

# Wyzwania związane z produkcją „sztucznego mięsa”

Romuald Zabielski<sup>1</sup>, Joanna Zarzyńska<sup>2</sup>

z Katedry Chorób Dużych Zwierząt z Kliniką<sup>1</sup> oraz Katedry Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Publicznego<sup>2</sup> Instytutu Medycyny Weterynaryjnej SGGW w Warszawie

## Challenges related to the production of „artificial meat”

Zabielski R.<sup>1</sup>, Zarzyńska J.<sup>2</sup> Department of Large Animal Diseases with Clinic<sup>1</sup>, Department of Food Hygiene and Public Health Protection<sup>2</sup>, Institute of Veterinary Medicine, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

The article discusses number of issues related to the production of the so-called „artificial meat”, from biological and ethical problems and challenges that biotechnology has to face when changing the scale of production from laboratory to small or large industrial scale. Issues related to environmental protection in the context of climate change, the use of electrical energy, water resources and CO<sub>2</sub> production were also discussed. The balance of profits and losses made so far does not give grounds for full admiration for the idea of artificial meat, the more so as consumers and nutrition specialists also have a lot of reservations in accepting new food. Nevertheless, visions of politicians, including European Parliament, are ahead of time and lead to the legal regulations of the artificial meat.

**Keywords:** *in vitro* meat, artificial meat, meat consumption, GHG, environment protection, climate change.

Termin „artificial meat” w naukowej literaturze anglojęzycznej ma wiele zamienników, jak chociażby: *in vitro* meat (IVM), cultured meat, lab-grown (based) meat, animal-free meat, synthetic meat, a nawet używa się pojęcia: clean meat, lub animal free meat. Można tu wyczuć pewną dozę socjotechniki – terminy te mają w podświadomości czytelnika wyrobić przekonanie, że ma oto do czynienia z jakąś nowoczesną, czystą formą pożywienia, o wiele lepszą od mięsa zjadanego przez człowieka od tysiącleci. W anglojęzycznych mediach także spotykamy negatywnie nacechowane określenia, jak np. Frankenmeat (1).

Inspiracją do przygotowania tego artykułu, który jest próbą wyważenia badanych dotychczas zagrożeń i korzyści płynących z fascynacji biotechnologią, był komentarz prof. Andrzeja Białasa pt. *New Manhattan project?* („PAUza Akademicka” nr 476, 2019). Fragmenty niniejszego artykułu opublikowano w postaci 2 komentarzy w czasopiśmie „PAUza Akademicka” w grudniu 2019 r. i w styczniu 2020 r.

## Źródło idei sztucznego mięsa – z marzeń czy z konieczności?

Poszukując inicjatorów idei wytwarzania sztucznego mięsa, van der Weele w swoim artykule (2) wskazał na Winstona Churchilla, miłośnika zwierząt, który to na początku lat 30. ubiegłego wieku pierwszy rzucił pomysł hodowli mięsa *in vitro*! Badania nad technologiami wytwarzania sztucznego mięsa zainicjowane przed kilkunastu laty zaowocowały w 2013 r. pierwszą

publiczną prezentacją produktu wraz z oceną sensoryczną – hamburgera wytworzonego w hodowli komórkowej (3). Koszt jego produkcji był niebotycznie wysoki, mimo to od tego wydarzenia badania nad sztucznym mięsem dosłownie ruszyły z kopyta. Powstało też wiele publikacji naukowych pisanych przez zwolenników, jak i przeciwników jego produkcji. Sama idea jest bardzo atrakcyjna w kontekście etycznym – dążenie do ograniczenia utrzymywania i zabijania zwierząt dla wyżywienia rosnącej liczby ludności na świecie. Pierwszym głównym powodem rozwoju badań nad produkcją sztucznego mięsa były jednak obawy o środowisko, które zrodziły się na początku nowego milenium. Były one związane głównie z wyczerpywaniem się możliwości zwiększenia produkcji zwierzęcej – niedostatkiem pól, pastwisk i zasobów słodkiej wody, niezbędnych do utrzymania rosnącej produkcji zwierzęcej (4) oraz zanieczyszczeniem środowiska, produkcją gazów cieplarnianych (GHG; głównie metanu i dwutlenku węgla, stanowiących odpowiednio ok. 37% i 10–12% całkowitej antropogenicznej emisji; 5), przez farmy, a także utratą bioróżnorodności ziemi użytkowanej rolniczo (6, 7). Obecnie, w skali globalnej, produkuje się około 400 mln ton mięsa, ale jeszcze na początku lat 60. było to „zaledwie” 100 mln ton. FAO wskazuje, że produkcja mięsa będzie wzrastać i to nieproporcjonalnie silniej w porównaniu do wzrostu ludności na Ziemi (8).

Na wspomniane problemy rolnicze i środowiskowe nałożyła się rosnąca świadomość społeczeństw dotycząca zdrowia publicznego, chorób odzwierzęcych, użycia antybiotyków w produkcji zwierzęcej, a także dobrostanu zwierząt produkcyjnych (5, 9). Mięso zawierające elementy tkanki tłuszczowej jako źródło dużej ilości kalorii jest wskazywane jako jedno z przyczyn epidemii nadwagi i otyłości w krajach zachodnich (duże spożycie żywności wysoko przetworzonej i typu fast food), jak również zwiększające ryzyko wystąpienia chorób zatorowo-zakrzepowych czy nowotworowych (4, 10, 11). Mówimy o zjawisku konfliktu – paradoksu mięsa (ang. meat paradox): z jednej strony mamy obiekty etyczne, a z drugiej lubimy jeść mięso ze względu na tradycje oraz jego walory smakowe. Ponadto rosnąca konsumpcja mięsa jest w wielu krajach, szczególnie tych biedniejszych, przejawem rosnącego dobrobytu społeczeństwa.

