



## Raport końcowy

# Wyniki badań i rezultaty projektu „Innowacje w redukcji zużycia zbóż i importowanej śruty sojowej w żywieniu zwierząt” w ramach grupy operacyjnej Fermenfeed



**Skład grupy operacyjnej:**

**Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w  
Warszawie**

**Gospodarstwo Rolne Sławomir Czech**

**Gospodarstwo Rolne Krzysztof Kwit**

**Łukasz Czech AgroWe**

**Numer umowy: 00070.DDD.6509.00291.2022.03**



# Spis treści:

## Spis treści

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Wstęp .....                                                     | 4  |
| 2. Organizacja projektu .....                                      | 11 |
| 2.1 Konsorcjanci .....                                             | 11 |
| 2.2 Chlewnie gdzie prowadzono badania .....                        | 12 |
| 2.3 Monitoring tuczników .....                                     | 17 |
| 2.4 Odniesienie ekonomiczne i potrzeby ekonomiczne .....           | 22 |
| 3. Wyniki badań – innowacja produktowa .....                       | 28 |
| 3.1 Zbiorcze podsumowanie grup .....                               | 29 |
| 3.2 10% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych .....             | 39 |
| 3.3 20% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych .....             | 42 |
| 3.4 30% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych .....             | 45 |
| 3.5 40% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych .....             | 48 |
| 4. Wyniki badań na myszach .....                                   | 51 |
| 5. Innowacja technologiczna w zakresie przygotowywania paszy ..... | 64 |
| 6. Innowacja organizacyjna w zakresie monitoringu zwierząt .....   | 85 |
| 7. Podsumowanie innowacji .....                                    | 93 |
| 8. Rekomendacje dalszych działań .....                             | 96 |



## 1. Wstęp

Współczesne rolnictwo i sektor produkcji zwierzęcej w Polsce stają przed rosnącymi wyzwaniami związanymi z efektywnością ekonomiczną, dostępnością surowców paszowych oraz koniecznością ograniczenia uzależnienia od importowanych komponentów, w szczególności poekstrakcyjnej śruty sojowej pochodzącej z roślin genetycznie modyfikowanych. Wysokie koszty zakupu pasz, niestabilność rynków surowcowych, a także oczekiwania konsumenckie i regulacje europejskie skłaniają do poszukiwania alternatywnych, lokalnie dostępnych źródeł białka paszowego. W tym kontekście, projekt Fermenfeed powstał jako odpowiedź na potrzebę wdrożenia praktycznych innowacji w zakresie żywienia trzody chlewnej, opartych na wykorzystaniu fermentowanych komponentów paszowych i narzędzi wspomagających organizację procesu żywienia.

Celem operacji realizowanej w ramach projektu było wytworzenie ulepszonej innowacji produktowej, ulepszonej innowacji organizacyjnej oraz ulepszonej innowacji technologicznej – narzędzi wspomagających rejestrację danych i zarządzanie procesem żywienia z wykorzystaniem nowych mieszanek. Główną ideą operacji było zwiększenie konkurencyjności gospodarstw poprzez wdrożenie paszy opartej na komponentach alternatywnych, o niższym śladzie środowiskowym i opłacalniejszym profilu ekonomicznym.

Proces fermentacji stanowił trzon technologiczny rozwiązania opracowywanego w ramach projektu. Fermentacja surowców paszowych pozwala na zwiększenie ich wartości odżywczej, poprawę strawności i eliminację części substancji antyodżywczych. Przekształcenie tradycyjnych komponentów w biologicznie aktywne mieszanki fermentowane stwarza możliwość efektywnego zastępowania klasycznych źródeł białka, jak poekstrakcyjna śruta sojowa, surowcami pochodzącymi z krajowej bazy produkcyjnej. Takie podejście wpisuje się zarówno w potrzeby ekonomiczne gospodarstw, jak i w długofalowe cele unijnej polityki rolnej, obejmujące wsparcie dla niezależności białkowej i ograniczenie wpływu produkcji zwierzęcej na klimat.

Projekt Fermenfeed miał charakter wdrożeniowy i opierał się na realnych doświadczeniach z poziomu gospodarstw rolnych. Dzięki zaangażowaniu partnerów reprezentujących różne ogniwa łańcucha wartości – od producentów trzody chlewnej, przez specjalistów weterynarii, aż po jednostki naukowe i doradcze – możliwe było opracowanie i przetestowanie rozwiązania, które odpowiada rzeczywistym warunkom produkcji i może być łatwo adaptowane w praktyce. Operacja obejmowała opracowanie i testowe wdrożenie w



gospodarstwie oraz analizę jej wpływu na efektywność żywieniową i organizację pracy w gospodarstwie.

Ważnym elementem projektu była także cyfryzacja procesu dokumentowania wyników i rejestracji danych. Zaprojektowane narzędzia informatyczne w ramach innowacji organizacyjnej miały umożliwić systematyczne gromadzenie i analizę informacji dotyczących zużycia paszy, wyników produkcyjnych oraz innych parametrów związanych z wdrażanym rozwiązaniem. Dzięki temu możliwa była nie tylko ocena skuteczności innowacji, ale również stworzenie podstaw do dalszej optymalizacji i standaryzacji żywienia na poziomie gospodarstw, co wpisuje się w szerszy trend rolnictwa precyzyjnego.

W dobie rosnącej presji kosztowej w produkcji zwierzęcej oraz zwiększającego się znaczenia odpowiedzialnego zarządzania zasobami, projekt Fermenfeed dostarcza rozwiązań, które potencjalnie mogą poprawić wyniki ekonomiczne gospodarstw bez konieczności zwiększania skali produkcji. Zastępowanie importowanych surowców paszowych komponentami fermentowanymi nie tylko zmniejsza uzależnienie od zewnętrznych źródeł, ale też wspiera rozwój lokalnych łańcuchów wartości – np. poprzez lepsze wykorzystanie produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego.

W niniejszym raporcie końcowym przedstawiono szczegółowy opis rezultatów operacji, z uwzględnieniem zarówno przebiegu prac badawczo-wdrożeniowych, jak i efektów osiągniętych na poziomie gospodarstw uczestniczących w projekcie. Raport zawiera również ocenę potencjału do dalszego wykorzystania opracowanej innowacji oraz rekomendacje dotyczące jej skalowania w warunkach komercyjnych.

Cel główny operacji to ulepszenie innowacji: ulepszona innowacja technologiczna oraz ulepszona innowacja produktowa wraz z ulepszoną innowacją organizacyjną.

Cele szczegółowe to:

- Opracowanie innowacji produktowych w zakresie nowych, dokładnie przebadanych mieszanek paszowych ze zwiększonym udziałem odpadów z sektora rolno-spożywczego oraz fermentowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej i rzepakowej;
- Opracowanie innowacji technologicznych w zakresie wykorzystania w żywieniu na suchu surowców wykorzystywanych dotychczas w żywieniu na mokro, w celu spopularyzowania ich w małych gospodarstwach;
- Innowacji organizacyjnej łączącej najnowsze osiągnięcie rolnictwa precyzyjnego i Internet of Things w zakresie produkcji trzody chlewnej. Ma to na celu zweryfikowanie



użyteczności tych narzędzi w układach doświadczalnych związanych z żywieniem zwierząt gospodarskich.

Ogół tych innowacji zostanie połączonych z gruntownym rachunkiem ekonomicznym, mającym na celu pokazać wyraźne skutki finansowe testowanych rozwiązań.

Ulepszona innowacja technologiczna polega na przebadaniu produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego w zakresie żywienia trzody chlewnej poprzez zbadanie możliwości ich przechowania, przebadaniu aktywności mikrobiologicznej oraz sprawności obróbki w procesie wytwarzania paszy w żywieniu na sucho. Planowana operacja zakłada opracowanie ulepszenia i wdrożenie jednej technologii: technologii wykorzystania ubocznych i odpadowych produktów pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego w żywieniu świń mieszankami na sucho. Technologia ta polega na wypracowaniu jak zastosować uboczne produkty pochodzące z przemysłu rolno-spożywczego w żywieniu na sucho, a które dotychczas stosowano głównie w żywieniu na mokro. Ze względu na specyfikę polskiego sektora trzody chlewnej, który jest dosyć rozdrobniony w porównaniu do krajów Europy Zachodniej, dużo popularniejsze w naszym kraju jest stosowanie żywienia na sucho. Ogranicza to istotnie możliwości powszechnego stosowania ubocznych i odpadowych produktów pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego w żywieniu trzody chlewnej, co ma daleko idące konsekwencje środowiskowe i ekonomiczne. Wypracowana technologia zakłada współpracę z podmiotami posiadającymi znaczne ilości ubocznych produktów pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego w celu sprawdzenia, jak te produkty można zastosować w żywieniu trzody chlewnej, wraz z kalkulacją ekonomiczną opłacalności produkcji żywca wieprzowego. Aspekt technologiczny w szczególności skupi się na analizie możliwości mielenia, przechowywania oraz stosowania w systemach dostarczających paszę produktów tego typu, które z tego względu są stosowane zazwyczaj w żywieniu na mokro. Produkty uboczne z przemysłu piekarskiego czy produkcji przekąsek na ogół są zbyt zbrylone lub za mokre by stosować je w żywieniu na sucho. W ramach badań sprawdzimy, jak można zlikwidować ten problem. Technologia ta jest niezbędna do zrealizowania planowanej operacji i jest jej integralną oraz spójną częścią.

Ulepszona innowacja organizacyjna – wytworzenie ulepszonych innowacji organizacyjnych w zakresie monitorowania behawioru trzody chlewnej w zależności od stosowanych mieszanek paszowych. Ma to na celu zweryfikowanie użyteczności tych narzędzi w układach doświadczalnych związanych z żywieniem zwierząt gospodarskich. W ramach ulepszonej innowacji organizacyjnej zostanie zamontowany zestaw czujników i nadajników



pozwalający monitorować behavior trzody chlewnej – poziom ruchliwości, aktywności dobowej czy częstotliwości pobierania mieszanek paszowych. Ogół tych czynników pozwoli na monitorowanie trzody chlewnej w zależności od stosowanych mieszanek żywieniowych, lokalizacji, grupy kontrolnej czy innych czynników. W literaturze naukowej nie dokonano jeszcze takiego układu badawczego, co pozwoli zweryfikować możliwość wykorzystania tego typu urządzeń w produkcji zwierzęcej. Ulepszona innowacja organizacyjna będzie opierała się na zamontowaniu zestawu czujników i nadajników w celu generowania danych, które będą następnie analizowane w sposób cyfrowy. Dane będą przedstawione w formie wykresów dobowych prezentujących określone zjawiska dotyczące trzody chlewnej w zakresie behavioru. Pozwoli to np. na określenie, czy mieszanki paszowe zawierające większą ilość soli pozwolą na lepsze magazynowanie wody w organizmie zwierząt, co pozwala redukować stres cieplny czy też więcej tłuszczu w mieszankach pochodzących z produktów ubocznych włączonych w mieszanki paszowe wpłynie na zmianę behavioru zwierząt gospodarskich w monitorowanych jednostkach.

Ulepszona innowacja produktowa - wytworzenie ulepszonych mieszanek paszowych wraz z zastosowaniem produktów ubocznych z sektora spożywczego jako surowca zastępującego zboże wraz z dodatkiem fermentowanej śruty sojowej i rzepakowej w celu zastąpienia poekstrakcyjnej śruty sojowej i rzepakowej. Planowana operacja zakłada opracowanie i wdrożenie ulepszonych produktów – mieszanki paszowej ze zredukowaną ilością poekstrakcyjnej śruty sojowej z genetycznie modyfikowanych roślin na rzecz fermentowanej śruty rzepakowej i sojowej oraz mieszanki paszowej o zredukowanej ilości zbóż na rzecz uprzednio przygotowanych ubocznych produktów pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego do żywienia na sucho. Produkty te sprawdzone empirycznie, jeśli okażą się skuteczne, mogą zostać z sukcesem wdrożone przez duże, polskie mieszalnie pasz w ramach transferu wiedzy i innowacji do wykorzystania u rolnika oraz innych uczestników łańcucha produkcyjnego. Produkty te mogą pozytywnie wpływać na florę jelitową świń, pobudzać rozwój kosmków jelitowych oraz jednocześnie ograniczać negatywne aspekty środowiskowe i klimatyczne żywienia zwierząt. Co więcej, może okazać się, że ulepszone sposoby żywienia świń są mniej zależne od zawirowań pogodowych związanych ze zmianami klimatu. Dodatkowo, nowe receptury paszowe mogą okazać się znacząco wydajniejsze ekonomicznie, co jest szczególnie ważne w okresie, w którym Afrykański Pomór Świń powoduje silną, negatywną presję cenową dla rozdrobnionych producentów trzody chlewnej w Polsce. W ramach planowanych działań zostanie przeprowadzone empiryczne sprawdzenie



wartości użytkowej określonych mieszanek paszowych zawierających wyżej wymienione komponenty i ich wpływu na efektywność techniczną i ekonomiczną produkcji trzody chlewnej. Zakłada się, że użycie w jednej mieszance paszowej produktów ubocznych, które mogą podlegać łatwemu psuciu wraz z produktami, które wspierają trawienie i posiadają pozytywny wpływ na aktywność mikrobiologiczną, może mieć bardzo pozytywny wpływ na efektywność ekonomiczną i technologiczną zastosowanych mieszanek paszowych do żywienia trzody chlewnej.

Projekt sam w sobie wynika zarówno z silnego osadzenia w potrzebach rynkowych jak i w potrzebach naukowych. W sytuacji rosnących cen komponentów białkowych i zbóż stosowanie w paszy składników roślinnych wykazujących aktywność proteolityczną poprawiających ich wykorzystanie, może zwiększyć opłacalność chowu (Hanczakowska i Koczywas, 2015). Wiadomo, że długotrwałe stosowanie nawet małych dawek antybiotyków powoduje powstawanie odporności u bakterii. Dlatego w UE od 01.01.2006 r. wprowadzono zakaz stosowania antybiotykowych stymulatorów wzrostu w żywieniu zwierząt (regulacja UE 1831/2003). Wymaga to zmian w programie żywienia zwierząt, które muszą uwzględniać wzmocnienie naturalnej odporności i stabilizację korzystniej mikrobioty przewodu pokarmowego, poprzez stosowanie określonych pasz i dodatków paszowych oraz modyfikację poziomu niektórych składników pokarmowych. Zmusza to hodowców, doradców i rolników do poszukiwania naturalnych i bezpiecznych dodatków, które można wykorzystać w celu optymalizacji składu mikrobioty przewodu pokarmowego, osiągając tym samym lepsze trawienie składników pokarmowych paszy oraz wysoką wydajność i opłacalność produkcji. Wielu producentów rolnych, oprócz osiągnięcia dobrych efektów produkcyjnych, interesuje uzyskiwanie takich produktów pochodzenia zwierzęcego, które będą atrakcyjne dla konsumentów ze względu na swoją wartość odżywczą, dietetyczną i prozdrowotną (Książak i in., 2010). Wyniki wielu badań wskazują jednak na możliwość zwiększenia produkcji mleka i przyrostów dziennych masy ciała, pomimo iż są one zależne od zastosowanego enzymu i jego ilości. Badania niektórych autorów wskazują, że dodatki preparatów enzymatycznych stymulują mikroorganizmy żwacza do zwiększonej syntezy białka, rozkładu włókna, mobilności w wykorzystaniu lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), przy jednoczesnym zmniejszeniu produkcji amoniaku i metanu oraz koncentracji mleczanów. Stosowanie pasz aktywnych proteolitycznie jest bezpieczne dla ptaków, gdyż ulegają one, podobnie jak enzymy pochodzenia endogennego, rozłożeniu przez enzymy proteolityczne w jelicie cienkim. W związku z tym przedawkowanie preparatów enzymatycznych nie jest niebezpieczne dla



zdrowia ptaków, nie pozostawiają one żadnych szkodliwych produktów rozkładu i można je stosować do końca okresu tuczu. Enzymy działające w świetle przewodu pokarmowego nie zakłócają działania narządów wewnętrznych. Zdaniem Rekiel i Tokarskiej (2000) enzymy lepiej są wykorzystywane przez drób niż świnię. Jest to głównie wynikiem mniejszej koncentracji beta-glukanów w jelitach wywołanej większą zawartością wody w treści pokarmowej świń niż drobiu, co zmniejsza lepkość pokarmu. Ponadto świnię mogą trawić beta-glukany w jelicie grubym, a częściowo ich degradacja zachodzi również w żołądku. Badania Omogbenigun i in. (2004) wykazały, że dodatek do paszy dla prosiąt kilku enzymów zwiększał przyrostyienne masy ciała, wykorzystanie paszy, ale także strawność suchej masy, energii brutto, białka, skrobi, polisacharydów nieskrobiowych i fitynianów. Zanotowano także ograniczenie wydalania fosforu z kałem. W produkcji zwierzęcej stosowano wiele substancji i preparatów mających na celu ograniczenie uwalniania lub wiązanie powstałego amoniaku. Najczęściej stosowano formaldehyd, wapno palone, superfosfat, kwas fosforowy, preparaty fungistatyczne i inne. Środki te dodawano bezpośrednio do odchodów lub ściółki, jednak ich skuteczność była bardzo różna, a konieczność transportu i mieszania ze ściółką często ograniczały zakres ich stosowania. Poza tym substancje te nie zawsze były obojętne dla zdrowia zwierząt i środowiska. Poszukiwane są więc środki o naturalnym podłożu, które mogłyby zastąpić substancje chemiczne (Książak i in., 2010). Żywnościowym sposobem redukcji emisji gazów jest również stosowanie dodatków paszowych, które pełnią funkcję jonoforów. Poprawiając efektywność wykorzystywania paszy przyczyniają się między innymi do redukcji emisji metanu, o czym wspominają Mathisson i in. (1998).

