszcze kilka innych warunków wstępnych: stabilne ramy legislacyjne połączone z szeroką społeczną akceptacją innowacyjnych biotechnik, zaplecze umożliwiające wdrożenia przemysłowe, jak również w zakresie zarządzania i administracji. Jednak ostatnie wydarzenia na świecie, takie jak kryzys gospodarczy i energetyczny, polaryzacja społeczeństw, niestabilność geopolityczna i konflikty zbrojne, zmuszają współczesne społeczeństwa do przygotowania się i kontynuowania, opracowywania planów działań na przyszłość w dynamiczny sposób dostosowany do współczesnego postępu nauki i techniki.

Cieszy fakt, że w stosunkowo krótkim czasie na całym świecie podjęto wiele inicjatyw mających na celu promowanie biogospodarki. Podobnie różne krajowe i międzynarodowe organizacje (jak EFB – *European Federation of Biotechnology*) regularnie zbierają się, aby ocenić i omówić konkretne inicjatywy, najlepsze praktyki w celu osiągnięcia konsensusu w podstawowych kwestiach dotyczących biogospodarki. Można również zauważyć, że w międzynarodowych czasopismach (np. *EFB Bioeconomy Journal*) opublikowano wiele artykułów dotyczących biogospodarki [A. Aguilar, T. Twardowski, 2022]. Dyscyplina ta weszła również do programów nauczania w szkolnictwie wyższym.

Ponadto, jak już wspomniano, postrzeganie przez społeczeństwo i akceptacja nowych technologii są również krytycznymi czynnikami dla skutecznego wdrożenia biogospodarki. Polityka odgrywa ważną rolę, ponieważ nakreśla konkretne wizje, cele polityczne i gospodarcze oraz dynamikę rynku, jak również regulacje prawne. Innowacyjne formy gospodarki, jak biogospodarka cyrkularna, są bardzo wrażliwe na uregulowania prawne. W wielu krajach, w tym w UE, USA, Kanadzie i państwach azjatyckich, istnieją normy legislacyjne bezpośrednio powiązane z biogospodarką. Brakuje jednak rozwiązań prawnych mających na celu harmonizację norm prawnych w sposób globalny. Wzrost populacji ludzkiej, zmiany klimatyczne i bezpieczeństwo żywnościowe sprawiają, że bardzo potrzebne jest spojrzenie na zarządzanie naturalnymi zasobami biologicznymi w sposób ogólnosiwiatowy. Konieczne jest nowe podejście, a biogospodarka może być ważnym podmiotem, który może wnieść swój wkład przez zapobieganie lub łagodzenie kryzysu. Odpowiadając, a raczej komentując kwestię zawartą w tytule: „tak”, biotechnologia zmierza w kierunku biogospodarki cyrkularnej.

Literatura

- Lander E.S. et al. (2001). *International Human Genome Sequencing Consortium Initial Sequencing and Analysis of the Human Genome*. *Nature*, 409, 860–921.
- Venter J.C., Adams M.D., Myers E.W. et al. (2001) *The sequence of the human genome*. *Science*, 291, 1304–1351.
- Patermann C., Aguilar A.A (2021) *Bioeconomy for the next decade*. *EFB Bioeconomy Journal*; 1: 100005.
- United Nations. *Population. The world in 2100* [<https://population.un.org/wpp>]
- McCarthy U., Ismail U., R. Badia-Melis, S. Mercier, C. O'Donnell, A. Ktenioudaki (2018). *Global Food Security – Issues, Challenges and Technological Solutions*. *Trends in Food Science and Technology* 77 (August 2017): 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.002>
- Knoema. 2019. *World Population Prospects 2019*. *Department of Economic and Social Affairs*. *World Population Prospects 2019*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12283219>
- Woźniak-Gientka E., Tyczewska A., Perisic M., Beniermann A., Eriksson D., Vangheluwe N., Gheysen G., Cetiner S., Abiri N., Twardowski T., *Public perception of plant gene technologies worldwide in the light of food security*, *GM Crops & Food*, 2022, 13(1), 218–241. DOI: [10.1080/21645698.2022.2111946](https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2111946)