## Czy sztuczne mięso to też mięso?

Poza różnymi próbami ograniczenia konsumpcji mięsa, a co za tym idzie i produkcji zwierzęcej (choć niektóre badania naukowe wskazują, że konsumenci są niechętni zmniejszeniu spożycia mięsa; 12) oraz znaczącego usprawnienia jej procesów w kontekście

obciążenia środowiska i poprawy dobrostanu zwierząt, pojawiły się także próby produkcji mięsa w laboratorium. Na początek warto przypomnieć, że w mięsie, poza komórkami mięśniowymi (miocytami) spotykamy liczne komórki tłuszczowe (adipocyty – jako depozyt tłuszczu, odpowiedzialne za soczystość i smakowitość mięsa poddanego procesom przetwarzania; marmurkowatość mięsa jest wypadkową ekspresji genów i interakcji enzymatycznych pomiędzy tkanką mięśniową i tłuszczową), tkanki łącznej (fibroblasty – tkanka łączna wpływająca na teksturę) i budujące naczynia krwionośne, ponadto cały szereg innych mniej licznych komórek. Ich udział oraz wzajemne proporcje w poszczególnych elementach różnych zasadniczych i mięsie drobnym mają wpływ na smakowitość i właściwości odżywcze mięsa oraz na technologię przetwórstwa. Jednocześnie mięso przechodzi wiele chemicznych przemian poubojowych (tenderyzacja i dojrzewanie mięsa). „Mięso” – zgodnie z definicją rozporządzenia (WE) 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady – to jadalne części zwierząt wraz z krwią. Natomiast dyrektywa 2001/101/WE odnosząca się do etykietowania, prezentacji i reklamy środków spożywczych definiuje mięso jako „mięśnie szkieletowe ssaków i ptaków uznane za odpowiednie do spożycia przez ludzi, o naturalnie zwartej lub przynależnej tkance, gdzie całkowita zawartość tłuszczu i tkanki łącznej nie przekracza maksymalnych limitów dla poszczególnych gatunków zwierząt”.

Tych definicji nie spełniają próbki sztucznego mięsa, gdyż są monokulturami miocytów. Niektórzy autorzy uznają to za zaletę hodowli, ponieważ można w pełni kontrolować miogenezę. Komórki satelitarne (mSC, progenitorowe komórki mięśniowych) hodowane w optymalnych warunkach są zdolne do 20 podziałów ( $10^6$ ; 13). Podejmowane są próby współhodowli np. miocytów z fibroblastami i adipocytami, chociaż dotąd bez większych sukcesów. Próby hodowli fragmentów mięśni także dają mało zadowalające wyniki z uwagi na problemy ze stymulacją komórek do podziałów i wzrostu. Współhodowla z adipocytami jest niezbędna do uzyskania smakowitości sztucznego mięsa – odwzorowania smaku mięsa. Problemem w początkach hodowli był też kolor – uzyskane *in vitro* włókna mięśniowe są żółte, nie różowoczerwone, jak w mięsie, ponieważ hodowla w warunkach tlenowych hamuje ekspresję mioglobiny (14). Problemem było też odwzorowanie wartości odżywczych mięsa w odniesieniu do zawartości witamin, zwłaszcza B<sub>12</sub>. Naukowcy twierdzą natomiast, że zaawansowane techniki kultur komórkowych dają sztuczne mięso o porównywalnych walorach sensorycznych do mięsa zwierząt rzeźnych.

### Czy idea sztucznego mięsa oparuje problemy etyczne związane z zabijaniem zwierząt?

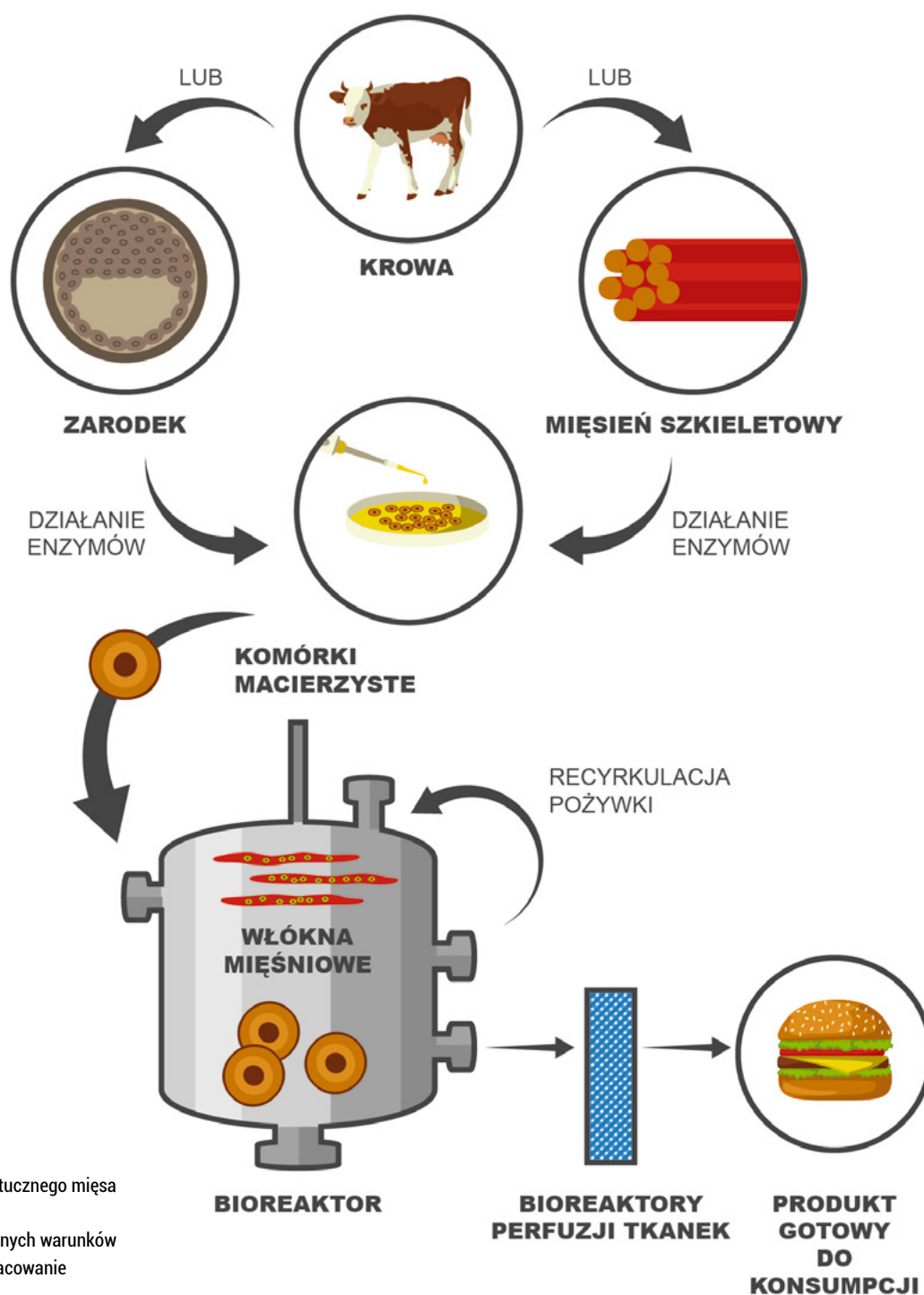
Jak dotąd najlepsze efekty uzyskano z użyciem izolowanych komórek macierzystych, które dzięki odpowiedniej stymulacji hormonalnej oraz przez oddziaływanie czynników fizycznych dzielą się i różnicują w miocyty. Komórki macierzyste uzyskuje się