W wyniku badań zostały opracowane innowacje skupione na ograniczeniu wykorzystania poekstrakcyjnej śruty sojowej GMO pochodzącej z importu oraz ograniczeniu wykorzystania powierzchni upraw na potrzeby paszowe dla trzody chlewnej. Potrzeba ta jest szczególnie widoczna w przypadku produktów z poekstrakcyjnej śruty sojowej GMO pochodzącej z importu (Tillie i Rodríguez-Cerezo, 2015). Śruta ta odpowiada za 64% komponentów białkowych w Unii Europejskiej, co obniża poziom bezpieczeństwa żywnościowego (De Visser i in., 2014). Co więcej, istnieje wiele przesłanek, sugerujących, że redukcja zawartości poekstrakcyjnej śruty sojowej może poprawić stan zdrowia zwierząt poprzez poddanie jej procesowi fermentacji, który może znacznie zwiększyć rozwój kosmków jelitowych u zwierząt (Kiesz, 2019). Poekstrakcyjna śruta sojowa GMO zawiera niski poziom aminokwasów siarkowych oraz polisacharydów nie skrobiowych, które mogą czasami prowadzić do wystąpienia powikłań związanych z trawieniem (Wenk, 2001).



Rozwój własnych, europejskich oraz polskich źródeł białka paszowego jest elementem wielu strategii, takich jak Europejski Zielony Ład, Strategia Zrównoważonego Rozwoju Wsi, Rolnictwa i Rybactwa, Planu Dla Wsi, a także Wieloletnich Ministerialnych Programów dotyczących roślin strączkowych. Badania naukowe jednoznacznie pokazują, że prowadzenie nowych projektów badawczo-rozwojowych dotyczących surowców paszowych jest niezbędne do zwiększenia samowystarczalności oraz bezpieczeństwa białkowego Polski i Unii Europejskiej w tym zakresie.

Gospodarstwa rolne, w szczególności intensywna produkcja zwierzęca może zanieczyszczać powietrze, co stanowi zagrożenie dla środowiska. Hodowla zwierząt odgrywa w tym kluczową rolę, ze względu na emisje szkodliwych gazów takich jak amoniak, metan, podtlenek azotu, dwutlenek węgla, siarkowodór oraz odory. Ich uwalnianie do atmosfery ma miejsce podczas składowania odchodów, po ich aplikacji do gleby oraz z chlewni na skutek bezpośrednich emisji z układu pokarmowego zwierząt i rozkładu odpadów zwierzęcych. Wkład rolnictwa w całkowitą emisję gazów cieplarnianych wynosi około 10%, natomiast wydzielanie gazów po zastosowaniu gnojowicy do gleby stanowi 40% całkowitej emisji GHG z gospodarstwa (Marszałek i in., 2011). Skład gnojowicy zależy od przyjętej technologii produkcji, sposobu żywienia, ilości stosowanej wody oraz wieku zwierząt. Na poziom amoniaku w pomieszczeniach ma wpływ koncentracja zwierząt i zawartość białka w paszy. Właściwe nawożenie gnojowicą jest ważne z powodu wysokiej emisji odorów i amoniaku oraz azotanów i fosforanów w glebie, wodach gruntowych i powierzchniowych. Zagospodarowanie gnojowicy jest limitowane przez szereg przepisów prawnych zgodnie z Rozporządzeniem MRiRW z dnia 16 kwietnia 2008 r. (Dz.U. nr 80, poz. 479) oraz Rozporządzeniem MRiRW z dnia 18 czerwca 2008 r. (Dz.U. nr 19, poz. 765) (Prejsnar i in., 2018).

Celem obniżenia zanieczyszczenia środowiska konieczne jest precyzyjne określenie zapotrzebowania i spożycia paszy do rzeczywistych potrzeb zwierząt na składniki odżywcze. Konieczna jest dokładna ocena składu surowców i strawności składników pokarmowych. Wzrost populacji ludzi na świecie i związane z tym rosnące spożycie mięsa powoduje wzrost zanieczyszczeń generowanych przez gospodarstwa hodowlane. Produkcja zwierzęca ponosi szczególną odpowiedzialność za wzrost emisji gazów cieplarnianych, który prowadzi do globalnego ocieplenia. Biorąc pod uwagę wzrost konsumpcji mięsa na osobę stanowi to duży problem. Ze względu na powyższe trendy, w celu ograniczenia wpływu globalnego wzrostu spożycia mięsa konieczne jest podjęcie działań w celu zwiększenia wydajności / wykorzystania paszy przez zwierzęta gospodarskie.



## 2. Organizacja projektu

### 2.1 Konsorcjanci

Projekt został uruchomiony wraz z informacją o liście zakwalifikowanych projektów, znacznie przed podpisaniem umowy z ARiMR. Dzięki temu możliwe było zrealizowanie projektu w założonym zakresie oraz czasie.

Projekt opierał się na 4 konsorcjantach: Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego – Instytut Nauk o Zwierzętach, gospodarstwie rolnym Sławomir Czech, gospodarstwie rolnym Krzysztof Kwit (który jest jednocześnie doktorem nauk weterynaryjnych). Prace po stronie Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego koordynował dr inż. Marcin Sońta.

Gospodarstwo Rolne Sławomir Czech znajduje się w miejscowości Królewski Dwór, zaś gospodarstwo rolne Krzysztof Kwit w miejscowości Borysów. Obydwie miejscowości znajdują się w północnej części województwa lubelskiego i są prowadzone na dobrym poziomie. Liderem konsorcjum był Łukasz Czech Agrowe, podmiot doradczy z doświadczeniem w działaniu wspólnie.

Instytut Nauk o Zwierzętach Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie to jedna z najbardziej renomowanych jednostek naukowych w Polsce, wyspecjalizowana w badaniach nad chowem i hodowlą zwierząt, żywieniem, dobrostanem oraz oddziaływaniem produkcji zwierzęcej na środowisko. Instytut od wielu lat angażuje się w krajowe i międzynarodowe projekty badawcze i wdrożeniowe, a jego kadra łączy kompetencje akademickie z praktycznym doświadczeniem w pracy z gospodarstwami rolnymi.

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, której częścią jest Instytut, to najstarsza i najbardziej uznana uczelnia rolnicza w Polsce, działająca nieprzerwanie od 1816 roku. Jej ponad 200-letnie doświadczenie w naukach rolniczych, hodowlanych i środowiskowych stanowiło fundament merytoryczny projektu. Wsparcie instytucjonalne i kompetencyjne tak silnego partnera pozwoliło nie tylko na sprawną realizację operacji w wymagającym harmonogramie, ale również zredukowało ryzyko związane z ograniczeniami wiedzy technicznej po stronie gospodarstw rolnych. Dla wielu uczestników operacji, szczególnie rolników-praktyków, możliwość pracy w bezpośrednim kontakcie z jednostką naukową o tak ugruntowanej pozycji była wartością dodaną – podnoszącą poziom wdrożenia, wiarygodność uzyskanych wyników oraz ich potencjał do dalszego upowszechniania w praktyce.



## 2.2 Chlewnie gdzie prowadzono badania

W Gospodarstwie Rolnym Sławomir Czech produkcja podzielona była na 2 komory po 2 kojce każda (Grafika 1). W każdej z komór umieszczono czujniki na karmnikach zapisujące zbliżanie się świń. Każda z komór posiada osobną wentylację. Taki podział komór pozwalał na precyzyjne dozowanie różnych mieszanek paszowych wraz z testowaniem ich wpływu na rezultaty.

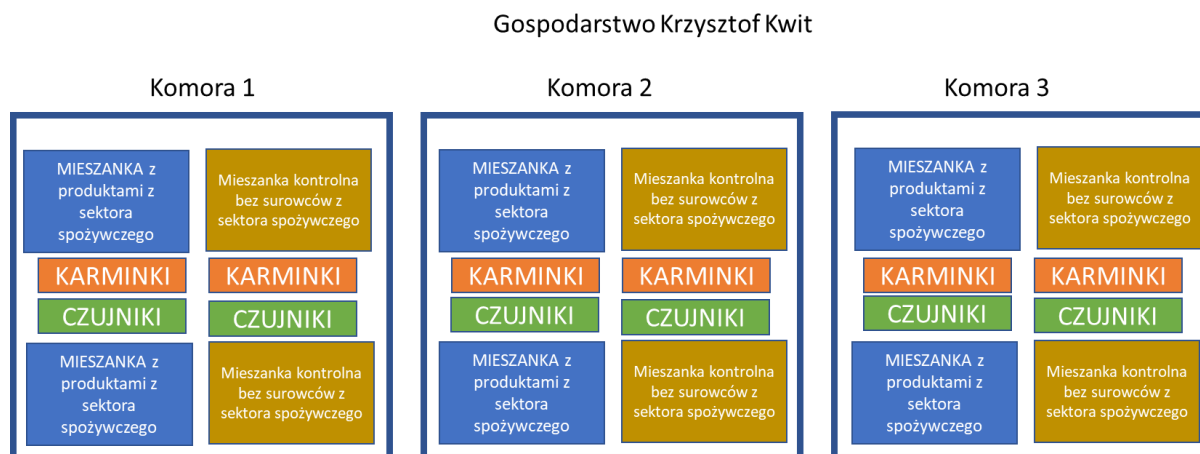


Grafika 1. Schemat doświadczenia w Gospodarstwie Rolnym Sławomir Czech.

Źródło: Opracowanie własne.



W Gospodarstwie Rolnym Krzysztof Kwit produkcja podzielona była na 3 komory po 4 kojce każda (Grafika 2). W każdej z komór umieszczono czujniki na karmnikach zapisujące zbliżanie się świń. Każda z komór posiada osobną wentylację. Taki podział komór pozwalał na precyzyjne dozowanie różnych mieszanek paszowych wraz z testowaniem ich wpływu na rezultaty.



Grafika 2. Schemat doświadczenia w Gospodarstwie Rolnym Krzysztof Kwit.

Źródło: Opracowanie własne

Obydwa gospodarstwa posiadały system żywienia na sucho oraz produkcję w zakresie utrzymanie tuczników na rusztach wraz z system aktywnej wentylacji. Dzięki temu można było prowadzić sprawne i nowoczesne badania w zakresie produkcji trzody chlewnej i modyfikacji wyników ekonomicznych i produkcyjnych za pomocą dodatków fermentowanych oraz produktów ubocznych z sektora rolno-spożywczego.

Jednym z kluczowych elementów innowacji projektowej Fermenfeed jest zagospodarowanie produktów ubocznych pochodzących z przemysłu rolno-spożywczego, które nie nadają się do bezpośredniego spożycia przez ludzi. Mowa tu o takich surowcach jak przeterminowane pieczywo, chipsy czy wafle. Choć formalnie nie spełniają one norm jakościowych dla konsumpcji ludzkiej, nadal zawierają cenne składniki pokarmowe – węglowodany, białka, błonnik, tłuszcze oraz mikroelementy – które można efektywnie wykorzystać w żywieniu zwierząt po odpowiednim przygotowaniu.

Prowadzenie badań nad żywieniem trzody chlewnej z wykorzystaniem pasz zawierających dodatki fermentowane i produkty uboczne w warunkach odpowiadających dominującemu w Polsce modelowi produkcji – czyli w chlewniach z rusztami i technologią żywienia na sucho – ma kluczowe znaczenie dla transferu wyników do praktyki. Zdecydowana większość nowych inwestycji - gospodarstw utrzymujących trzodę chlewną w Polsce stosuje



systemy żywienia na sucho w połączeniu z utrzymaniem świń w systemie rusztowym i produkcją gnojowicy. Dotyczy to zarówno dużych ferm towarowych, jak i średnich gospodarstw rodzinnych. W związku z tym wybór takich właśnie warunków jako środowiska do przeprowadzenia doświadczeń w projekcie Fermenfeed był działaniem celowym i zapewniającym wysoki potencjał wdrożeniowy.

Żywienie na sucho, polegające na podawaniu sypkiej mieszanki paszowej bez dodatku wody, jest nadal najczęściej stosowaną metodą w polskich chlewniach – głównie ze względu na niższe koszty operacyjne oraz dopasowanie do infrastruktury większości paszarni. Testowanie innowacyjnych fermentowanych komponentów paszowych oraz produktów ubocznych z sektora rolno-spożywczego w takim systemie pozwala uzyskać dane porównywalne z rzeczywistą sytuacją gospodarczą. Oznacza to, że opracowane rozwiązania można skalować bez konieczności dostosowywania technologii produkcyjnej w gospodarstwach. Efekty fermentacji – takie jak poprawa strawności, lepsza konwersja paszy, ograniczenie emisji amoniaku i lepsze parametry gnojowicy – są w tym układzie bezpośrednio mierzalne i przekładalne na praktykę.

Z tego względu wybór gospodarstw referencyjnych w projekcie Fermenfeed – wyposażonych w ruszta i systemy zadawania suchej paszy – był uzasadniony z punktu widzenia zootechnicznego, środowiskowego i ekonomicznego. Takie środowisko pozwala na szybkie przejście od badań do zastosowania komercyjnego, co istotnie zwiększa szansę, że innowacja nie zakończy się na etapie pilotażowym, ale znajdzie zastosowanie w szerokiej skali poprzez współpracę z doradcami żywieniowymi i producentami pasz.

Założeniem projektu Fermenfeed było wykorzystanie produktów fermentowanych oraz produktów ubocznych sektora rolno-spożywczego do opracowania nowej, ulepszonej mieszanki paszowej. Kluczowym elementem operacji była potrzeba ograniczenia marnowania cennych surowców spożywczych, które – mimo wysokiej wartości odżywczej – są wciąż zbyt rzadko wykorzystywane w żywieniu zwierząt gospodarskich. W obecnym modelu gospodarowania znacząca część tego typu produktów trafia do biogazowni, kompostowni lub jest utylizowana jako odpad organiczny, co stanowi nie tylko stratę gospodarczą, ale także obciążenie środowiskowe.

Jak wynika z danych FAO oraz analiz Komisji Europejskiej, produkty uboczne stanowią znaczący odsetek surowców rolnych przetwarzanych przez przemysł spożywczy. Znaczna część z nich wykazuje wysoką zawartość energii metabolicznej, białka lub włókna pokarmowego, a jedynym ograniczeniem ich wykorzystania paszowego są cechy



fizykochemiczne: wilgotność, aktywność mikrobiologiczna, niestabilność lub trudności w przechowywaniu. To właśnie te ograniczenia projekt Fermenfeed postanowił przezwyciężyć – poprzez zastosowanie fermentacji jako technologii umożliwiającej stabilizację, konserwację i wykorzystanie ubocznych substratów paszowych.

Wdrożenie takiej innowacji w sektorze paszowym mogłoby potencjalnie przyczynić się do znaczącej redukcji strat w łańcuchu żywnościowym. W obliczu rosnących kosztów białkowych surowców paszowych (zwłaszcza importowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej GMO), rozwój lokalnych źródeł paszowych staje się koniecznością ekonomiczną i środowiskową. Zamiast kierować cenne substraty do produkcji energii, ich zagospodarowanie w żywieniu trzody chlewnej może przynieść konkretne korzyści: obniżenie kosztów żywienia, zwiększenie samowystarczalności gospodarstw, redukcję emisji GHG związanych z rozkładem materii organicznej na składowiskach oraz zmniejszenie presji na powierzchnię upraw przeznaczoną na pasze.

Otrzymane w wyniku fermentacji komponenty paszowe mogły być następnie wykorzystane jako składnik białkowy, energetyczny lub funkcjonalny w mieszankach dla tuczników. Ich zastosowanie miało na celu nie tylko zredukowanie ilości śruty sojowej i zbóż w mieszance, ale także poprawę efektywności trawienia, ograniczenie strat pokarmowych oraz pozytywny wpływ na kondycję zwierząt. Projekt umożliwił jednocześnie przeprowadzenie oceny empirycznej wartości użytkowej tych komponentów oraz ich wpływu na parametry produkcyjne.

Takie podejście wpisuje się w założenia Europejskiego Zielonego Ładu oraz strategii „Od pola do stołu”, które zakładają bardziej efektywne wykorzystanie zasobów w produkcji rolno-spożywczej. Wykorzystanie produktów ubocznych w sposób wartościowy – zamiast ich spalania, fermentacji bezzwrotnej czy kompostowania – stanowi wyraz nowoczesnego i odpowiedzialnego podejścia do gospodarki żywnościowej. Projekt Fermenfeed wykazał, że możliwe jest stworzenie paszy o wysokiej jakości, której komponenty pochodzą z surowców niespożywczych, lecz pełnowartościowych pod względem odżywczym.