- Woźniak-Gientka E., Tyczewska A., Twardowski T. (2022) *Public opinion on biotechnology and genetic engineering in the European Union: Polish consumer study*, *Biotechnologia*, 103(2), 185–201. <http://doi.org/10.5114/bta.2022.116212>
- International Human, 2022; *Finishing the euchromatic sequence of the human genome*. *Nature*, 431(7011), 931–945. <https://doi.org/10.1038/nature03001>; *The Human Genome Project*. (n.d.). Genome.gov. Retrieved December 13, 2022, from <https://www.genome.gov/human-genome-project>.
- Waterston R.H., Lander E.S., Sulston J.E. (2002). *On the sequencing of the human genome*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(6), 3712–3716 <https://doi.org/10.1073/pnas.042692499>; *The legacy of the Human Genome Project/Science*. (n.d.). Retrieved December 13, 2022, from <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abl5403>
- Harfouche, Antoine L., V. Petousi, R. Meilan, J. Sweet, T. Twardowski, A. Altman. 2021. *Promoting Ethically Responsible Use of Agricultural Biotechnology*. *Trends in Plant Science*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.12.015>
- Aguilar A., Magnien E., Thomas D. *Thirty years of European biotechnology programmes: from biomolecular engineering to the bioeconomy*. *N. Biotechnol.* 2013; 30: 410–425. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2012.11.014>
- Aguilar A., Wohlgemuth R., Twardowski T. *Perspectives on bioeconomy*. *N. Biotechnol.* 2018; 40 (Part A): 181–184. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.06.012>
- Aguilar A., Patermann C. *Biodiplomacy, the new frontier for bioeconomy*. *N. Biotechnol.* 2020; 59: 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.07.001>
- Aguilar A., Twardowski T., *Bioeconomy in a changing world*. *EFB Bioeconomy Journal*, 2022, 2: 100041. <https://doi.org/10.1016/j.bioeco.2022.100041>

Czy biotechnologia zmierza do biogospodarki cyrkularnej?

Często mówi się, że biotechnologia jest „stara jak świat”. Jednakże dopiero obecnie nowoczesne biotechnologie oparte na inżynierii genetycznej dostarczają innowacyjnych rozwiązań, stanowiąc podstawę rozwoju i transformacji współczesnej gospodarki, stwarzając tym samym realne możliwości zagwarantowania dostaw żywności, leków i energii dla stale rosnącej populacji świata (w listopadzie 2022 roku liczna mieszkańców świata przekroczyła 8 mld). Rozwój innowacyjnych biotechnologii jest uwarunkowany akceptacją społeczną, zależy od legislacji oraz głębokiej transformacji od gospodarki opartej na ropie naftowej do zrównoważonej gospodarki cyrkularnej. Polska jako część Unii Europejskiej należy do grupy krajów w których rozwijają się takie nowoczesne koncepcje.

Słowa kluczowe: biotechnologia, biogospodarka, Polska, Unia Europejska

Biotechnology towards circular bioeconomy

It is often said that biotechnology is “as old as the world”. However, only now modern biotechnologies based on genetic engineering provide innovative solutions underpinning the development and transformation of the modern economy, thereby creating real opportunities to guarantee the supply of food, medicines

and energy for the world's ever-growing population (in November 2022, the world's population will exceed 8 billion). The development of innovative technologies is often conditional on public acceptance and, as a consequence depends on public opinion, coherent legislation and a profound transformation from an oil-based economy to a circular and sustainable bioeconomy. Poland, as part of the European Union, belongs to the group of countries where such modern concepts are developing.

Key words: biotechnology, bioeconomy, Poland, European Union