od zwierząt w rzeźni lub poprzez biopsję. Liczba używanych komórek macierzystych zależy od wielkości pobranej próbki. Komórek macierzystych jest w organizmie zwierzęcym stosunkowo niewiele, a ponadto mają one zaprogramowaną, ograniczoną liczbę podziałów, więc w produkcji wielkoskalowej trzeba byłoby sukcesywnie uzyskiwać je od zwierząt dawców. Strona etyczna pobierania komórek macierzystych od zwierząt dawców nie budzi większych zastrzeżeń społecznych, być może dlatego, że wszyscy kojarzą biopsję z pobraniem odrobiny tkanki za pomocą igły do biopsji cienkoigłowej. Niestety, biorąc pod uwagę niewielką liczbę komórek macierzystych w tkankach oraz ich ograniczoną liczbę podziałów, próbka pobrana za pomocą biopsji cienkoigłowej to o wiele za mało dla masowej produkcji sztucznego mięsa. Rozwiązaniem może być albo unieśmiertelnianie komórek poprzez modyfikacje genetyczne, albo pobieranie większych ilości tkanek. W tym wypadku chyba bardziej humanitarnym i racjonalnym rozwiązaniem byłoby uśmiercanie zwierząt niż wycinanie rozległych partii tkanek i zachowanie tak okaleczonych osobników przy życiu. Kwestia uśmiercania zwierząt pozostaje nierozwiązana, ale prawdopodobnie zmniejszyłaby się liczba zabijanych zwierząt. Komórki macierzyste mogą być pobierane także z innych tkanek niż tkanka mięśniowa, problemem jest utrzymanie ich przy życiu oraz stymulacja do podziałów i różnicowania w kierunku miocytów *in vitro*. Stworzenie takich warunków wymaga skomplikowanego oprzyrządowania oraz znacznych ilości energii elektrycznej (odpowiednio, 2 i 5 razy więcej prądu niż w chowie drobiu i bydła mlecznego), a także wody i substancji odżywczych (15).

Obecnie typową technologią jest hodowla komórek macierzystych w bioreaktorach, w ściśle kontrolowanych warunkach środowiskowych (ryc. 1). Podczas pierwszego etapu – fazy proliferacji – komórki jedynie multiplikują do czasu osiągnięcia pożądanej konfluencji. Drugi krok rozpoczyna się wraz z różnicowaniem komórek w miocyty. Na tym etapie kultura komórkowa wymaga stymulacji elektrycznej i mechanicznej, aby wzmocnić produkcję białek, poprawić strukturę i przygotować do budowania większych elementów mięsa. Po różnicowaniu – jeśli odpowiednie warunki hodowli są zapewnione – formowane są miotuby oraz tkanka mięśniowa szkieletowa. Struktura otrzymanych produktów mięsnych zależy od czasu trwania hodowli i warunków w bioreaktorze. Naukowcy twierdzą, że teoretycznie jest możliwe stworzenie struktur przypominających steki – ale wymagałoby to systemu naczyniowego, aby dostarczać substancje odżywcze do tkanki (Tuomisto 2019). Na razie uzyskiwane są cienkie warstwy kultur miocytów o około milimetrowej grubości.