Zastosowanie fermentacji produktów ubocznych w tym kontekście nie tylko poprawia parametry technologiczne i zootechniczne paszy, ale również ogranicza emisję metanu i dwutlenku węgla, zmniejsza ilość odpadów biodegradowalnych oraz wzmacnia lokalne łańcuchy dostaw. Projekt Fermenfeed wychodził z założenia, że w gospodarce o obiegu zamkniętym nadrzędnym celem powinno być zatrzymanie wartości w łańcuchu żywieniowym, a nie jej energetyczne rozproszenie. Wykorzystanie produktów ubocznych w żywieniu trzody,



zamiast w biogazowniach, stanowi nie tylko decyzję racjonalną ekonomicznie, ale też krok w stronę niezależności białkowej i zrównoważonego rozwoju produkcji zwierzęcej.



### 2.3 Monitoring tuczników

Jednym z kluczowych obszarów badawczych w projekcie Fermenfeed było wdrożenie nowoczesnych technologii do monitorowania zachowań żywieniowych oraz aktywności trzody chlewnej, co stanowiło istotne uzupełnienie analizy efektywności innowacyjnych mieszanek paszowych. Celem było nie tylko określenie wpływu reformulowanych pasz na wyniki produkcyjne, ale również zbadanie, jak modyfikacje żywienia oddziałują na dobrostan zwierząt oraz organizację procesu żywienia w warunkach gospodarstw rolnych.

W ramach projektu zakupiono i wdrożono 12 zestawów monitorujących (Fotografia 1, 2 i 3), składających się z:

- kamer termowizyjnych;
- stacji RFID (Radio-Frequency Identification);
- czujników RFID.



Fotografia 1. Kamera zamontowana na karmniku.



Fotografia 2. Wnętrze karmnika z czujnikiem RFID.



Fotografia 3. Kamera do monitoringu zwierząt.



System ten pozwalał na precyzyjne śledzenie częstotliwości i czasu podejścia tuczników do karmnika, dzięki zastosowaniu kolczyków RFID noszonych przez zwierzęta. Każde zbliżenie się świni do karmnika było automatycznie rejestrowane, co umożliwiło gromadzenie danych o wzorcach żywieniowych poszczególnych osobników oraz całych grup. Dodatkowo, kamery wizyjne zainstalowane przy karmnikach dostarczały danych wizualnych, pozwalając na analizę aktywności behawioralnej zwierząt, w tym monitorowanie czasu przebywania przy karmniku, intensywności ruchu oraz potencjalnych zmian w zachowaniu w zależności od rodzaju stosowanej mieszanki paszowej. Z kolei kamery termowizyjne umożliwiały bieżącą ocenę stanu zdrowia poprzez detekcję osobników z podwyższoną temperaturą ciała, co mogło wskazywać na wczesne symptomy chorób lub stresu cieplnego. W odróżnieniu od tradycyjnego podejścia, projekt Fermenfeed skupił się na integracji monitoringu behawioralnego z oceną efektywności pasz, co stanowiło nowatorskie podejście w praktyce gospodarstw średniej wielkości. Systemy te pozwalają na:

- identyfikację zmian w pobieraniu paszy w zależności od składu mieszanki,
- analizę wpływu reformulacji na aktywność zwierząt,
- optymalizację organizacji żywienia na poziomie indywidualnym i grupowym.

W trakcie monitoringu zachowań zwierząt z wykorzystaniem systemu RFID oraz kamer zaobserwowano różnorodne wzorce podejść do karmników, które mogą wskazywać na potencjalny wpływ składu mieszanek paszowych na aktywność żywieniową trzody chlewnej. Rejestracja danych dotyczących częstotliwości i czasu pobierania paszy pozwoliła na identyfikację zróżnicowanych zachowań w obrębie grup badawczych. Uzyskane informacje stanowią cenny materiał do dalszych analiz, które w przyszłości mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia zależności pomiędzy żywieniem a aktywnością zwierząt. System RFID okazał się skutecznym narzędziem umożliwiającym obserwację indywidualnych wzorców zachowań, co otwiera perspektywy dla ewentualnej optymalizacji strategii żywieniowych oraz rozwoju rozwiązań w kierunku precyzyjnego zarządzania żywieniem w gospodarstwach rolnych.

Technologia RFID to system automatycznej identyfikacji obiektów, zwierząt lub osób za pomocą fal radiowych. Podstawowymi elementami systemu RFID są znaczniki (tagi), które zawierają zakodowane informacje, oraz czytniki (stacje RFID), które odbierają dane z tagów w momencie ich zbliżenia się do pola odczytu. W zależności od rodzaju, tagi mogą być pasywne (bez własnego zasilania, aktywowane przez fale czytnika) lub aktywne (wyposażone w baterię, o większym zasięgu działania).



W rolnictwie technologia RFID znajduje coraz szersze zastosowanie, wpisując się w rozwój rolnictwa precyzyjnego oraz automatyzacji procesów produkcyjnych. Jednym z głównych obszarów wykorzystania RFID jest hodowla zwierząt, gdzie systemy te służą do identyfikacji i monitorowania pojedynczych osobników w stadzie. Przykładem może być oznaczanie trzody chlewnej, bydła czy owiec za pomocą kolczyków RFID, które umożliwiają szybkie i bezkontaktowe odczytywanie informacji o zwierzęciu, takich jak numer identyfikacyjny, dane zdrowotne czy historia żywienia.

Technologia ta pozwala na automatyczne rejestrowanie aktywności zwierząt, m.in. częstotliwości podejść do karmników, punktów pojenia, bramek selekcyjnych czy urządzeń udojowych. W efekcie rolnicy zyskują dostęp do szczegółowych danych o zachowaniach i stanie zdrowia zwierząt, co umożliwia szybsze reagowanie na nieprawidłowości, optymalizację żywienia oraz poprawę dobrostanu.

RFID jest także wykorzystywany w zarządzaniu łańcuchem dostaw w produkcji roślinnej i magazynowaniu. Etykiety RFID umieszczane na paletach, workach czy pojemnikach pozwalają na automatyczne śledzenie partii produktów, kontrolę stanów magazynowych oraz usprawnienie logistyki. W gospodarstwach rolnych RFID wspiera również identyfikację maszyn i narzędzi, minimalizując ryzyko zagubienia sprzętu lub nieautoryzowanego użycia.

Zaletą technologii RFID w rolnictwie jest jej wytrzymałość i niezawodność w trudnych warunkach środowiskowych – tagi są odporne na wilgoć, kurz czy zmienne temperatury, co czyni je idealnym rozwiązaniem dla zastosowań terenowych i inwentarskich. Ponadto, możliwość integracji RFID z innymi systemami, takimi jak kamery, czujniki środowiskowe czy oprogramowanie do zarządzania gospodarstwem, otwiera drogę do tworzenia kompleksowych systemów monitoringu i automatyzacji.

Środowisko chlewni, w którym prowadzono monitoring w ramach projektu, okazało się wyjątkowo wymagające dla zastosowanej aparatury pomiarowej. Wysokie stężenie amoniaku ( $\text{NH}_3$ ), charakterystyczne dla budynków inwentarskich, w połączeniu z podwyższoną wilgotnością powietrza, stworzyło warunki silnie agresywne dla zaawansowanej elektroniki. Amoniak, jako gaz korozyjny, przy dłuższej ekspozycji negatywnie wpływał na elementy metalowe i układy elektroniczne, co w niektórych przypadkach prowadziło do zwarcia oraz awarii czujników i systemów rejestrujących. Dodatkowo, wysoka wilgotność sprzyjała kondensacji pary wodnej, co zwiększało ryzyko uszkodzeń komponentów elektronicznych. Pomimo zastosowania sprzętu dostosowanego do pracy w trudnych warunkach, konieczne



było regularne serwisowanie urządzeń oraz podejmowanie działań zabezpieczających, takich jak osłony ochronne czy przerwy w pracy systemu po zabiegach mycia i dezynfekcji pomieszczeń. Doświadczenia te potwierdziły, że stabilne działanie zaawansowanej aparatury w chlewni wymaga uwzględnienia specyfiki tego środowiska i wdrożenia dodatkowych środków ochrony.

W ramach realizowanej innowacji udało się skutecznie połączyć dwa kluczowe obszary – doświadczenia paszowe oraz nowoczesne rozwiązania informatyczne wspierające monitoring procesów żywieniowych i zachowań trzody chlewnej. Integracja technologii, takich jak systemy RFID, kamery wizyjne i termowizyjne z badaniami nad reformulowanymi mieszankami paszowymi, pozwoliła na uzyskanie kompleksowego spojrzenia na wpływ żywienia nie tylko na wyniki produkcyjne, ale również na organizację pracy i dobrostan zwierząt. Mimo osiągniętych rezultatów, projekt pokazał, że jest to dopiero początek drogi w kierunku pełnej automatyzacji i precyzyjnego zarządzania żywieniem w gospodarstwach rolnych. Szczególnie istotnym wyzwaniem pozostaje kwestia stabilności systemów informatycznych w trudnych warunkach środowiskowych chlewni. Wysoka wilgotność, obecność amoniaku oraz specyfika pracy w budynkach inwentarskich ujawniły ograniczenia techniczne stosowanych urządzeń. W związku z tym dalsze prace rozwojowe powinny koncentrować się na zwiększeniu odporności sprzętu oraz udoskonaleniu metod zbierania i przetwarzania danych, aby w przyszłości w pełni wykorzystać potencjał integracji technologii IT z innowacjami paszowymi.



## 2.4 Odniesienie ekonomiczne i potrzeby ekonomiczne

W ramach projektu Fermenfeed szczególny nacisk położono na analizę wpływu zastąpienia tradycyjnych komponentów paszowych – takich jak zboża i poekstrakcyjna śruta sojowa – odpowiednio dobranymi ilościami produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego oraz fermentowanej śruty rzepakowej i sojowej. Kluczowym celem było określenie, jaki poziom udziału tych alternatywnych komponentów w mieszankach paszowych zapewnia optymalne wyniki produkcyjne, przy jednoczesnym zachowaniu opłacalności ekonomicznej i bezpieczeństwa żywieniowego.

Zespół projektowy skoncentrował się na opracowaniu modelu reformulacji składu paszy, w którym stopniowo zwiększano udział komponentów fermentowanych i ubocznych, analizując ich wpływ na kluczowe wskaźniki produkcji trzody chlewnej. Badania obejmowały zarówno minimalne zastąpienie (na poziomie 10%), jak i warianty, w których komponenty alternatywne stanowiły 40% składu mieszanki. Celem było wypracowanie balansu pomiędzy maksymalizacją wykorzystania tańszych surowców, a utrzymaniem lub poprawą wyników produkcyjnych.

Pierwszym etapem analiz było określenie, w jakim zakresie fermentowana śruta rzepakowa oraz produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego (m.in. chipsy, odpady piekarnicze) mogą zastąpić zboża i poekstrakcyjną śrutę sojową, bez negatywnego wpływu na przyrosty masy ciała, zdrowotność zwierząt oraz współczynnik konwersji paszy (FCR). Testy wykazały, że umiarkowany udział tych komponentów – na poziomie 20-30% – pozwalał na uzyskanie najlepszych rezultatów produkcyjnych, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów mieszanki.

Kolejnym kluczowym wskaźnikiem była obserwacja zmian w FCR w zależności od stopnia reformulacji. Zespół projektowy zaobserwował, że wprowadzenie komponentów fermentowanych w odpowiednich proporcjach nie tylko poprawiało FCR, ale w niektórych również zwiększało tempo przyrostu dobowego zwierząt. To kolejny obszar który powinien być w dalszych przyszłości pogłębiony i poddany ponownym obserwacją.

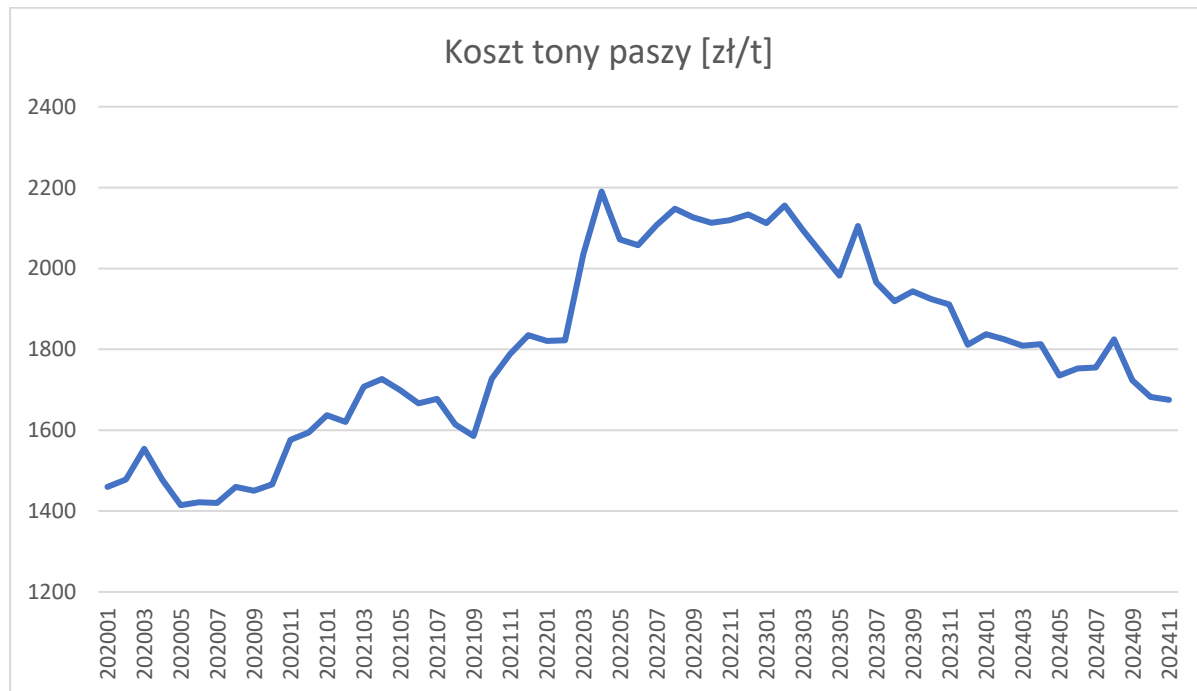
Współczesna produkcja trzody chlewnej zmierza w kierunku maksymalizacji efektywności poprzez skracanie cykli produkcyjnych oraz zwiększenie dynamiki przyrostów masy ciała. Coraz większe znaczenie zyskują rozwiązania umożliwiające szybkie osiągnięcie założonych parametrów tuczu, co jest odpowiedzią na zmienność rynków, presję kosztową oraz potrzebę elastycznego zarządzania stadem. Trend ten jest szczególnie widoczny w



gospodarstwach funkcjonujących w cyklu otwartym, które bazują na zakupie warchlaków z rynku i są w większym stopniu uzależnione od optymalizacji każdego etapu produkcji.

W tym kontekście zastosowanie mieszanek paszowych opartych na produktach ubocznych przemysłu spożywczego może stanowić istotne wsparcie w przyspieszeniu tempa tuczu. Takie komponenty paszowe, dzięki zwiększonej strawności i lepszej dostępności składników odżywczych, mogą wspierać intensyfikację przyrostów w kluczowych fazach produkcji. Skrócenie czasu potrzebnego do osiągnięcia masy ubojowej przekłada się bezpośrednio na obniżenie kosztów jednostkowych oraz zwiększenie rotacji w budynkach chlewni, co jest szczególnie istotne w warunkach otwartego cyklu produkcyjnego, gdzie marża w dużej mierze zależy od efektywności wykorzystania paszy i czasu trwania tuczu.

Dzięki odpowiednio dobranym reformulacjom mieszanek, gospodarstwa mogą nie tylko ograniczyć koszty surowcowe, ale również wpłynąć na skrócenie cyklu produkcyjnego, co zwiększa ich konkurencyjność i odporność na wahania cen warchlaków oraz pasz na rynku. W celu nadania analizom wymiaru praktycznego oraz zapewnienia ich rzetelności, w projekcie zdecydowano się oprzeć kalkulacje kosztów na oficjalnych danych dotyczących cen standardowych mieszanek paszowych, publikowanych przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW) (Wykres 1.).



Wykres 1. Indeks cenowy paszy dla trzody chlewnej w latach 2020-2024.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie MRiRW



Wybór tego źródła wynikał z jego wiarygodności oraz regularności aktualizacji, co umożliwiło dokładne porównanie kosztów opracowanych mieszanek z udziałem fermentowanych i ubocznych surowców w odniesieniu do warunków rynkowych.

Analizując dostępne bazy danych, rozważano również alternatywne źródła informacji, takie jak raporty IERiGŻ, portale branżowe czy bezpośrednie dane od producentów pasz. Jednakże ze względu na brak jednolitych standardów i znaczne rozbieżności w prezentowanych cenach, to właśnie dane MRiRW zostały przyjęte jako główny punkt odniesienia w ocenie ekonomicznej. Publikowane w cyklu tygodniowym, na podstawie rzeczywistych zgłoszeń rynkowych, zapewniały one stabilną i powtarzalną bazę do prowadzenia analiz porównawczych.