### Czy produkcja sztucznego mięsa uratuje środowisko?

W odróżnieniu od jakości wody, jaką piją ludzie i zwierzęta gospodarskie, w hodowlach komórkowych do przygotowania płynów, w których hodowane są komórki, woda musi być najwyższej czystości chemicznej i mikrobiologicznej. W skali przemysłowej



**Ryc. 1.** Schemat produkcji sztucznego mięsa z komórek macierzystych, z wykorzystaniem kontrolowanych warunków hodowli w bioreaktorach (opracowanie na podstawie Tuomisto 2019)

produkcji sztucznego mięsa tej superczystej wody będzie potrzeba bardzo dużo (odpowiednio: 25 i 100 razy więcej niż w chowie drobiu i bydła mlecznego), także wiele różnych składników pokarmowych (aminokwasów, peptydów, kwasów tłuszczowych, glukozy, związków mineralnych i witamin) do odżywiania komórek. Wszystko o czystości chemicznej i biologicznej jak dla hodowli *in vitro*. Wytworzenie pożywki dla hodowli komórkowych przysparza wiele więcej problemów niż wyprodukowanie dobrej jakości zielonki czy paszy treściwej. Eksperci twierdzą zgodnie, że to właśnie koszt wytworzenia medium dla hodowli tkankowych będzie najważniejszym czynnikiem limitującym produkcję sztucznego mięsa na

skalę przemysłową. Trudno odnaleźć w literaturze szacunkowe oceny wpływu na środowisko, jaki wyrzucić może wzrost produkcji surowców niezbędnych dla fabryk sztucznego mięsa, chociażby produkcji aminokwasów – niezbędnych składników płynów do hodowli komórkowych. Obecnie w skali światowej wytwarza się prawie 2 mln ton aminokwasów rocznie. Część aminokwasów jest produkowana na drodze syntezy chemicznej (np. glicyna i DL-metionina), a część na drodze biotechnologicznej, poprzez trawienie enzymatyczne prostych substratów (np. L-tryptofan, kwas L-asparaginowy) lub fermentację bakteryjną (np. lizyna, kwas L-glutaminowy, treonina, fenyloalanina). Skala produkcji aminokwasów oraz

wymagania w odniesieniu do ich czystości będzie musiała znacząco wzrosnąć, aby dostosować się do produkcji sztucznego mięsa. Obecnie większość aminokwasów jest produkowana nie na cele przemysłu farmaceutycznego (medical grade) czy do hodowli *in vitro*, a jako dodatki paszowe i suplementy diety, wymagające o wiele niższej ich czystości (feed grade, food grade). Uzyskanie wysokiej czystości substratów dla hodowli komórkowych wymaga zastosowania wielu kosztownych technologii ich oczyszczania (np. filtrowania i rozdzielów chromatograficznych), kontroli jakości oraz dużych ilości energii (i oczywiście dużo superczystej wody).

Hodowla miocytów wymaga także zastosowania kilkuprocentowego dodatku surowicy płodowej (najczęściej płodów cieląt). Na wytworzenie sztucznego mięsa na pierwszego hamburgera zużyto około 50 litrów surowicy, co według szacunków wymaga zebrania krwi od 91 do 333 płodów bydłych! Surowica płodowa obfituje w m.in. szereg hormonów, czynników wzrostowych i cytokin niezbędnych dla stymulacji podziałów i różnicowania miocytów. Dotąd nie udało się znaleźć równie skutecznego stymulatora jak surowice płodów, ale uzyskanie takiej surowicy wiąże się z zabijaniem płodów. Udało się stworzyć podłoża niezawierające surowicy oraz innych składników pochodzenia zwierzęcego (16, 17). Nie są one jednak odpowiednie do wszystkich typów komórek i – jak już wspomniano – są mniej efektywne w odniesieniu do pobudzania wzrostu i przeżywalności komórek (18). Alternatywy – substytuty surowicy bydłej, które są obecne na rynku – to: Ultroser G, cyjanobakterie oraz ekstrakty z japońskich grzybów Maitake (grifola), drożdży czy ekstrakty z mikroalg (5, 14, 18). Wciąż niezbędne są dalsze badania naukowe w celu stworzenia opłacalnych (niskokosztowych) pożywków dla wszystkich typów komórek oraz różnych stadiów produkcyjnych.

Kolejnym wyzwaniem jest znalezienie bezpiecznych biomateriałów, które pozwolą komórkom uorganizować się w konfigurację tkankową – w warunkach laboratoryjnych kultur *in vitro* struktury 3D otrzymywane są na macierzy bydłego kolagenu i Matrigelu – również mioblasty formujące włókno mięśniowe (14). Pierwszy hamburger został oparty o kultury 2D! „Bioartificial muscle” czyli struktura 3D jest intensywnie badana w medycynie regeneracyjnej. Szczególnie chętnie widziane są macierze, nadające się do spożycia wraz z miocytami z uwagi na trudności w separacji komórek od podłoża.

Syntetyczne czy uzyskane metodami biotechnologicznymi biologicznie aktywne składniki mediów pobudzające wzrost i różnicowanie miocytów, jak hormony (np. insulina, hormony tarczycy, hormon wzrostu) i czynniki wzrostowe (np. miogeniny), są dzisiaj niezwykle kosztowne. Wyprodukowanie 1 kilograma insuliny lub jej analogów kosztuje 25–100 tys. USD, a to tylko jeden z wielu niezbędnych składników medium dla kultur komórkowych. Kolejne kontrowersje, a dotąd niezbyt mocno podnoszone przez naukowców, budzi konieczność stosowania antybiotyków w hodowlach komórkowych, w celu zahamowania wzrostu drobnoustrojów. Brak jest w dostępnej

literaturze szerszego opracowania dotyczącego prognoz zużycia antybiotyków przy produkcji sztucznego mięsa, a byłoby to interesujące zestawienie w porównaniu z dotychczasowym zużyciem antybiotyków przez światowe rolnictwo. Na przykład w USA rocznie zużywane jest około 17,5 tys. ton antybiotyków, z czego na cele produkcji zwierzęcej przypada aż 82%. Niepojawiają się tendencje do wzrostu zużycia antybiotyków przez rolnictwo, obserwowane w krajach rozwijających się (Daleki Wschód, Ameryka Południowa, niektóre kraje afrykańskie). Należy zaznaczyć, że w porównaniu ze stosunkowo łatwym do wyegzekwowania obowiązkiem dotrzymania okresów karencji celem pozbycia się antybiotyków z mięsa zwierząt produkcyjnych, oczyszczenie kultur miocytów z pozostałości antybiotyków i ich metabolitów jest o wiele trudniejszym zadaniem. W opracowaniu przygotowanym przez Biuro Analiz Parlamentu Europejskiego (EPRS) w 2018 r. umieszczono informację, że mięso wytwarzane w laboratoriach nie będzie wymagało użycia antybiotyków (19)!