W oparciu o te dane opracowano autorski wskaźnik cenowy, który służył jako narzędzie do monitorowania opłacalności wdrażanych innowacji paszowych. Uwzględniał on zarówno wahania cen surowców (w tym sezonowe zmienności cen zbóż i komponentów białkowych), jak i efekty wynikające z zastosowania nowych technologii oraz modyfikacji składu mieszanek. Dzięki temu możliwe było bieżące śledzenie wpływu reformulacji na koszty produkcji, co stanowiło realne wsparcie dla producentów trzody chlewnej i doradców żywieniowych w podejmowaniu decyzji opartych na aktualnych uwarunkowaniach rynkowych.

Jednym z kluczowych aspektów tła gospodarczego realizacji projektu Fermenfeed był moment jego przygotowania i uruchomienia – okres dynamicznych zmian na rynku surowców paszowych w latach 2022–2023. W tym czasie producenci trzody chlewnej w Polsce mierzyli się z narastającymi kosztami żywienia, wynikającymi zarówno z wysokich cen zbóż, jak i rosnących cen importowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej. Dodatkowym wyzwaniem była ograniczona dostępność alternatywnych surowców białkowych oraz brak sprawdzonych rozwiązań umożliwiających ich efektywne wykorzystanie w systemach żywienia na sucho. W tych warunkach projekt Fermenfeed idealnie wpisał się w pilną potrzebę opracowania innowacji pozwalających na ograniczenie kosztów paszowych poprzez wykorzystanie fermentowanych produktów ubocznych przemysłu spożywczego.

Gospodarstwa rolne Sławomir Czech oraz Krzysztof Kwit, w których prowadzono badania w ramach projektu, od lat funkcjonują w realiach wysokiej presji kosztowej, charakterystycznej dla rozdrobnionego sektora trzody chlewnej w Polsce. To właśnie w takich gospodarstwach szczególnie odczuwalne jest uzależnienie od drogich komponentów paszowych, których ceny w okresie realizacji projektu osiągały poziomy trudne do



zaakceptowania w długofalowej perspektywie produkcyjnej. Warto podkreślić, że produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego – mimo że traktowane są jako „odpady” – na rynku paszowym indeksowane są ceną pszenicy, co powoduje, że ich cena często przewyższa cenę zbóż o około 250 zł za tonę. Dodatkowo, fermentowane śruty rzepakowe i sojowe są zazwyczaj droższe o około 1000 zł/t w porównaniu do klasycznych śrut poekstrakcyjnych.

W tej sytuacji celem projektu Fermenfeed było zweryfikowanie, czy mimo wyższych cen jednostkowych komponentów fermentowanych, ich zastosowanie może przynieść oszczędności wynikające z poprawy efektywności żywienia, lepszej strawności oraz możliwości ograniczenia udziału tradycyjnych, drogich zbóż i poekstrakcyjnej śruty sojowej. Już na etapie planowania operacji było jasne, że przyszłość ekonomiczna produkcji trzody chlewnej będzie zależała od umiejętności zagospodarowania alternatywnych surowców i wdrażania technologii zwiększających wykorzystanie lokalnych zasobów.

W projekcie Fermenfeed przyjęto założenie, że produkty uboczne – pomimo ich pozornie wysokiej ceny – mogą stać się elementem opłacalnej strategii żywieniowej, jeśli zostaną odpowiednio przygotowane technologicznie (poprzez fermentację) i wkomponowane w mieszanki zoptymalizowane pod kątem systemu żywienia na sucho. Badania prowadzone w gospodarstwach wykazały, że dzięki poprawie parametrów strawności oraz dodatkowemu efektowi stabilizacji mikrobiologicznej, możliwe jest ograniczenie zużycia paszy na jednostkę produkcji, co kompensuje wyższy koszt zakupu komponentów.

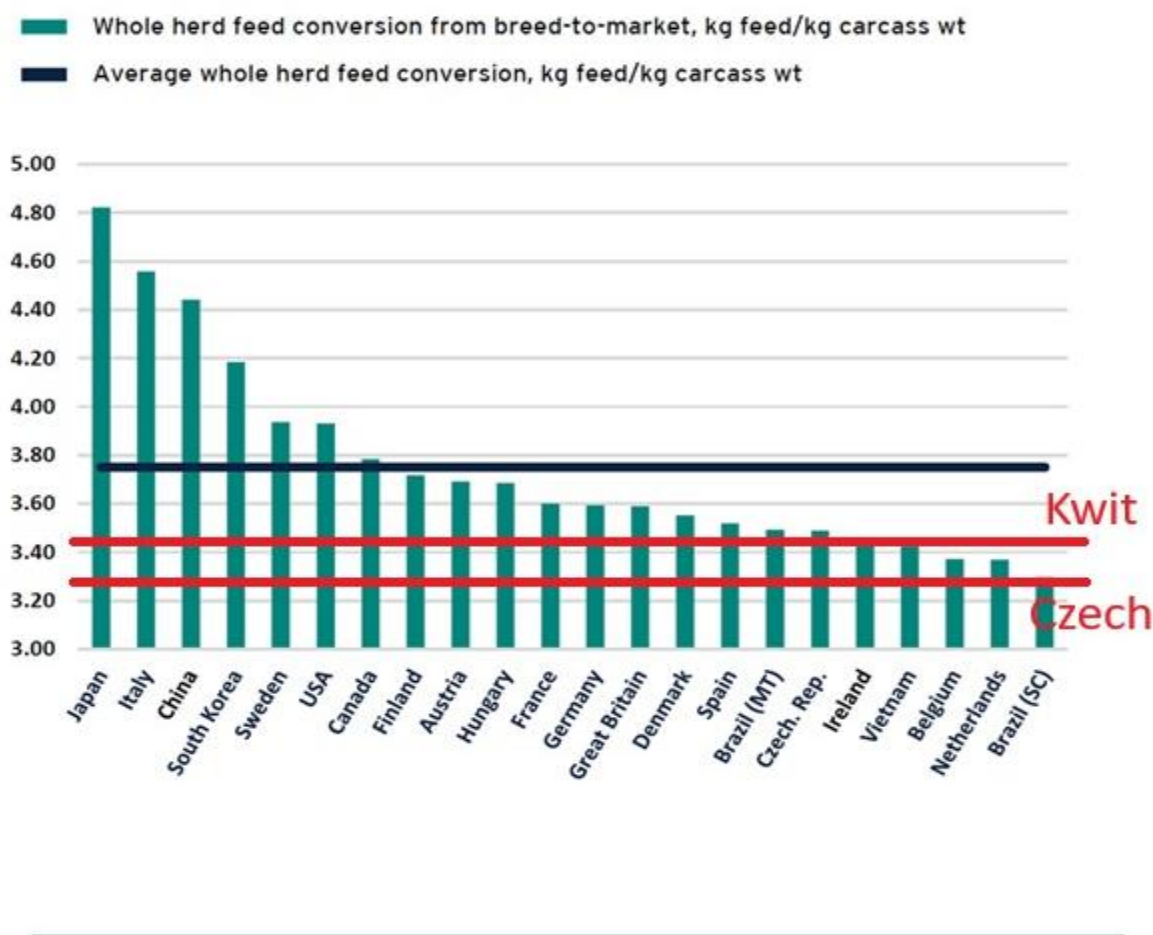
Dodatkowo, w trakcie realizacji projektu utrzymywała się niestabilność cenowa na rynku surowców, co pokazało, jak istotna jest elastyczność w podejściu do komponowania mieszanek paszowych. Wykorzystanie fermentowanych produktów ubocznych, jako surowców częściowo niezależnych od globalnych wahań cen zbóż i poekstrakcyjnej śruty sojowej, okazało się skuteczną strategią dywersyfikacji źródeł paszowych i ograniczenia ryzyka cenowego.

Jednym z wniosków płynących z projektu było potwierdzenie, że w warunkach rosnących cen pasz, kluczowe znaczenie ma dostęp do technologii umożliwiających wykorzystanie alternatywnych surowców – nawet jeśli ich cena nominalna jest wyższa. Wartość tych rozwiązań ujawnia się bowiem w obszarze wydajności produkcyjnej, lepszego wykorzystania składników pokarmowych oraz zmniejszenia udziału najdroższych komponentów w końcowej mieszance.



Bardzo istotnym aspektem, który należy uwzględnić przy ocenie wyników projektu Fermenfeed, jest wysoki poziom wyników uzyskanych w grupach kontrolnych podczas prowadzonych badań. Średnie wartości współczynnika konwersji paszy (FCR) (Grafika 3.) w tych grupach były na tyle dobre, że porównywalne z wynikami osiąganymi w czołowych krajach Unii Europejskiej specjalizujących się w produkcji trzody chlewnej, takich jak Belgia, Holandia, Dania czy Hiszpania. Co więcej, poziom FCR był zbliżony także do wyników notowanych w Brazylii, gdzie stosowane są intensywne metody chowu, w tym dopuszczenie promotorów wzrostu, hormonów oraz antybiotyków, które istotnie wpływają na poprawę efektywności przyrostów i wykorzystania paszy.

Figure 3. Whole herd (breed-to-market) feed conversion—2020.



References:

1. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service (FAS). Livestock and Poultry: World Markets and Trade. April 8, 2022.

Grafika 3. Benchmarkowanie wyników gospodarstw rolnych na świecie.

Źródło: Benchmarking the profitability of raising pigs: Country comparisons and factors contributing to their relative advantage or disadvantage in a global market – 2020. Dr. Derald Holtkamp, MS, DVM, Professor of Veterinary Diagnostic and Production Animal Medicine, Iowa State Univ. (USA)



W ramach projektu Fermenfeed, tucze prowadzono według jednolitego schematu – od masy ciała przy wstawieniu około 25 kg do wagi końcowej bliskiej 120 kg. Choć w praktyce zdarzały się niewielkie odchylenia od założeń masy ciała, w szczególności w związku z restrykcjami związanymi z obrotem zwierzętami w związku z Afrykańskim Pomorem Świń, całość doświadczeń została przeprowadzona w sposób umożliwiający rzetelne porównanie wyników pomiędzy grupami. Wszystkie zwierzęta były żywione w tym samym systemie żywienia na sucho, pochodziły z tej samej linii genetycznej, a gospodarstwa charakteryzowały się podobnymi warunkami środowiskowymi i technologicznymi. Dodatkowo, obydwa gospodarstwa produkowały w cyklu zamkniętym na bazie loch posiadanych we własnych gospodarstwach.

Na szczególne podkreślenie zasługuje wysoka powtarzalność rezultatów w grupach kontrolnych. Średni współczynnik FCR wyniósł odpowiednio 2,76 kg/kg w gospodarstwie Krzysztofa Kwita oraz 2,66 kg/kg w gospodarstwie Sławomira Czecha. Tak niewielkie różnice między gospodarstwami wskazują na stabilność i dobrą organizację procesu produkcyjnego, co stanowiło solidny punkt odniesienia do oceny skuteczności wdrażanych innowacji w grupach eksperymentalnych.

.



### 3. Wyniki badań – innowacja produktowa

Już na wczesnym etapie realizacji projektu Fermenfeed z satysfakcją zaobserwowano, że wprowadzane mieszanki paszowe oparte na fermentowanych produktach ubocznych zaczęły przynosić pozytywne efekty znacznie szybciej, niż pierwotnie zakładano. Początkowe testy reformulacji paszy, w których jedynie 10% tradycyjnych komponentów zostało zastąpionych przez innowacyjne surowce fermentowane, wykazały zauważalną poprawę zarówno w zakresie współczynnika konwersji paszy (FCR), jak i tempa przyrostów tuczników.

Oczekiwano, że pozytywne rezultaty będą widoczne dopiero przy większym udziale komponentów alternatywnych, jednak już minimalny poziom zastąpienia pozwolił na zaobserwowanie efektów, takich jak lepsze wykorzystanie paszy, stabilniejsze przyrosty masy ciała oraz poprawa ogólnej kondycji zwierząt. Wyniki te potwierdziły wysoką wartość użytkową fermentowanych produktów ubocznych oraz zasadność ich wdrażania nawet w ograniczonym zakresie, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia praktyki rolniczej.

W przeciwieństwie do niektórych doświadczeń z innowacjami żywieniowymi, gdzie przekroczenie określonego progu udziału komponentów może prowadzić do problemów ze smakowitością lub pobraniem paszy, w projekcie Fermenfeed nie odnotowano negatywnych reakcji zwierząt na nowe mieszanki przy zastosowaniu umiarkowanego udziału alternatywnych komponentów. Wręcz przeciwnie – już niewielkie włączenie fermentowanych komponentów i produktów ubocznych wykazało działanie wspierające trawienie i poprawiające efektywność żywienia.

Te obserwacje pozwoliły na elastyczne podejście do dalszych etapów badań, koncentrujące się na poszukiwaniu optymalnego poziomu zastępowania, który zapewniałby maksymalne korzyści ekonomiczne i zootechniczne, bez ryzyka obniżenia pobrania paszy. W toku doświadczeń potwierdzono, że stopniowe zwiększanie udziału fermentowanych produktów ubocznych może przynosić dalsze korzyści, jednak już podstawowy poziom 10% stanowił skuteczne narzędzie poprawy wskaźników produkcyjnych.

Wnioski płynące z tej części operacji wskazują, że wdrażanie innowacji paszowych nie musi wiązać się z radykalnymi zmianami w żywieniu, aby przynosiło wymierne efekty. Projekt Fermenfeed udowodnił, że nawet częściowe zastąpienie kosztownych komponentów paszowych surowcami ubocznymi może prowadzić do zauważalnych oszczędności i poprawy efektywności produkcji, co znacząco zwiększa potencjał wdrożeniowy opracowanych rozwiązań w codziennej praktyce gospodarstw rolnych.



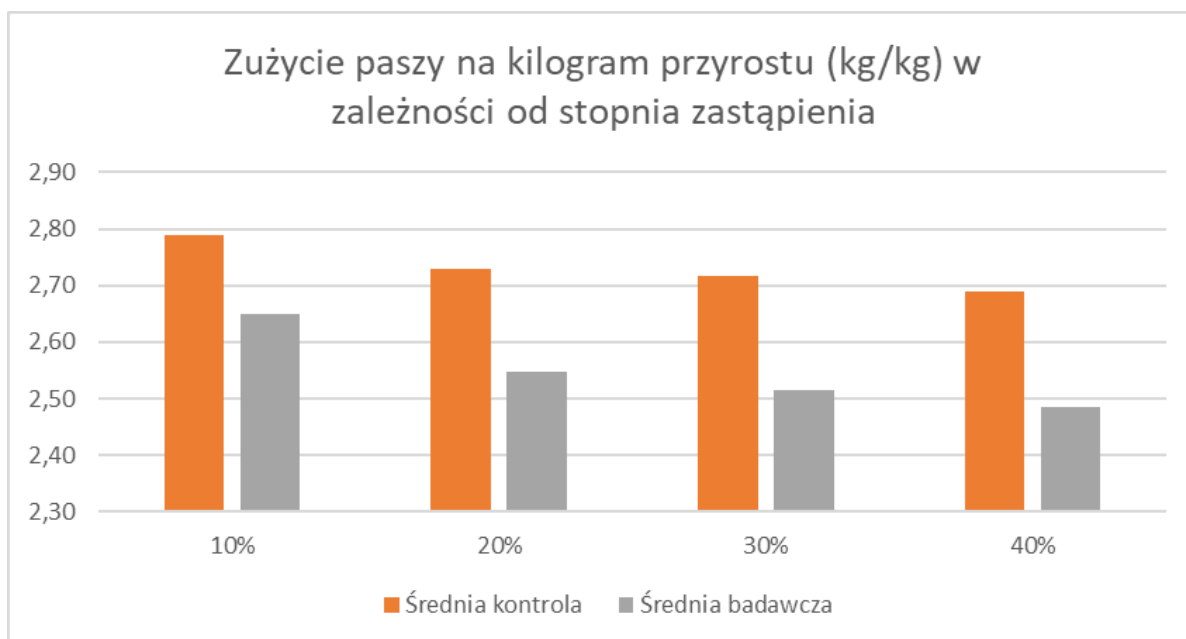
### 3.1 Zbiorcze podsumowanie grup

Już na początku realizacji projektu Fermenfeed uwidoczniły się wyraźne różnice pomiędzy grupami kontrolnymi a badawczymi, szczególnie w zakresie efektywności konwersji paszy oraz tempa przyrostu masy ciała tuczników. Wprowadzenie do mieszanek paszowych komponentów opartych na produktach ubocznych przemysłu rolno-spożywczego oraz fermentowanych śrutach rzepakowych i sojowych przyniosło pozytywne efekty, widoczne nawet przy niewielkim udziale innowacyjnych surowców. Różnice te sugerują, że zastosowanie odpowiednio przygotowanych surowców alternatywnych może korzystnie wpływać na metabolizm zwierząt oraz lepsze wykorzystanie składników pokarmowych.

Hipotezując, można przypuszczać, że korzystne wyniki są efektem synergii kilku czynników: wyższej strawności fermentowanych śrut, obecności łatwo przyswajalnych węglowodanów i tłuszczów w produktach ubocznych, a także możliwego działania bioaktywnego niektórych komponentów pochodzących z przemysłu piekarniczego czy cukierniczego. Dodatkowo, zmodyfikowany profil paszy mógł wpłynąć na poprawę apetytu i stabilność pobrania pokarmu, co przełożyło się na bardziej dynamiczne przyrosty. Wstępne obserwacje potwierdziły, że innowacyjne podejście do reformulacji paszy ma potencjał nie tylko ekonomiczny, ale również zootechniczny, co będzie szczegółowo omówione w dalszej części raportu.