Wymieniając problemy technologiczne do rozwiązania przed rozpoczęciem wielkoskalowej produkcji sztucznego mięsa, należy wspomnieć o konieczności zapewnienia rosnącym miocytom odpowiednich warunków fizycznych – mięśnie do wzrostu potrzebują ruchu. Utylizacja metabolitów produkowanych przez miocyty (głównie mleczanu i bardzo toksycznego amoniaku) w organizmie zwierzęcym jest złożonym procesem, a końcowe produkty przemiany materii są usuwane w wydychanym powietrzu (CO<sub>2</sub>) i z moczem (amoniak po przetworzeniu w mocznik u ssaków, a kwas moczowy u ptaków). Znaczna część metabolitów może ulec „recyklingowi” w organizmie, co jest np. szczególnie istotne dla procesów wytwarzania mleka u krów mlecznych. W przypadku hodowli *in vitro* utylizacja metabolitów jest kolejnym znaczącym wyzwaniem. Naukowcy w 2014 r. dokonali szacunkowych wyliczeń pokrycia zapotrzebowania na białko zwierzęce z hodowli sztucznego mięsa (20). Jeśli każdy na świecie zje 25–30 g sztucznego mięsa/dzień (co daje liczbę zaledwie 10 kg/rok, obecnie statystyczny Polak zjada około 70 kg, a Amerykanin 125 kg mięsa rocznie) – zakładając, że w 2050 r. będzie nas na Ziemi 10 miliardów (a produkcja żywności musi się zwiększyć o 50%) – to w skali roku będzie potrzeba 10<sup>11</sup> kg sztucznego mięsa (czyli 10<sup>23</sup> komórek). Potencjalnych producentów sztucznego mięsa czeka zatem nie lada wyzwanie: podwojenie liczby komórek zwierzęcych następuje w ciągu 2–3 dni, co oznacza, że potrzeba minimum 2–3 tygodni do osiągnięcia 128×10<sup>12</sup> komórek/m<sup>3</sup>. Wyliczenia wskazały, że przy użyciu 20 m<sup>3</sup> bioreaktora można zapewnić deklarowaną podaż mięsa dla 2560 osób, czyli małej wioski. Największe ograniczenia to wspomniane powyżej koszt medium hodowlanego (20 m<sup>3</sup> medium potrzebne do jednego cyklu pracy bioreaktora, do rocznej produkcji potrzeba 10 cykli) oraz konieczność pracy w standardach przynajmniej dobrych praktyk (GLP, GMP) – a gdyby dorównać do wymogów stawianych produkcji żywności (Prawo żywnościowe), to HACCP. Ile takich bioreaktorów musiałoby zatem powstać oraz czy stać byłoby na nie biedniejsze państwa świata?

## Sztuczne mięso a produkcja gazów cieplarnianych

Naukowcy nadal nie są zgodni, czy hodowle sztucznego mięsa faktycznie korzystnie wpłyną na środowisko, nie tylko w obszarze obniżenia emisji gazów cieplarnianych. Tuomisto i de Mattos (21) opracowali dane wskazujące, że produkcja 1000 kg hodowli mięsa *in vitro* wymaga 26–33 GJ energii, 367–521 m<sup>3</sup> wody (czyli nieco mniej niż w wymiarowym basenie pływakim), 190–230 m<sup>2</sup> gruntu oraz emituje 1900–2240 kg CO<sub>2</sub> eq GHG. Porównując to do zużycia w konwencjonalnych systemach produkcji mięsa w Europie, mięso z hodowli laboratoryjnych ma o 7–45% niższe zużycie energii (jedyną produkcją drobiarską ma niższe), 78–96% mniejszą emisję GHG, 99% niższe zużycie gruntów oraz 82–96% mniejsze zużycie wody. W polemikę z autorami wchodzi Alexander i wsp. (4), wskazując, że zespół badaczy opracował te dane dla systemu bioreaktora pracującego na pożywkę z glonów. Czyli do obciążeń środowiskowych powinno się wliczać nie tylko produkcję sztucznego mięsa, ale również produkcję biomasy alg. Nawet jeśli faktycznie produkcja sztucznego mięsa daje mniejszy odcisk środowiskowy niż produkcja bydła (w odniesieniu do zużycia gruntu), to bezpośrednio zużycie energii jest dużo wyższe niż w produkcji zwierzęcej (18–25 GJ/t; przetwarzanie surowca biomasy w pożywkę, hodowla komórek, przetwarzania hodowli w gotowy produkt, uwzględniając sterylizację i hydrolizę), zwłaszcza mięsa drobiowego (4,5 GJ/t). Autorzy wskazują, że produkcja sztucznego mięsa nie wydaje się oferować znaczących benefitów w porównaniu do produkcji jaj czy mięsa drobiowego (podobna wydajność – wytworzona energia i białko/jednostkę powierzchni rolniczej, zaś wyższe zużycie energii). W powyższych wyliczeniach nie zwrócono także uwagi na ilości energii użytej na oczyszczanie wody oraz energii, wody i innych surowców do produkcji składników mediów płynnych (aminokwasy, kwasy tłuszczowe, witaminy, składniki biologicznie aktywne – hormony, czynniki wzrostu itp.) w czystości dla kultur *in vitro*. Mattick i wsp. (22), badacze amerykańscy, stwierdzają, że technologia rolnictwa komórkowego w dużej mierze zastępuje biologiczne systemy chemiczne i mechaniczne, co może potencjalnie zwiększyć zużycie energii, a w konsekwencji emisję gazów cieplarnianych.