W ramach projektu Fermenfeed przeprowadzono szczegółową analizę wpływu stopniowej reformulacji mieszanek paszowych, polegającej na zastępowaniu tradycyjnych komponentów produktami ubocznymi przemysłu rolno-spożywczego oraz fermentowanymi śrutami, na efektywność żywienia trzody chlewnej. Badaniom poddano cztery warianty reformulacji mieszanek, w których udział innowacyjnych surowców wynosił odpowiednio 10%, 20%, 30% i 40%.

Wyniki wykazały wyraźną tendencję spadkową w zakresie zużycia paszy na kilogram przyrostu masy ciała w grupach badawczych w porównaniu do grup kontrolnych (Wykres 2.).



Wykres 2. Wskaźnik konwersji paszy w wybranych grupach mieszanek.

Źródło: Opracowanie własne

Poniżej przedstawiono omówienie różnic w zakresie współczynnika konwersji paszy (FCR) dla poszczególnych poziomów zastąpienia (Tabela 1.).

### **Reformulacja 10%**

W przypadku 10% udziału innowacyjnych komponentów, FCR w grupie kontrolnej wyniósł 2,79 kg/kg, podczas gdy w grupie badawczej spadł do 2,65 kg/kg. Oznacza to poprawę o około 5%. Już na tym etapie zauważalna była pozytywna reakcja zwierząt na zmodyfikowaną mieszankę – niewielka zmiana w składzie paszy przyniosła wyraźną poprawę efektywności żywienia.

### **Reformulacja 20%**

Przy zwiększeniu udziału innowacyjnych komponentów do 20%, grupa kontrolna uzyskała FCR na poziomie 2,73 kg/kg, natomiast grupa badawcza osiągnęła 2,55 kg/kg, co oznacza poprawę o blisko 6,6%. Wynik ten sugeruje dalsze wzmocnienie efektywności wykorzystania paszy dzięki lepszemu bilansowi składników odżywczych.

### **Reformulacja 30%**

Przy 30% zastąpienia, FCR w grupie kontrolnej wyniósł 2,72 kg/kg, podczas gdy w grupie badawczej spadł do 2,51 kg/kg, co daje poprawę o około 7,7%. Wynik ten potwierdza



skuteczność mieszanek opartych w jednej trzeciej na produktach ubocznych i fermentowanych śrutach.

### Reformulacja 40%

Najwyższy poziom reformulacji – 40% udziału alternatywnych komponentów – przyniósł FCR na poziomie 2,49 kg/kg w grupie badawczej, w porównaniu do 2,69 kg/kg w grupie kontrolnej. To oznacza poprawę o około 7,4%. Wyniki te dowodzą, że nawet przy dużym udziale produktów ubocznych i fermentowanych śrut utrzymano bardzo dobrą efektywność żywienia.

Tabela 1. Porównanie FCR w określonych grupach.

|              | Zużycie paszy na 1 kilogram przyrostu (kg/kg) |         |         |         |
|--------------|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Grupa        | 10%                                           | 20%     | 30%     | 40%     |
| FCR kontrola | 2,79                                          | 2,73    | 2,72    | 2,69    |
| FCR badawcza | 2,65                                          | 2,55    | 2,51    | 2,49    |
| Różnica      | - 5,01%                                       | - 6,63% | - 7,49% | - 7,57% |

Źródło: Opracowanie własne

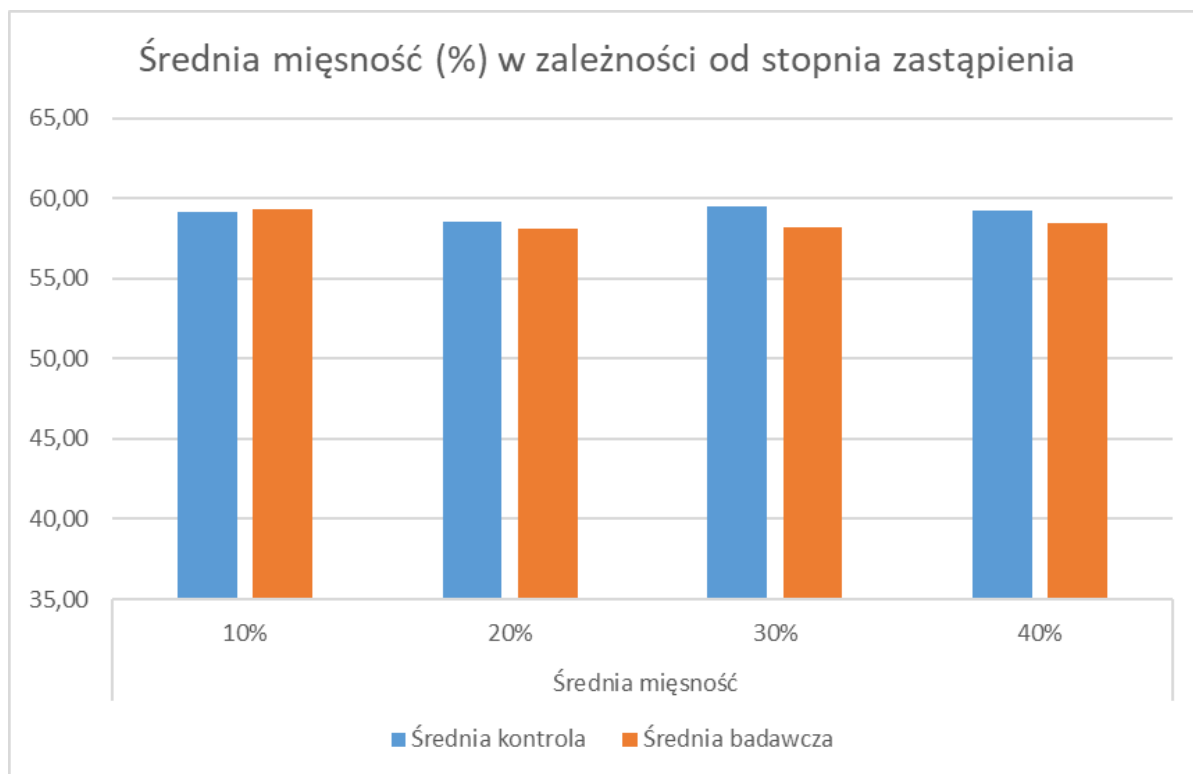
We wszystkich analizowanych poziomach zastąpienia tradycyjnych komponentów paszowych odnotowano systematyczną poprawę FCR w grupach badawczych względem kontrolnych. Wyniki te potwierdzają, że zastosowanie produktów ubocznych oraz fermentowanych śrut w żywieniu trzody chlewnej może skutecznie obniżyć zużycie paszy na jednostkę przyrostu masy ciała, co bezpośrednio przekłada się na poprawę rentowności produkcji.

Mięsność tuszy, rozumiana jako procentowy udział mięsa w masie całkowitej tuszy, stanowi istotny wskaźnik jakości produkcji trzody chlewnej, jednak w projekcie Fermenfeed od początku zakładano, że główny wpływ innowacyjnych mieszanek paszowych będzie widoczny przede wszystkim w poprawie efektywności żywienia i tempa przyrostów, a niekoniecznie w zmianie ilości mięsa w tuszy.

Przeprowadzona analiza wykazała, że różnice w poziomie mięsności pomiędzy grupami kontrolnymi a badawczymi były niewielkie i mieściły się w zakresie typowych wahań produkcyjnych (Wykres 3.). W żadnym z wariantów reformulacji nie odnotowano znaczących odchyleń, które mogłyby świadczyć o wyraźnym wpływie zastosowanych innowacji na budowę beztłuszczowej masy ciała. Wartości mięsności oscylowały wokół poziomu 58–59%, a zaobserwowane różnice wahały się od braku zmian przy 10% reformulacji, do maksymalnego



spadku o 2,12 punktu procentowego przy 30% udziale komponentów innowacyjnych (Tabela 2.).



Wykres 3. Porównanie mięsności w określonych grupach.

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2. Mięsności tuczników w poszczególnych grupach.

| Wyszczególnienie                                 | Średnia mięsność (%) |         |       |         |
|--------------------------------------------------|----------------------|---------|-------|---------|
| Grupa                                            | 10%                  | 20%     | 30%   | 40%     |
| Mięsność kontrola                                | 59,18                | 58,52   | 59,51 | 58,29   |
| Mięsność badawcza                                | 59,33                | 58,15   | 58,25 | 58,49   |
| Różnica                                          | 0%                   | - 0,64% | 0,94% | - 1,36% |
| Przyrost tuszy pomniejszony o przyrost mięsności | 3,32%                | 2,04%   | 0,94% | -0,09%  |

Źródło: Opracowanie własne

Taki rezultat jest zgodny z hipotezą, że rola produktów ubocznych przemysłu spożywczego w składzie badanych mieszanek miała dominujący udział w powstaniu pozytywnych efektów nad dodatkami fermentowanymi. Przypuszczamy, że większy udział śrut fermentowanych doprowadziłby do zwiększonego poziomu mięsności, dlatego też



zakładamy że większość pozytywnych wyników w produkcji pochodzi od zastosowania produktów ubocznych.

Podsumowując, wyniki dotyczące mięsności potwierdzają, że wprowadzenie produktów ubocznych i fermentowanych śrut w testowanych proporcjach nie wpłynęło negatywnie na jakość tuszy, ale również nie przyniosło znaczących korzyści w tym zakresie. W praktyce oznacza to, że opracowane mieszanki pozwalały na utrzymanie stabilnego poziomu mięsności przy jednoczesnej poprawie wskaźników ekonomicznych i produkcyjnych, co było głównym celem operacji. Szczegółowe zestawienie mięsności zostanie omówione w dalszej części raportu w kontekście relacji do przyrostów masy ciała oraz efektywności konwersji paszy.

Co istotne, większa masa zwierząt osiągnięta w grupach badawczych w tym samym czasie tuczu w pełni rekompensowała te niewielkie straty w mięsności. Zwierzęta żywione mieszankami z udziałem produktów ubocznych i fermentowanych śrut charakteryzowały się wyższą masą końcową, co w ujęciu całkowitej masy tuszy przekładało się na większy wolumen mięsa, mimo minimalnie niższego procentowego udziału w tuszy. W praktyce oznaczało to, że hodowca otrzymywał więcej produktu handlowego bez wydłużania cyklu produkcyjnego.

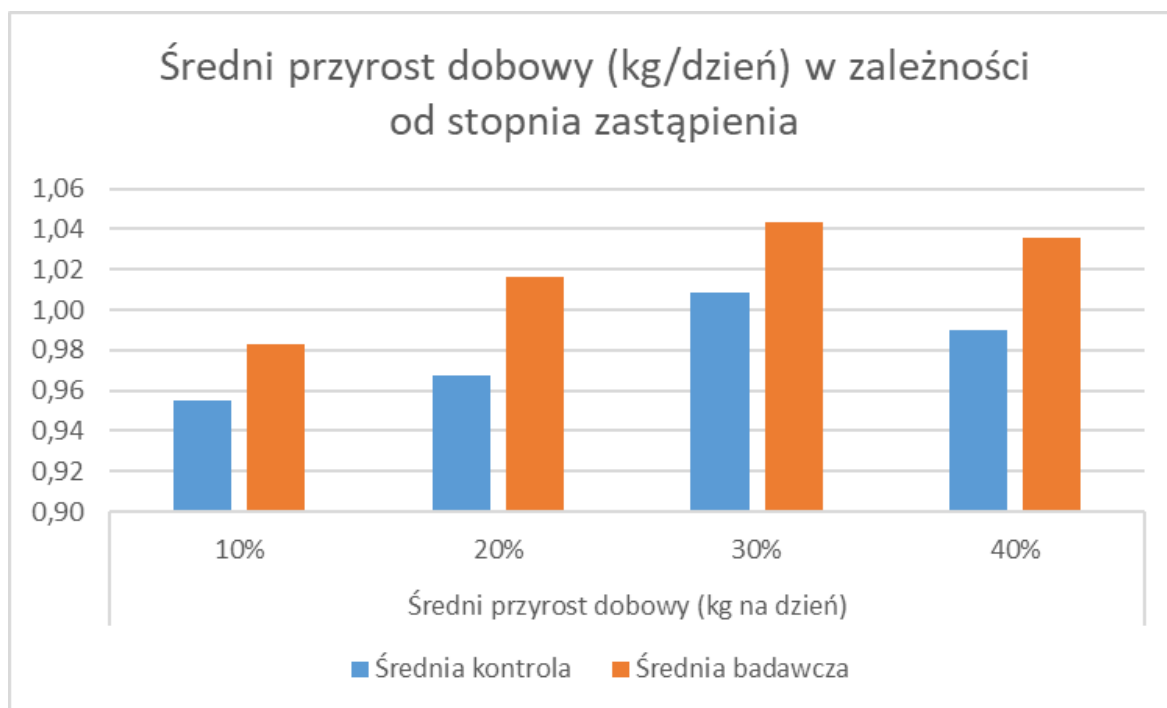
Zaobserwowane wyniki sugerują, że kluczowym efektem wdrożenia innowacyjnych mieszanek w projekcie Fermenfeed była optymalizacja tempa przyrostów oraz poprawa efektywności żywienia, podczas gdy struktura przyrostu – w tym mięsność – pozostała na stabilnym, zadowalającym poziomie. Brak wyraźnych wzrostów mięsności można tłumaczyć dominującym udziałem energetycznych produktów ubocznych w składzie mieszanek. Można przypuszczać, że większy udział fermentowanych śrut białkowych mógłby wpłynąć korzystniej na budowę beztłuszczowej masy ciała.

Wyniki uzyskane w projekcie Fermenfeed jednoznacznie wskazują, że zastosowanie mieszanek paszowych opartych na produktach ubocznych oraz fermentowanych śrutach wpłynęło korzystnie na tempo wzrostu zwierząt. We wszystkich analizowanych wariantach reformulacji odnotowano wyższy średni przyrost dobowy w grupach badawczych w porównaniu do grup kontrolnych (Wykres 4.).

Już przy 10% udziale innowacyjnych komponentów średni przyrost dobowy wzrósł z 0,96 kg/dzień w grupie kontrolnej do 0,98 kg/dzień w grupie badawczej, co oznacza poprawę o blisko 3%. Największą różnicę zanotowano przy 20% zastąpieniu tradycyjnych komponentów – tempo przyrostu zwiększyło się o ponad 5%, osiągając poziom 1,02 kg/dzień wobec 0,97 kg/dzień w grupie kontrolnej. Przy dalszym zwiększaniu udziału innowacyjnych



surowców (30% i 40%) utrzymano przewagę grup badawczych, osiągając stabilne wartości na poziomie 1,04 kg/dzień (Tabela 3.).



Wykres 4. Tempo przyrostów dobowych w poszczególnych grupach.

Tabela 3. Tempo przyrostów w poszczególnych grupach.

| Wyszczególnienie         | Średni przyrost dobowy kg/dzień |       |       |       |
|--------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| Grupa                    | 10%                             | 20%   | 30%   | 40%   |
| Średni przyrost kontrola | 0,96                            | 0,97  | 1,01  | 0,99  |
| Średni przyrost badawcza | 0,98                            | 1,02  | 1,04  | 1,04  |
| Różnica                  | 2,93%                           | 5,06% | 3,44% | 4,57% |

Źródło: Opracowanie własne

Zaobserwowane przyspieszenie tempa przyrostu jest nie tylko korzystne z punktu widzenia efektywności produkcji, ale również niesie ze sobą istotne konsekwencje ekonomiczne i organizacyjne. Szybszy przyrost masy ciała pozwala na wcześniejsze osiągnięcie masy ubojowej, co w praktyce może umożliwić realizację większej liczby cykli produkcyjnych (rzutów) w skali roku, zwiększając łączną wydajność gospodarstwa bez konieczności rozbudowy infrastruktury.

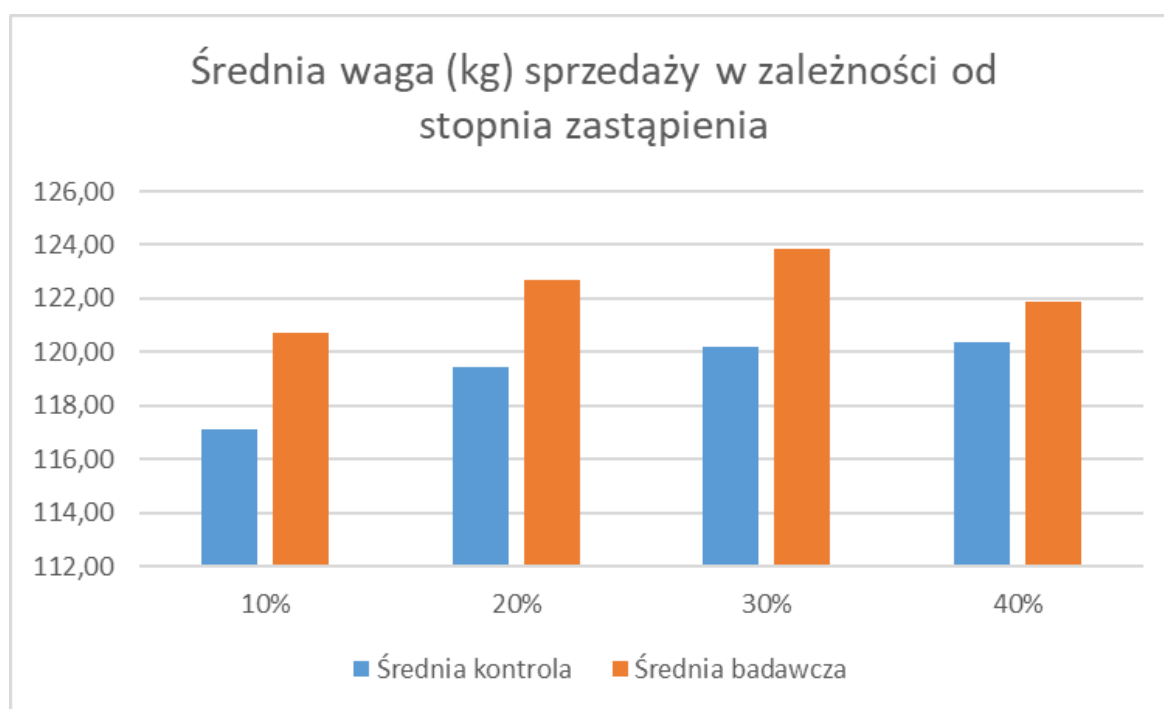
Dodatkowo, skrócenie okresu tuczu oznacza potencjalne zmniejszenie kosztów stałych, takich jak zużycie energii, wody, amortyzacja budynków oraz nakłady pracy ludzkiej związanej z obsługą zwierząt. Każdy dzień mniej spędzony przez zwierzęta w chlewni



przekłada się na oszczędności, które w skali roku mogą znacząco wpłynąć na poprawę rentowności produkcji.

Podsumowując, dane dotyczące średnich przyrostów dobowych potwierdzają, że wdrożenie ulepszonych mieszanek paszowych w projekcie Fermenfeed nie tylko poprawiło efektywność wykorzystania paszy, ale również przyczyniło się do przyspieszenia tempa wzrostu trzody chlewnej. Efekt ten ma bezpośrednie przełożenie na ekonomię produkcji oraz optymalizację procesów organizacyjnych w gospodarstwach rolnych.

Analiza wyników projektu Fermenfeed potwierdziła, że zastosowanie mieszanek paszowych opartych na produktach ubocznych oraz fermentowanych śrutach miało istotny wpływ nie tylko na tempo przyrostów dobowych, ale również na średnią masę żywą osiąganą w momencie sprzedaży. W każdej z analizowanych reformulacji zwierzęta z grup badawczych, żywione ulepszonymi mieszankami, osiągały wyraźnie wyższe masy końcowe w porównaniu do grup kontrolnych (Wykres 5.).



Wykres 5. Masa ciała w momencie uboju w poszczególnych grupach

Źródło: Opracowanie własne

Zaobserwowane różnice są bezpośrednią konsekwencją poprawy efektywności żywienia oraz szybszego tempa wzrostu, które umożliwiły zwierzętom osiągnięcie większej masy ciała w tym samym okresie tuczu. Już przy 10% udziale innowacyjnych komponentów średnia masa ciała sprzedawanych tuczników w grupie badawczej wyniosła 120,72 kg, co oznaczało wzrost o 3,07% względem grupy kontrolnej (117,12 kg). Podobna tendencja



utrzymywała się przy wyższych poziomach zastąpienia – największą różnicę odnotowano przy 30% reformulacji, gdzie zwierzęta osiągnęły średnio 123,88 kg, czyli o ponad 3% więcej niż w grupie kontrolnej (120,20 kg).

Tabela 3. Masa ciała zwierząt przy uboju w poszczególnych grupach

| Wyszczególnienie           | Średni masa ciała przy uboju (kg) |        |        |        |
|----------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| Grupa                      | 10%                               | 20%    | 30%    | 40%    |
| Średni masa ciała kontrola | 117,12                            | 119,97 | 120,20 | 120,35 |
| Średni masa ciała badawcza | 120,72                            | 122,66 | 123,88 | 121,87 |
| Różnica                    | 3,07%                             | 2,67%  | 2,06%  | 1,26%  |

Źródło: Opracowanie własne

Warto podkreślić, że wyższa masa ciała przy sprzedaży została osiągnięta bez wydłużania cyklu produkcyjnego, co stanowi istotną korzyść dla gospodarstw. Oznacza to, że dzięki lepszemu wykorzystaniu składników pokarmowych i bardziej dynamicznemu wzrostowi, możliwe było uzyskanie większej masy handlowej w standardowym czasie tuczu. Nawet przy 40% udziale produktów ubocznych i fermentowanych śrut, gdzie różnica wyniosła 1,26%, efekt ten był nadal zauważalny.

Większa masa ciała w momencie sprzedaży przekłada się bezpośrednio na wyższy przychód jednostkowy dla producenta, co w połączeniu z poprawionym wskaźnikiem FCR oraz szybszym tempem przyrostów tworzy kompleksowy efekt ekonomiczny. W praktyce oznacza to zwiększenie efektywności całego procesu produkcyjnego – zarówno pod względem ilości uzyskanego żywca, jak i kosztów ponoszonych na jego wytworzenie.

Podsumowując, wyniki projektu Fermenfeed jednoznacznie wskazują, że zastosowanie ulepszonych mieszanek paszowych opartych na lokalnych surowcach nie tylko zoptymalizowało zużycie paszy, ale również umożliwiło uzyskanie większej masy ciała zwierząt przy sprzedaży, co stanowi istotny element poprawy rentowności produkcji trzody chlewnej.

Już na etapie planowania projektu Fermenfeed było jasne, że zastosowanie innowacyjnych mieszanek paszowych opartych na produktach ubocznych przemysłu spożywczego oraz fermentowanych śrutach wiązać się będzie z istotnymi różnicami kosztowymi w porównaniu do tradycyjnych pasz. Koszt wytworzenia mieszanki rósł proporcjonalnie do poziomu zastąpienia standardowych komponentów, co potwierdzają dane zebrane w obu gospodarstwach uczestniczących w projekcie.



W gospodarstwie Krzysztofa Kwita, przy 10% udziale innowacyjnych surowców, koszt mieszanki wzrósł o 43 zł na tonę, natomiast przy 40% reformulacji osiągnął już 173 zł/t. Z kolei w gospodarstwie Sławomira Czecha wzrost był jeszcze bardziej odczuwalny – od 58 zł/t przy najniższym poziomie zastąpienia do 232 zł/t przy maksymalnym udziale komponentów alternatywnych (Tabela 4.). Obliczenia dokonano na poziomie cen z momentu składania wniosku – czerwca 2022.

Tabela 4. Wzrost ceny mieszanek paszowych w zależności od innowacyjnych dodatków (zł/t)

| Grupa                             | 10%  | 20%   | 30%   | 40%   |
|-----------------------------------|------|-------|-------|-------|
| Gospodarstwo Rolne Krzysztof Kwit | 43,0 | 86,0  | 130,0 | 173,0 |
| Gospodarstwo Rolne Sławomir Czech | 58,0 | 116,0 | 174,0 | 232,0 |

Źródło: Opracowanie własne

Różnice te wynikały zarówno z cen fermentowanych śrut, które są znacząco droższe od poekstrakcyjnych śrut konwencjonalnych, jak i z kosztów przygotowania produktów ubocznych do bezpiecznego i efektywnego wykorzystania w systemie żywienia na sucho. Warto podkreślić, że koszty te były znane już na moment składania wniosku, dlatego projekt zakładał, że optymalizacja efektywności żywienia, poprawa tempa przyrostów oraz zmniejszenie zużycia paszy na kilogram przyrostu zrekompensują wyższe koszty jednostkowe mieszanki.

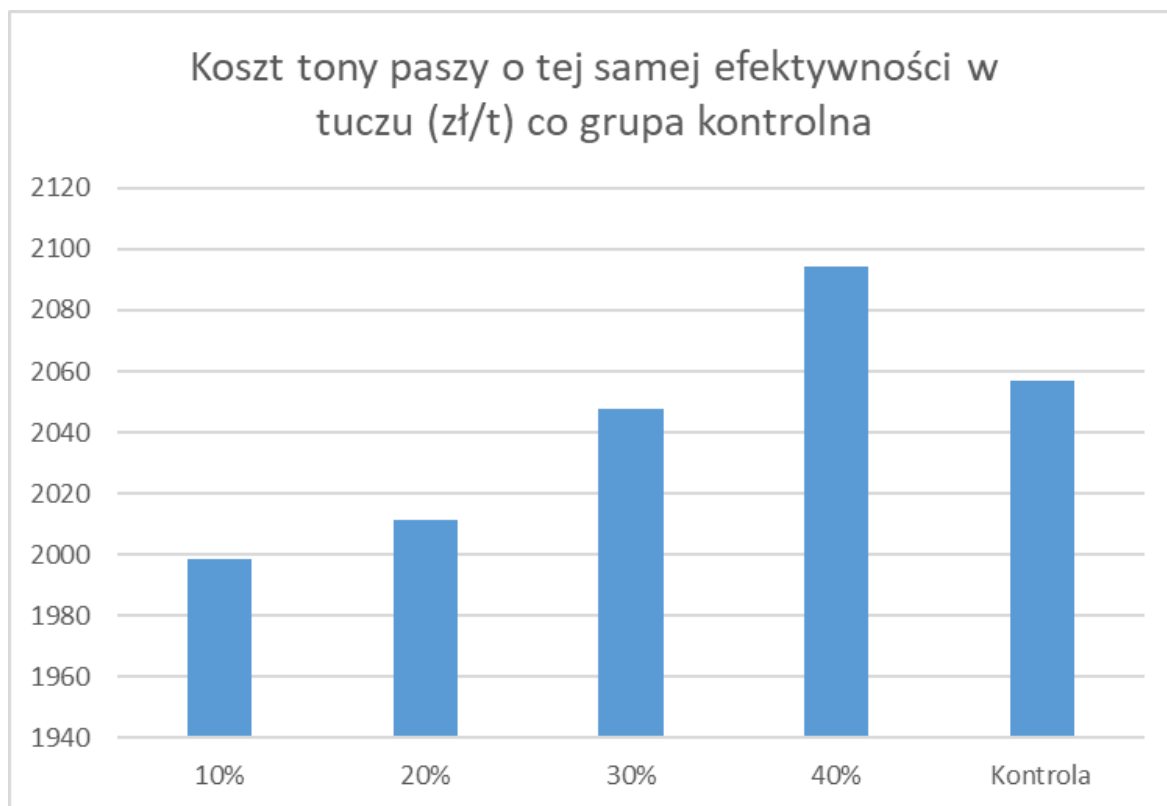
Głównym celem nie było obniżenie ceny paszy, lecz zwiększenie opłacalności produkcji poprzez lepsze wykorzystanie droższych, ale bardziej efektywnych komponentów. W dalszej części raportu przeanalizowano, na ile przyjęta strategia przyniosła zakładane efekty ekonomiczne.

Analiza kosztów paszy w projekcie Fermenfeed wykazała, że poziom reformulacji mieszanki, polegający na zastępowaniu tradycyjnych komponentów produktami ubocznymi oraz fermentowanymi śrutami, istotnie wpływał na końcową cenę tony paszy przy zachowaniu tej samej efektywności w tuczu co w grupie kontrolnej. Oznacza to że cenę tony paszy skorygowano o różnice wynikające ze wskaźnika FCR pomiędzy grupami kontrolnymi, a grupami badawczymi. Wyniki wykazały, że przy niższych poziomach zastąpienia możliwe było uzyskanie korzystniejszego bilansu koszt-efekt, natomiast przy wyższych udziałach komponentów innowacyjnych koszt tony paszy zaczynał przewyższać wartość referencyjną.

Przy 10% reformulacji koszt tony paszy wyniósł 1998,0 zł, czyli był niższy od grupy kontrolnej, gdzie koszt wynosił 2057,0 zł/t. Również przy 20% zastąpienia cena pozostała korzystna, osiągając poziom 2011,0 zł/t (Wykres 6.). Oznacza to, że przy umiarkowanym



udziale produktów ubocznych i fermentowanych śrut, uzyskano efekt ekonomiczny w postaci niższego kosztu paszy przy zachowaniu lub poprawie efektywności żywienia.



Wykres 6. Równowartość kosztu tony paszy o tej samej efektywności w tuczu

Źródło: Opracowanie własne

Sytuacja zmieniła się przy wyższych poziomach reformulacji. Dla 30% udziału innowacyjnych komponentów koszt tony wzrósł do 2048,0 zł, co nadal pozostawało nieznacznie poniżej kosztu grupy kontrolnej. Jednak przy 40% zastąpienia odnotowano już wzrost do 2094,0 zł/t, co oznaczało przekroczenie wartości referencyjnej (Wykres 6.).

Wyniki te potwierdzają, że najkorzystniejszy efekt ekonomiczny osiągnięto przy niższych i średnich poziomach reformulacji. Wprowadzenie innowacyjnych komponentów pozwalało wówczas nie tylko poprawić wskaźniki produkcyjne, ale również obniżyć koszt jednostkowy paszy o tej samej efektywności w tuczu. Wysoki udział produktów ubocznych i fermentowanych śrut zwiększał koszty, co wskazuje na konieczność optymalizacji proporcji tych surowców w praktycznym zastosowaniu.



### 3.2 10% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych

Wprowadzenie 10% zastąpienia tradycyjnych komponentów paszowych produktami ubocznymi oraz fermentowanymi śrutami w projekcie Fermenfeed przyniosło wymierne korzyści w obu gospodarstwach uczestniczących w badaniach – zarówno u Sławomira Czecha i Krzysztofa Kwita. Mimo różnic w bazowych parametrach produkcyjnych w obu przypadkach zaobserwowano poprawę kluczowych wskaźników efektywności tuczu (Tabela 5.).

Tabela 5. Wyniki dla mieszanek paszowych z 10% reformulacją oraz odpowiadającymi im grupami kontrolnymi

| Grupa                             | Średnia masa przy uboju (kg) | Średnia mięsność (%) | Zużycie paszy na 1 kg przyrostu masy ciała (kg/kg) | Średni dobowy przyrost (kg) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Krzysztof Kwit – reformulacja 10% | 11,47                        | 61,56                | 2,74                                               | 0,963                       |
| Sławomir Czech – reformulacja 10% | 123,97                       | 57,10                | 2,56                                               | 1,004                       |
| Krzysztof Kwit – kontrola         | 118,63                       | 61,39                | 2,84                                               | 0,947                       |
| Sławomir Czech - kontrola         | 115,60                       | 56,97                | 2,65                                               | 0,964                       |

Źródło Opracowanie własne

W gospodarstwie Sławomira Czecha 10% reformulacja pozwoliła na obniżenie FCR z 2,65 kg/kg (kontrola) do 2,56 kg/kg, przy jednoczesnym wzroście średniego przyrostu dobowego z 0,964 kg/dzień do 1,004 kg/dzień. Dodatkowo, zwierzęta osiągnęły wyższą masę ciała przy sprzedaży – 123,97 kg wobec 115,60 kg w grupie kontrolnej. Wyniki te potwierdzają, że nawet niewielka reformulacja przyniosła wyraźną poprawę efektywności żywienia. Podobną tendencję zaobserwowano w gospodarstwie Krzysztofa Kwita, choć wartości bazowe były inne. Tutaj FCR spadł z 2,84 kg/kg w grupie kontrolnej do 2,74 kg/kg po zastosowaniu reformulacji, a średni przyrost dobowy wzrósł z 0,947 kg/dzień do 0,963 kg/dzień.

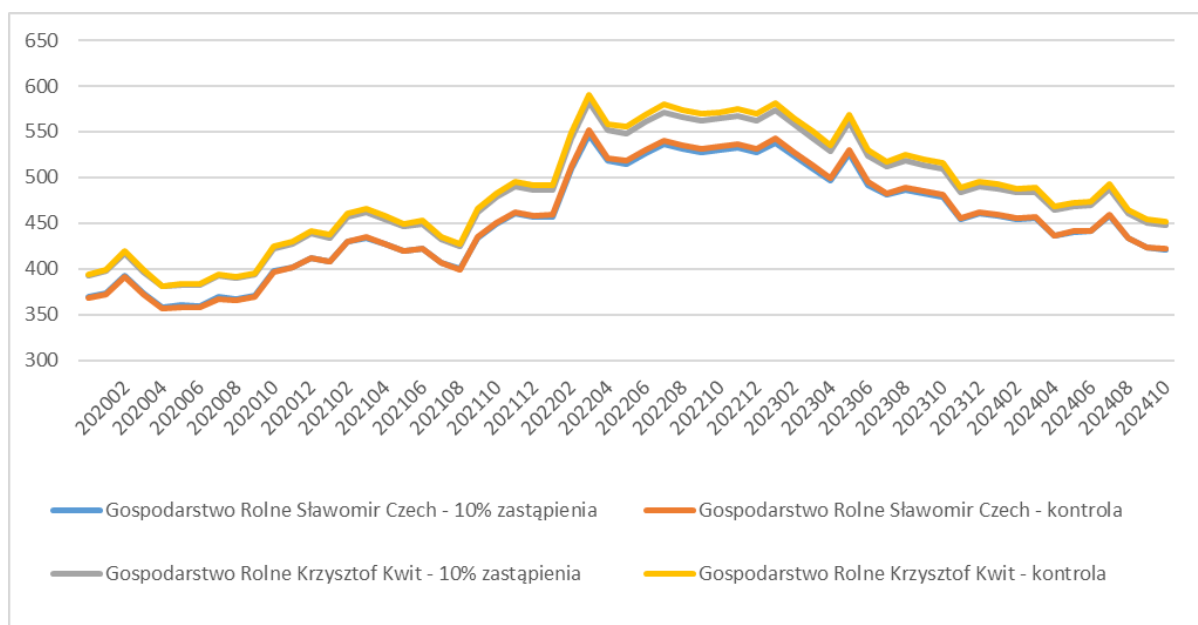
Efekty te można wiązać z zastosowaniem wysokoenergetycznych produktów ubocznych, takich jak odpady piekarnicze czy chipsy, które poprawiają smakowość mieszanki i dostarczają łatwo dostępnej energii. Z kolei fermentowane śruty mogły pozytywnie



wpłynąć na strawność białka i lepsze wykorzystanie składników pokarmowych. W obu gospodarstwach. Synergia tych komponentów przyczyniła się do poprawy wskaźników produkcyjnych bez pogorszenia jakości tuszy – mięsność pozostała stabilna, a niewielkie różnice mieściły się w akceptowalnych granicach technologicznych.