Lynch i Pierrehumbert (23) opublikowali porównanie wpływu hodowli komórkowych i chowu bydła na produkcję głównych gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O) i ich wpływ na ocieplenie klimatu. Z wyliczeń autorów wynika, że w długiej perspektywie czasowej hodowla sztucznego mięsa może przynieść więcej szkody niż chów bydła mięsnego, ponieważ sumaryczna emisja gazów cieplarnianych jest zbliżona, ale u bydła znaczną część emisji stanowi metan, który nie ulega kumulacji w odróżnieniu do CO<sub>2</sub>. Natomiast w hodowli sztucznego mięsa CO<sub>2</sub> jest jedynym gazem cieplarnianym. Według innych wyliczeń produkcja sztucznego mięsa emituje 5–6 razy więcej CO<sub>2</sub> niż produkcja drobiarska czy mleka.

## Czy konsument jest gotowy na mięsną rewolucję?

Kolejną barierą rozważaną przez naukowców jest akceptowalność konsumentka „sztucznego mięsa” (6).

Niektóre firmy deklarują, że w przeciągu 5 lat produkty z mięsa *in vitro* wejdą na rynek. A amerykańska telewizja informacyjna CBS w 2018 r. podała (24), że sztuczne mięso będzie komercyjnie dostępne w USA w 2021 roku! Stąd rodzaj i wielkość rynku dla takich produktów są istotnym pytaniem nurtującym nie tylko marketingowców, ale i polityków. Wyniki badań konsumenckich się różnią – od bardzo wysokiej chęci spróbowania takich produktów oraz zauważania ich korzyści (głównie wśród młodych, wykształconych respondentów płci męskiej), do większych preferencji w stosunku do mięsa tradycyjnego (7). Nie dla wszystkich konsumentów wybór rodzaju mięsa jest kwestią etyczną czy ideologiczną (wegetarianie postrzegani są jako radykalni moralisci). Pojawiły się nowe trendy konsumpcyjne, jak fleksitariarizm – jedzenie mięsa tylko na specjalne okazje (25) oraz conscientious omnivorism – spożywanie mięsa od zwierząt utrzymywanych w dobrostanie (26). Konsumenty lubią smak mięsa, ale mają wątpliwości etyczne. Jedną z głównych obaw konsumentów dotyczących czystego mięsa z kultur *in vitro* jest jego rzekoma nienaturalność (najczęstszy powód wymieniany w jakościowych badaniach ankietowych; 1), inne to: smakowitość, cena oraz bezpieczeństwo. Wskazuje się, że aspekt „naturalności” (ang. naturalness bias) jest wyżej postrzegany jako wartość dodana, pojawiał się już wcześniej w odniesieniu do dodatków do żywności oraz żywności modyfikowanej genetycznie (27). Według badań (28, 29) ryzyko zdrowotne związane ze sztucznym mięsem jest o wiele mniej akceptowalne niż to samo ryzyko związane z mięsem zwierząt rzeźnych (np. ryzyko wystąpienia raka okrężnicy związane z konsumpcją czerwoną mięsa). Co do cen, muszą one być obniżone – przykładowo izraelski start-up Future Meat Technologies (www.future-meat.com) twierdził, że jest w stanie obniżyć cenę za funt (0,45 kg) sztucznego mięsa do 4,50–2,30 \$ do 2020 roku (30). *Nota bene* 2 grudnia 2019 r. nie znaleźliśmy tej informacji na stronach FMT. Obecnie nie jest dokładnie znana liczba firm zaangażowanych w produkcję sztucznego mięsa. W Europie może ich być około 20 (30).

Na percepcję produktów z mięsa sztucznego może mieć wpływ czynnik obrzydliwości (ang. „yuke” factor lub ‘wisdom of repugnance’) i wstrętu (27). Wskazuje się, że zdecydowany opór przeciwko sztucznemu mięsu wykazują konsumenci wrażliwi na obrzydzenie w zakresie higieny i żywności (27, 29). Obrzydzenie ma istotnym wpływ funkcjonalny – chroni organizm przed potencjalnie szkodliwymi substancjami (np. wstręt został zidentyfikowany jako jeden z najsilniejszych prognostyków braku gotowości do spożycia owadów).

Akceptowalność wzrasta, kiedy w ankietach idea mięsa sztucznego jest poparta pozytywnymi informacjami na jego temat (z 24 do 51%). Co pokazuje, że preferencje konsumenckie nie są jeszcze ustalone i odbiorca jest podatny na „manipulację” poprzez kampanie społeczne itp. Istotną kwestią jest też cena – czyli szerszy dostęp do produktu dla przeciętnego konsumenta. Wykazano istotność nomenklatury (31) – pozytywne efekty daje nazwa „czyste mięso”

(ang. clean meat), kojarząca się z wartościami odżywczymi, zdrowotnością, smakowitością oraz naturalnością (a także z hasłami „organiczny”, „wolny od antybiotyków”, „bez tłuszczu”). Nazwa „sztuczne mięso” zaś kojarzy się z nienaturalnością, nowością i zagrożeniem dla zdrowia. Stąd w materiałach dla konsumentów możemy często spotkać takie karłowate językowo zbitki wyrazów, jak „rolnictwo komórkowe” (ang. cellular agriculture) albo „mięso bezzwierzęce” (ang. animal-free meat, tłumaczenie własne inspirowane tłumaczeniem nazw produktów bezglutenowych, gluten-free, i bezalkoholowych, alcohol-free) ale niepejoratywnie odbierane określenie sztuczne mięso (ang. artificial meat).