Podsumowując, wyniki obu gospodarstw pokazują, że 10% reformulacja z wykorzystaniem produktów ubocznych i fermentowanych śrut pozwala na optymalizację FCR, poprawę tempa przyrostów oraz utrzymanie jakości tuszy, co w praktyce przekłada się na lepszą efektywność ekonomiczną produkcji w różnych warunkach gospodarstw.

Analiza kosztów paszy potrzebnej do uzyskania przyrostu masy ciała tucznika od 25 kg do 120 kg, przeprowadzona na podstawie danych z lat 2020–2024, jednoznacznie pokazuje, że zastosowanie reformulacji mieszanki paszowej z 10% udziałem produktów ubocznych i fermentowanych śrut w projekcie Fermenfeed przyczyniło się do poprawy efektywności ekonomicznej w obu gospodarstwach. Zarówno w gospodarstwie Sławomira Czecha, jak i Krzysztofa Kwita, wariant z reformulacją generował niższy koszt paszy potrzebnej na przyrost, w porównaniu do grup kontrolnych opartych wyłącznie na tradycyjnych komponentach paszowych.



Wykres 7. Zmienność kosztów paszy dla tuczu tucznika z wagi 25 kg do 120 kg na podstawie wyników grup badawczych i kontrolnych (zł).

Źródło: Opracowanie własne.

We wszystkich analizowanych miesiącach wariant z 10% zastąpienia wykazywał stałą przewagę kosztową, która była szczególnie widoczna w okresach dynamicznych wzrostów cen



pasz na rynku. Przykładowo, w kwietniu 2022 r., gdy koszt tony paszy przekraczał 2100 zł, koszt paszy potrzebnej na przyrost w gospodarstwie Sławomira Czecha wyniósł 513 zł, podczas gdy w grupie kontrolnej sięgał 551 zł, co oznaczało oszczędność na poziomie 38 zł na sztuce. Jeszcze większa różnica była widoczna w gospodarstwie Krzysztofa Kwita, gdzie koszt w grupie badawczej wyniósł 542 zł, wobec 591 zł w grupie kontrolnej – co przełożyło się na ponad 8% oszczędności.

W kolejnych miesiącach utrzymywała się podobna tendencja – wariant z reformulacją systematycznie amortyzował skutki wahań cen surowców paszowych, zapewniając bardziej stabilny i przewidywalny koszt produkcji. Nawet w końcowych miesiącach analizowanego okresu, gdy ceny pasz zaczęły się stopniowo obniżać, różnice pomiędzy grupami badawczymi a kontrolnymi pozostawały wyraźne, co potwierdzało trwałość efektu wdrożenia innowacyjnych mieszanek.

W przeciwieństwie do wariantu z 10% reformulacją, grupy kontrolne w obu gospodarstwach charakteryzowały się najwyższym i najbardziej zmiennym kosztem paszy na przyrost. Były one w pełni podatne na rynkowe skoki cenowe, co w okresach takich jak lata 2022–2023 znacząco obciążało budżet gospodarstw, pogarszając opłacalność produkcji.

Podsumowując, dane z pierwszego rzutu projektu Fermenfeed potwierdzają, że nawet relatywnie niewielkie zastąpienie tradycyjnych komponentów paszowych produktami ubocznymi i fermentowanymi śrutami pozwala na uzyskanie stabilnej przewagi kosztowej, szczególnie w warunkach zmienności rynku. To dowodzi, że odpowiednio zaplanowana reformulacja może pełnić funkcję nie tylko narzędzia poprawy efektywności żywieniowej, ale również skutecznej ochrony przed niekorzystnymi wahaniami cen pasz.



### 3.3 20% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych

Dane dotyczące efektywności produkcyjnej uzyskane w ramach testowania mieszanek paszowych z 20% zastąpieniem tradycyjnych komponentów produktami ubocznymi oraz fermentowanymi śrutami w projekcie Fermenfeed potwierdzają wyraźną poprawę kluczowych wskaźników tuczu trzody chlewnej w porównaniu do grup kontrolnych (Tabela 6.). Wyniki osiągnięte zarówno w gospodarstwie Sławomira Czecha, jak i Krzysztofa Kwita, wskazują na pozytywny wpływ reformulacji na efektywność żywienia i tempo przyrostów, przy jednoczesnym utrzymaniu stabilnych parametrów jakości tuszy.

Tabela 6. Wyniki dla mieszanek paszowych z 20% reformulacją oraz odpowiadającymi im grupami kontrolnymi.

| Grupa                             | Średnia masa przy uboju (kg) | Średnia mięsność (%) | Zużycie paszy na 1 kg przyrostu masy ciała (kg/kg) | Średni dobowy przyrost (kg) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Krzysztof Kwit – reformulacja 10% | 122,77                       | 60,79                | 2,63                                               | 0,993                       |
| Sławomir Czech – reformulacja 10% | 122,56                       | 55,50                | 2,47                                               | 1,039                       |
| Krzysztof Kwit – kontrola         | 120,47                       | 61,03                | 2,78                                               | 0,964                       |
| Sławomir Czech - kontrola         | 118,47                       | 56,01                | 2,68                                               | 0,971                       |

Źródło Opracowanie własne

We wszystkich analizowanych przypadkach zauważono istotną poprawę wskaźnika konwersji paszy (FCR). W gospodarstwie Sławomira Czecha FCR spadł z 2,68 kg/kg w grupie kontrolnej do 2,47 kg/kg po reformulacji, natomiast w gospodarstwie Krzysztofa Kwita z 2,78 kg/kg do 2,63 kg/kg. Równocześnie zwiększyły się średnie przyrosty dobowe, co było szczególnie widoczne u Sławomira Czecha, gdzie wzrost wyniósł ponad 6% (z 0,971 kg/dzień do 1,039 kg/dzień). U Krzysztofa Kwita poprawa również była wyraźna, osiągając 0,993 kg/dzień w porównaniu do 0,964 kg/dzień w grupie kontrolnej.

Co istotne, zastosowanie 20% reformulacji pozwoliło również na uzyskanie wyższej średniej masy ciała przy sprzedaży w obu gospodarstwach. Zwierzęta w grupach badawczych osiągały masę ponad 122,0 kg, co oznaczało wzrost o kilka kilogramów względem grup



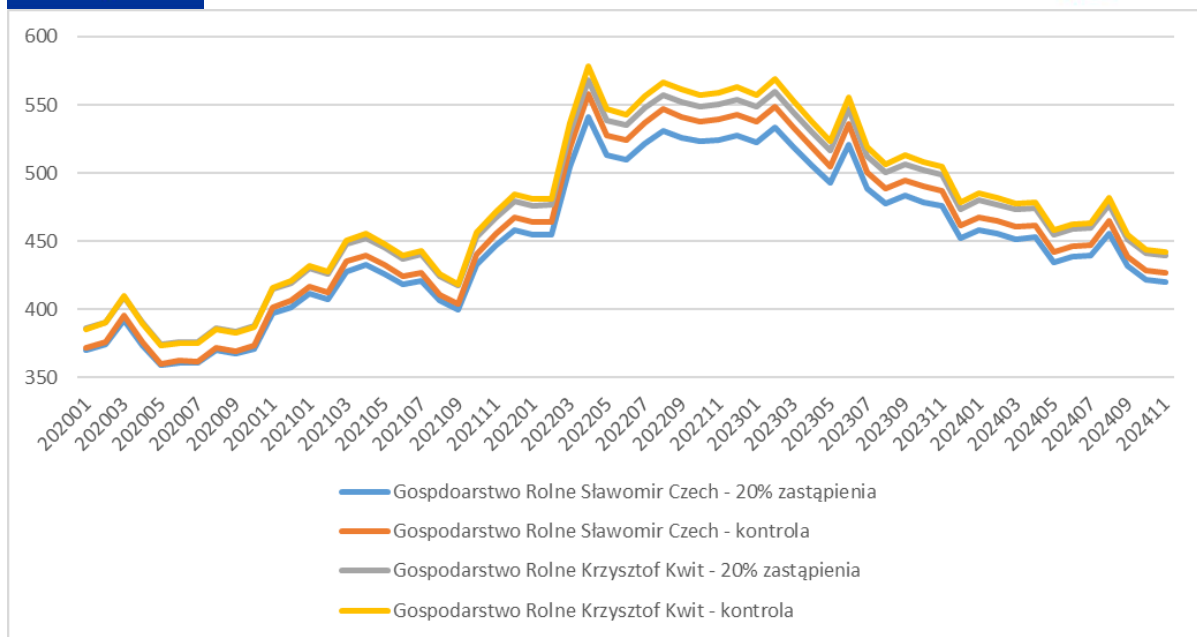
kontrolnych, bez wydłużania okresu tuczu. Taki rezultat świadczy o skutecznym wykorzystaniu energii i białka zawartego w mieszankach opartych na alternatywnych surowcach.

Jeśli chodzi o mięsność tuszy, wyniki pozostały stabilne, choć widoczne były niewielkie różnice w zależności od gospodarstwa. W przypadku Krzysztofa Kwita poziom mięsności utrzymał się na wysokim poziomie (60,79%), nieznacznie poniżej grupy kontrolnej. W gospodarstwie Sławomira Czecha odnotowano lekkie obniżenie mięsności, co można tłumaczyć dominującą rolą produktów ubocznych o charakterze energetycznym w reformulowanej mieszance.

Podsumowując, zastosowanie 20% reformulacji w projekcie Fermenfeed przyniosło wyraźne korzyści w zakresie efektywności produkcyjnej – obniżenie FCR, szybsze tempo przyrostów oraz większa masa ciała przy sprzedaży. Wyniki te potwierdzają, że odpowiednio dobrana proporcja produktów ubocznych i fermentowanych śrut może znacząco poprawić opłacalność tuczu, bez istotnego wpływu na jakość tuszy. Reformulacja na tym poziomie okazała się skutecznym narzędziem optymalizacji żywienia w warunkach gospodarstw średniej wielkości.

Analiza kosztów paszy potrzebnej do uzyskania przyrostu tucznika od 25 do 120 kg w latach 2020–2024 w ramach projektu Fermenfeed pokazuje, że zastosowanie mieszanki z 20% zastąpieniem tradycyjnych komponentów przyniosło stabilne i mierzalne oszczędności w obu gospodarstwach biorących udział w badaniu. Zarówno w gospodarstwie Sławomira Czecha, jak i Krzysztofa Kwita, reformulacja mieszanki konsekwentnie obniżała jednostkowy koszt żywienia w porównaniu do grup kontrolnych opartych wyłącznie na standardowych surowcach.

Choć różnice nie były skrajnie wysokie, ich systematyczność i odporność na wahania rynkowe potwierdzają, że reformulacja z udziałem produktów ubocznych i fermentowanych śrut stanowiła skuteczne narzędzie ograniczania kosztów (Wykres 8.). Przykładowo, w okresie najwyższych cen pasz (kwiecień–sierpień 2022 r.), gdy koszt paszy w grupie kontrolnej Sławomira Czecha wynosił nawet 558 zł, wariant z 20% reformulacją utrzymywał się na poziomie 541 zł, co dawało oszczędność 17 zł na tucznika. W gospodarstwie Krzysztofa Kwita różnica była jeszcze bardziej wyraźna – w tym samym okresie koszt w grupie badawczej wynosił 568 zł, podczas gdy w grupie kontrolnej osiągał 578 zł.



Wykres 8. Zmienność kosztów paszy dla tuczu tucznika z wagi 25 kg do 120 kg na podstawie wyników grup badawczych i kontrolnych (zł).

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnych miesiącach, mimo spadków cen pasz, przewaga kosztowa wariantów z reformulacją utrzymywała się na poziomie od 10 do 20 zł na sztuce, co w skali produkcji całorocznej przekładało się na istotne oszczędności. Szczególnie ważne było to w kontekście zmienności rynku – mieszanki innowacyjne wykazywały większą elastyczność kosztową, amortyzując skutki skokowych wzrostów cen surowców.

Grupy kontrolne, oparte na tradycyjnych komponentach, cechowały się natomiast najwyższymi kosztami w całym badanym okresie oraz większą podatnością na rynkowe szoki cenowe. Koszt paszy w tych grupach wahał się od około 370 zł na początku 2020 r. do blisko 580 zł w 2022 r., co wyraźnie wskazuje na brak mechanizmów ograniczających wpływ wzrostów cen zbóż i śrut.

Podsumowując, dane z projektu Fermenfeed dowodzą, że 20% reformulacja mieszanki paszowej, wykorzystująca produkty uboczne i fermentowane śruty, pozwoliła na trwałe obniżenie kosztów żywienia w porównaniu do mieszanek kontrolnych. Efekt ten był szczególnie widoczny w okresach presji kosztowej, co czyni tego typu rozwiązania cennym narzędziem zwiększającym odporność ekonomiczną gospodarstw trzody chlewnej na zmienność rynku paszowego.



### 3.4 30% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych

Analiza wyników produkcyjnych w ramach projektu Fermenfeed dla mieszanek paszowych z 30% reformulacją, opartych na produktach ubocznych i fermentowanych śrutach, wykazała wyraźną poprawę efektywności żywienia w porównaniu do grup kontrolnych, przy jednoczesnym utrzymaniu stabilnych parametrów jakości tuszy (Tabela 7.).

Tabela 7. Wyniki dla mieszanek paszowych z 30% reformulacją oraz odpowiadającymi im grupami kontrolnymi.

| Grupa                             | Średnia masa przy uboju (kg) | Średnia mięsność (%) | Zużycie paszy na 1 kg przyrostu masy ciała (kg/kg) | Średni dobowy przyrost (kg) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Krzysztof Kwit – reformulacja 10% | 112,60                       | 60,79                | 2,63                                               | 0,960                       |
| Sławomir Czech – reformulacja 10% | 135,15                       | 55,71                | 2,39                                               | 1,123                       |
| Krzysztof Kwit – kontrola         | 110,07                       | 61,79                | 2,63                                               | 1,084                       |
| Sławomir Czech - kontrola         | 130,33                       | 57,24                | 2,79                                               | 0,933                       |

Źródło Opracowanie własne

Największą korzyść odnotowano w gospodarstwie Sławomira Czecha, gdzie wskaźnik zużycia paszy (FCR) spadł do poziomu 2,39 kg/kg, w porównaniu do 2,63 kg/kg w grupie kontrolnej. Tak znacząca redukcja zużycia paszy świadczy o wysokiej efektywności zastosowanej mieszanki, co przekłada się bezpośrednio na oszczędności w kosztach żywienia. Dodatkowo, średni przyrost dobowy wzrósł do 1,123 kg/dzień, co oznaczało dynamiczniejsze tempo wzrostu zwierząt przy jednoczesnym osiągnięciu wyższej masy sprzedażowej (135,15 kg vs 130,33 kg w kontroli).