W opracowaniach naukowych porównuje się kwestie podejścia konsumentów do sztucznego mięsa do debaty nad GMO (1, 6). W badaniach opisanych w 2015 r. (32, 33) przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii, Belgii i Portugalii respondenci wskazywali sztuczne mięso jako odrażające i niosące ryzyko zbliżone do organizmów modyfikowanych oraz klonowanych zwierząt (choć około 40% z respondentów deklaroowało chęć spróbowania go). Jednocześnie produkcja sztucznego mięsa jest oceniana jako zagrażająca tradycyjnemu rolnictwu. W spektrum dyskusji o „naturalności” można też wymienić aspekt żywności organicznej, która jest generalnie odbierana jako bardziej naturalna i zdrowa niż konwencjonalnie przetworzona i jest wspierana przez filozofię „food movement” (ang. local food movement, slow food movement). Kolejnym aspektem rozważanym w kontekście sztucznego mięsa są fobie żywnościowe, w tym neofobia (27) – czyli lęk przed spróbowaniem nowych produktów. Ponieważ technologia produkcji jest prototypowa, można sztuczne mięso określać jako „nową żywność” – i brać pod uwagę negatywne nastawienia konsumentów. Jednocześnie wiele osób uwielbia nowe technologie i nowinki techniczne, dla nich innowacyjne techniki laboratoryjne są atrakcyjne i budzą chęć spróbowania produktu.

### Politycy gotowi na sztuczne mięso

Ze względu na rosnące zainteresowanie tematem sztucznego mięsa pojawiła się konieczność prawnego uregulowania jego statusu. Komisja Europejska uznała, że rozwój nowych alternatyw mięsa wpisuje się w inicjatywę KE Food 2030 (stworzenie zrównoważonych systemów żywnościowych przyjaznych dla klimatu dla zdrowej Europy; Recipe for change: An agenda for a climate-smart and sustainable food system for a healthy Europe, Brussels: European Commission, (<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d0c725de-6f7c-11e8-9483-01aa75ed71a1/language-en>). Żywność składająca się, izolowana lub wytwarzana z kultury komórkowej lub kultury tkankowej pochodzącej od zwierząt, roślin, mikroorganizmów, grzybów lub alg zostaje objęta zakresem rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 dotyczącego nowej żywności (ang. novel food). A zatem wymaga zezwolenia na dopuszczenie do obrotu (jak do tej pory żadna firma nie wystąpiła o zezwolenie), z wyjątkiem przypadków,

gdy zastosowana technika wchodzi w zakres rozporządzenia (WE)1829/2003 w sprawie genetycznie zmodyfikowanej żywności i pasz. Powstał Katalog Nowej Żywności. Jednocześnie sztuczne mięso jako żywność podlega wymaganiam prawa żywnościowego (rozporządzenie WE 178/2002; odpowiedzialność producenta, identyfikowalność produktu) oraz rozporządzenia UE 1169/2011 (w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności).

Podsumowując, przedstawiliśmy pokrótce szereg niewątpliwych osiągnięć w zakresie technologii oraz rosnących obaw związanych z produkcją sztucznego

## ScanVet Poland

Przedstawiciel  
regionalny

### Oferta pracy dla Lekarza weterynarii

**WROCŁAW**  
woj. dolnośląskie

#### Wymagane kwalifikacje:

- wyższe wykształcenie weterynaryjne
- prawo jazdy kategorii B
- znajomość obsługi komputera: m. in. MS Office
- znajomość j. angielskiego
- zdolności organizacyjne i umiejętność nawiązywania kontaktów
- dyspozycyjność

#### Firma zapewnia:

- bardzo atrakcyjne warunki pracy i wynagrodzenia
- doskonalenie kompetencji zawodowych przez udział w szkoleniach i konferencjach na koszt firmy
- nowoczesne narzędzia pracy: m. in. laptop oraz nowy samochód, pakiet pracowniczy

Zgłoszenie CV ze zdjęciem i listem motywacyjnym uwzględniające klauzulę o ochronie danych osobowych prosimy przesłać na adres mailowy:

[scanvet@scanvet.pl](mailto:scanvet@scanvet.pl)

Firma zastrzega sobie prawo odpowiedzi jedynie na wybrane oferty

**ScanVet**  
POLAND

Al. Jerozolimskie 99 m.39  
02-001 Warszawa  
Tel. 22 622 91 83  
[www.scanvet.pl](http://www.scanvet.pl)

## IN VITRO MEAT



### NASTAWIENIE KONSUMENTA

- Smakowość i inne cechy sensoryczne
- Obawa przed nienaturalnością
- Wstręt
- Wysoka cena
- Obawy zdrowotne
- Neofobia
- Nomenklatura (czyste mięso vs sztuczne mięso)
- Zaufanie do nauki
- Zaufanie do nowinek technologicznych

### CZYNNIKI ŚRODOWISKOWE

- Rosnąca liczba ludności
- Urbanizacja
- Niedostatek wody i obszarów rolniczych dla produkcji zwierzęcej
- Zanieczyszczenie środowiska
- Emisja gazów cieplarnianych
- Dobrostan zwierząt
- Ograniczenie konsumpcji mięsa zwierząt rzeźnych

### ASPEKTY PRAWNE

UE „novel food” – nowa żywność

### CZYNNIKI SPOŁECZNE

- Kontekst etyczny
- Paradoxs mięsa
- Nowe trendy konsumpcyjne
- Food movements
- Zdrowie publiczne
- Zoonozy
- Wykształcenie – Wiedza o nauce
- Różnice kulturowe
- Obawy o wpływ na rolnictwo
- Koszty produkcji
- Kampanie społeczne

### TECHNOLOGIA

- Innowacyjność
- Szansa dla start-upów
- Rozwój wiedzy naukowej
- Konieczność udoskonalania warunków hodowli in vitro (np. pożywki)
- Koszty np. energii
- Poddawana w wątpliwość ograniczona emisja gazów cieplarnianych

Ryc. 2. Zestawienie czynników powiązanych z produkcją sztucznego mięsa

mięsa (ryc. 2). Wszystko po to, aby uzmysłwić, że widok nowoczesnego, wspaniałego basenu to jeszcze za mało, żeby oddać do niego efektowny skok. Warto sprawdzić, czy jest w nim woda.

### Piśmiennictwo

- Mohorčiča J., Reese J.: Cell-cultured meat: Lessons from GMO adoption and resistance. *Appetite*, 2019, **143**, 1044-1048.
- van der Weele C., Feindt P., van der Goot A.J., van Mierlo B., van Bokel M.: Meat alternatives: an integrative comparison. *Trends Food Sci Technol*. 2019, **88**, 505–512.
- Post M.J.: Cultured beef: medical technology to produce food. *J. Sci Food Agr.*, 2013, doi:10.1002/jsfa.6474.
- Alexander P., Brown C., Arneith A., Dias C., Finnigan J., Moran D.: Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Glob Food Secur.*, 2017, **15**, 22e32.
- Bhat Z.F., Bhat H.: Animal –free meat biofabrication. *Am. J. Food Tech.*, 2011, **6**, 441–459.
- Bryant C. J., Anderson J.E., Asher K.E., Green C., Gasteratos K.: Strategies for overcoming aversion to unnaturalness: The case of clean meat. *Meat Sci.*, 2019, **154**, 37–45.
- Slade P.: If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based and cultured meat burgers. *Appetite*, 2018, **125**, 428–437.
- FAO. 2018 Food Outlook – Biannual Report on global food markets – November 2018.
- Pluhar E.B.: Meat and morality: Alternatives to factory farming. *J. Agric. Environ Ethics*, 2010, **23**, 455–468.
- Buscemi S., Nicolucci A., Mattina A., Rosafio G., Massenti F.M., Lucisano G., Galvano F., Amodio E., Pellegrini F., Barile A.M., Maniaci V., Grosso G., Verga S., Sprini D., Rini G.B.: Association of dietary patterns with insulin resistance and clinically silent carotid atherosclerosis in apparently healthy people. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2013, **67**, 1284–1290.
- Kim E., Coelho D., Blachier F.: Review of the association between meat consumption and risk of colorectal cancer. *Nut. Res*, 2013, **33**, 983–994.
- Tobler C., Visschers V.H.M., Siegrist, M.: Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite*, 2011, **57**(3), 674–682. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.08.010>.
- Orzechowski A.: Artificial meat? Feasible approach based on the experience from cell culture studies. *J. Integr. Agric.*, 2015, **14**(2), 217–221.
- Hocquette J-F.: Is in vitro meat the solution for the future? *Meat Sci.*, 2016, **120**, 167–176.
- Bhat Z.F., Bhat H., Pathak V.: Prospects for In Vitro Cultured Meat – A Future Harvest: Principles of Tissue Engineering, Fourth ed. Elsevier 2014 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-398358-9.00079-3>.
- Sharma S., Thind S.S., Kaur A.: In vitro meat production system: why and how? *J. Food Sci. Technol.* 2015, **52**(12), 7599–7607.
- Warner R.D.: Review: Analysis of the process and drivers for cellular meat production. *Animal* 2019, doi:10.1017/S1751731119001897.
- Tuomisto H.L.: The eco-friendly burger. Could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products? *EMBO Reports*, 2019, **20**, e47395. | DOI 10.15252/embr.201847395
- EPRS European Parliamentary Research Service. Kurrer C., Lawrie C.: At glance Scientific Foresight: What if all our meat were grown in lab? 2018 – PE614.538.
- van der Weele C., Tramper J.: Cultured meat: every village its own factory? *Trends Biotechnol.*, 2014, **32**, No. 6.
- Tuomisto H.L., de Mattos, M.J.T.: Environmental impacts of cultured meat production. *Environ. Sci Technol*, 2011, **45**(14), 6117–6123. <https://doi.org/10.1021/es200130u>.
- Mattick C.S., Landis A.E., Allenby B.R., Genovese N.J.: Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in United States. *Environ. Sci. Technol.* 2015, **49**(19): 11941–9.
- Lynch J., Pierrehumbert R.: Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Front Sustain Food Syst.* 2019, **3**.
- CBS News (2018). Lab-grown meat could be in restaurants by 2021. Retrieved January 23, 2019 from <https://www.cbsnews.com/news/mosa-meat-lab-grown-meat-could-berestaurants-by-2021/>.
- Dagevos H.: Exploring flexitarianism: Meat reduction in a meat-centred food culture. In T. Raphaely, & D. Marinova (Eds.), *Impact of meat consumption on health and environmental sustainability*. 2016 (pp. 233e243). Hershey, PA: IGI Global.
- Rothgerber H.: Can you have your meat and eat it too? Conscientious omnivores, vegetarians, and adherence to diet. *Appetite*, 2015, **84**, 196e203.
- Wilks M., Phillips C.J.C., Fielding K., Hornsey M.J.: Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat. *Appetite*, 2019, **136**, 137–145.
- Siegrist M., Sütterlin B.: Importance of perceived naturalness for acceptance of food additives and cultured meat. *Appetite*, 2017, **113**, 320–326. doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.019.
- Siegrist M., Sütterlin B., Hartmann C.: Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Sci.*, 2018, **139**, 213–219.
- Weinrich R., Strack M., Neugebauer F.: Consumer acceptance of cultured meat in Germany article in press., *Meat Sci.*, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107924>
- Bryant C.J., Barnett J.C.: What's in a name? Consumer perceptions of in vitro meat under different names. *Appetite*, 2019, **137**, 104–113.
- Verbeke W., Marcu A., Rutsaert P., Gaspar R., Seibt B., Fletcher D.: "Would you eat cultured meat?": Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Sci.*, 2015, **102**, 49e58.
- Verbeke W., Sans P., Van Loo E.J.: Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. *J. Integr. Agric.*, 2015, **14**, 285e294.

Prof. dr hab. Romuald Zabielski,  
e-mail: romuald\_zabielski@sggw.pl