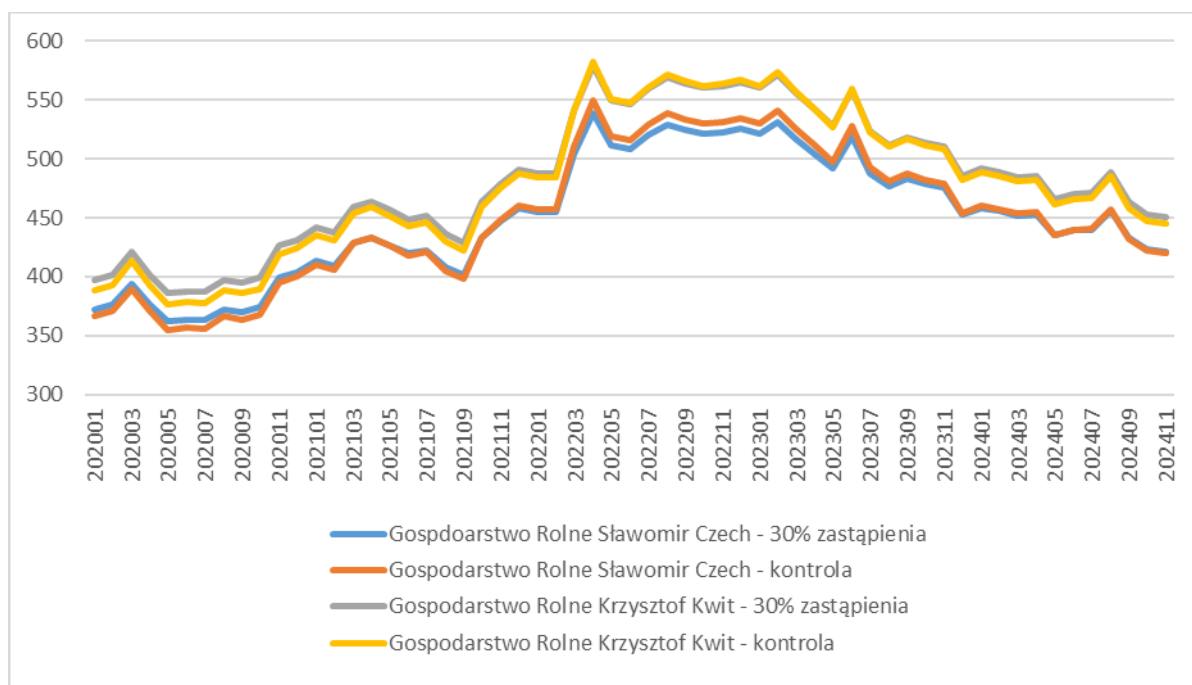
W gospodarstwie Krzysztofa Kwita również zaobserwowano poprawę parametrów. FCR zmniejszył się z 2,79 kg/kg w grupie kontrolnej do 2,63 kg/kg po zastosowaniu 30% reformulacji, a średni przyrost dobowy wzrósł z 0,933 kg/dzień do 0,960 kg/dzień. Choć skala poprawy była mniejsza niż u Sławomira Czecha, wyniki te potwierdzają pozytywny wpływ reformulacji na efektywność żywienia.



Jeśli chodzi o mięsność, wyniki były zgodne z wcześniejszymi obserwacjami — w obu gospodarstwach odnotowano niewielkie różnice. W gospodarstwie Krzysztofa Kwita mięsność po reformulacji wyniosła 60,79%, co oznaczało nieznaczny spadek względem kontroli (61,79%). W przypadku Sławomira Czecha mięsność obniżyła się do 55,71%, co jest typowym efektem wyższego udziału produktów ubocznych o charakterze energetycznym w mieszance.

Podsumowując, wyniki dla 30% reformulacji w projekcie Fermenfeed potwierdzają, że zastosowanie innowacyjnych mieszanek paszowych znacząco poprawiło efektywność wykorzystania paszy i tempo przyrostów, co przekłada się na lepszą opłacalność tuczu. Niewielkie obniżenie mięsności było akceptowalne w kontekście całłościowych korzyści produkcyjnych i ekonomicznych, co wskazuje na potencjał wdrożenia takich rozwiązań w praktyce gospodarstw rolnych.

Analiza wyników ekonomicznych dla mieszanek paszowych opracowanych w ramach projektu Fermenfeed, opartych na 30% zastąpieniu tradycyjnych komponentów produktami ubocznymi i fermentowanymi śrutami, pokazuje, że zastosowane reformulacje przyniosły trwałe i mierzalne korzyści kosztowe w porównaniu do grup kontrolnych. Zarówno w gospodarstwie Sławomira Czecha, jak i Krzysztofa Kwita, innowacyjne mieszanki konsekwentnie obniżały jednostkowy koszt paszy potrzebnej do uzyskania zakładanego przyrostu masy ciała tucznika (Wykres 8.).



Wykres 8. Zmienność kosztów paszy dla tuczu tucznika z wagi 25 kg do 120 kg na podstawie wyników grup badawczych i kontrolnych (zł).

Źródło: Opracowanie własne



Największe różnice były widoczne w okresach wzrostów cen pasz, gdzie reformulowane mieszanki wykazywały większą odporność na wahania rynkowe. Przykładowo, w miesiącach 2022 r., koszt paszy w grupie kontrolnej Sławomira Czecha osiągał poziom 549–558 zł, podczas gdy w grupie z reformulacją utrzymywał się na poziomie 539–541 zł, co przekładało się na oszczędność rzędu 10–17 zł na sztuce. W gospodarstwie Krzysztofa Kwita różnice były jeszcze bardziej wyraźne – w tych samych miesiącach koszt w grupie badawczej wynosił 568–580 zł, podczas gdy grupa kontrolna przekraczała 583 zł.

Na przestrzeni całego analizowanego okresu (2020–2024) reformulacja zapewniała systematyczne obniżenie kosztów w przedziale 5–20 zł na tucznika, w zależności od koniunktury rynkowej. Co istotne, różnice te były stabilne, co świadczy o skuteczności zastosowanej strategii opartej na wykorzystaniu tańszych, lokalnych surowców, przy jednoczesnym zachowaniu lub poprawie wskaźników efektywności żywienia.

Warto podkreślić, że obniżenie kosztów nie odbywało się kosztem parametrów produkcyjnych – jak wykazano w analizach FCR i tempa przyrostów, mieszanki z 30% zastąpieniem nie tylko zmniejszały wydatki na paszę, ale również poprawiały wykorzystanie składników odżywczych, co dodatkowo wzmacniało efekt ekonomiczny.



### 3.5 40% zastąpienia zbóż i śrut poekstrakcyjnych

Wyniki uzyskane dla mieszanek paszowych z 40% zastąpieniem tradycyjnych komponentów produktami ubocznymi i fermentowanymi śrutami w projekcie Fermentfeed pokazują, że mimo iż różnice w parametrach produkcyjnych względem grup kontrolnych nie były skrajne, to korzyści były wyraźne i konsekwentne. Efekt zastosowanej reformulacji staje się szczególnie istotny w kontekście dążenia do optymalizacji kosztów żywienia oraz poprawy efektywności produkcji (Tabela 8.).

Tabela 8. Wyniki dla mieszanek paszowych z 40% reformulacją oraz odpowiadającymi im grupami kontrolnymi.

| Grupa                             | Średnia masa przy uboju (kg) | Średnia mięsność (%) | Zużycie paszy na 1 kg przyrostu masy ciała (kg/kg) | Średni dobowy przyrost (kg) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Krzysztof Kwit – reformulacja 10% | 118,92                       | 60,17                | 2,49                                               | 1,005                       |
| Sławomir Czech – reformulacja 10% | 124,82                       | 56,80                | 2,48                                               | 1,066                       |
| Krzysztof Kwit – kontrola         | 116,11                       | 61,66                | 2,68                                               | 0,980                       |
| Sławomir Czech - kontrola         | 124,58                       | 56,92                | 2,69                                               | 1,001                       |

Źródło Opracowanie własne

W gospodarstwie Krzysztofa Kwita zastosowanie 40% reformulacji pozwoliło na obniżenie wskaźnika zużycia paszy (FCR) z 2,68 kg/kg w grupie kontrolnej do 2,49 kg/kg, co świadczy o znaczącej poprawie wykorzystania paszy. Równocześnie odnotowano wzrost średniego przyrostu dobowego z 0,980 kg/dzień do 1,005 kg/dzień, przy zachowaniu stabilnej masy sprzedażowej (118,92 kg vs 116,11 kg). Mięsność tuszy utrzymała się na wysokim poziomie (60,17%), co potwierdza, że zwiększenie udziału produktów ubocznych i fermentowanych śrut nie wpłynęło negatywnie na jakość końcowego produktu.

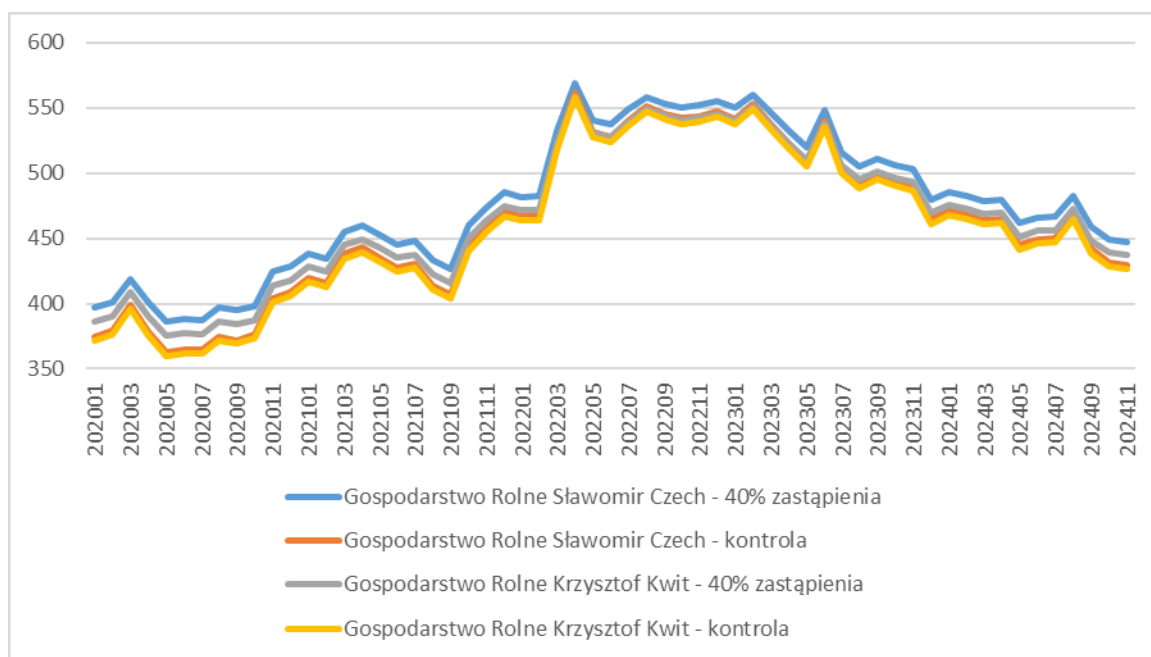
Jeszcze lepsze wyniki zaobserwowano w gospodarstwie Sławomira Czecha, gdzie FCR spadł z 2,69 kg/kg w grupie kontrolnej do 2,48 kg/kg po reformulacji. Dodatkowo średni przyrost dobowy wzrósł z 1,001 kg/dzień do 1,066 kg/dzień, a masa ciała przy sprzedaży



osiągnęła 124,82 kg, przewyższając nieznacznie wynik grupy kontrolnej. Mięśność pozostała na zbliżonym poziomie (56,80% vs 56,92%), co pokazuje, że nawet przy wysokim poziomie reformulacji udało się utrzymać parametry jakościowe tuszy.

Podsumowując, choć efekty produkcyjne w zakresie FCR i tempa przyrostów przy 40% reformulacji były bardzo istotne, ich konsekwencja oraz brak skrajnie negatywnego wpływu na mięsność świadczą o skuteczności zastosowanego rozwiązania. Warto podkreślić, że osiągnięte wyniki pozwoliły na znaczące ograniczenie zużycia paszy, co w bezpośredni sposób przekłada się na obniżenie kosztów żywienia. Tym samym, mieszanki opracowane w ramach projektu Fermenfeed mogą stanowić atrakcyjne rozwiązanie dla gospodarstw poszukujących możliwości zwiększenia efektywności ekonomicznej bez ryzyka pogorszenia jakości produkcji. Szczególnie przy wyższych poziomach reformulacji, wdrożenie takich mieszanek może przynieść wymierne korzyści w długoterminowej perspektywie.

Dane z projektu Fermenfeed dotyczące stosowania mieszanek paszowych z 40% zastąpieniem tradycyjnych komponentów jednoznacznie pokazują, że przekroczenie pewnego poziomu reformulacji może prowadzić do wzrostu kosztów żywienia, zamiast ich obniżenia. W obu gospodarstwach – zarówno u Sławomira Czecha, jak i Krzysztofa Kwita – mieszanki z wysokim udziałem produktów ubocznych i fermentowanych śrut okazały się w wielu miesiącach droższe niż pasze stosowane w grupach kontrolnych (Wykres 9.).





Wykres 9. Zmienność kosztów paszy dla tuczu tucznika z wagi 25 kg do 120 kg na podstawie wyników grup badawczych i kontrolnych (zł).

Źródło: Opracowanie własne

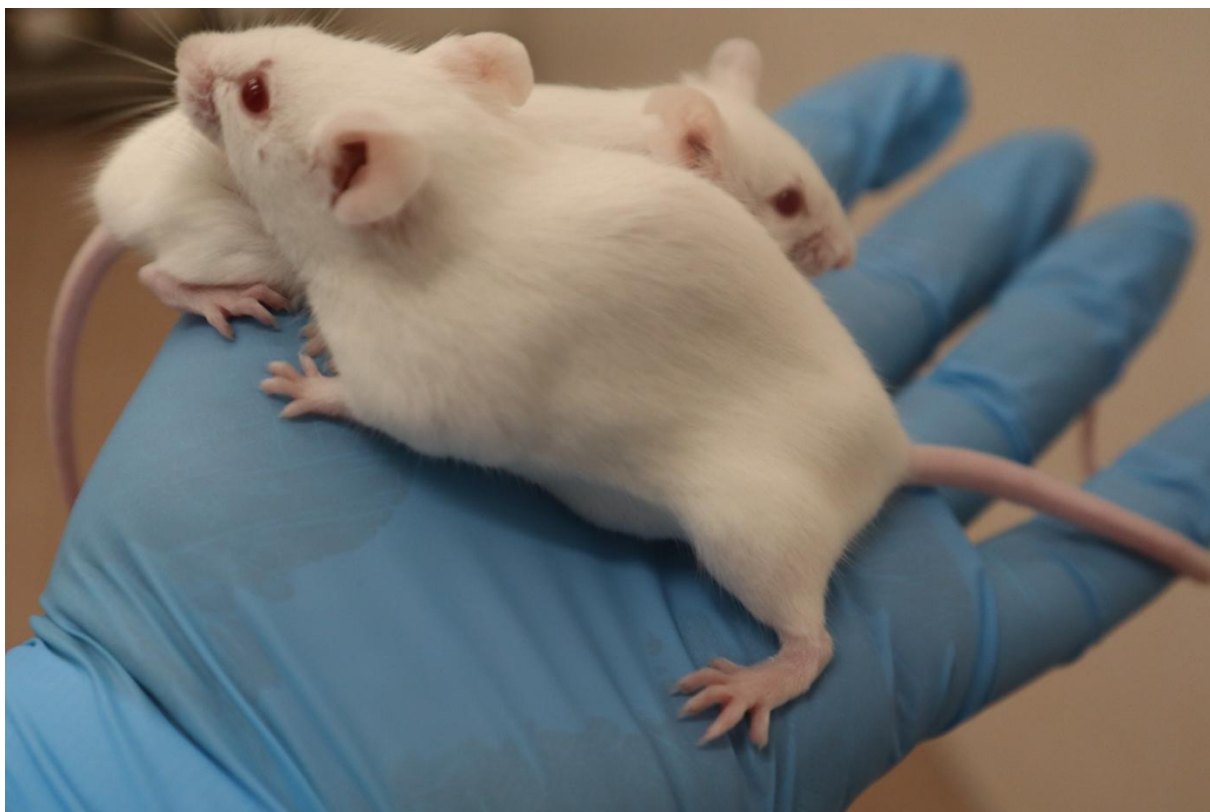
Już od początku analizowanego okresu (2020 r.) widoczna była wyraźna różnica – przykładowo w styczniu 2020 r. koszt paszy w grupie z 40% reformulacją wynosił 397 zł (Sławomir Czech) i 386 zł (Krzysztof Kwit), podczas gdy w grupach kontrolnych odpowiednio 374 zł i 372 zł. Ta tendencja utrzymywała się przez większość miesięcy, a w okresach wzrostu cen surowców (2022 r.) różnice jeszcze się pogłębiły. W kwietniu 2022 r. koszt paszy w grupie badawczej Sławomira Czecha wyniósł 568 zł, podczas gdy w grupie kontrolnej było to 562 zł. Podobnie w gospodarstwie Krzysztofa Kwita – 559 zł wobec 558 zł w kontroli.

Analiza całego okresu pokazuje, że 40% reformulacja była nieopłacalna, ponieważ koszt zastosowanych produktów ubocznych oraz fermentowanych śrut – które są droższe od klasycznych komponentów paszowych – przekroczył potencjalne oszczędności wynikające z poprawy wskaźników produkcyjnych (FCR, przyrosty). W efekcie mieszanki te generowały wyższe koszty jednostkowe, co czyniło je mało konkurencyjnymi w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań.

Podsumowując, wyniki projektu Fermenfeed dla wariantu z 40% zastąpieniem pokazują, że istnieje granica opłacalności reformulacji. Zbyt wysoki udział kosztownych komponentów alternatywnych prowadził do wzrostu kosztów, mimo poprawy efektywności żywienia. W związku z tym, optymalnym rozwiązaniem wydaje się być niższy poziom reformulacji (np. 20–30%), gdzie korzyści ekonomiczne były bardziej wyważone i realnie przekładały się na obniżenie kosztów produkcji.

#### 4. Wyniki badań na myszach

Do badania wykorzystano myszy z pokolenia 154 (F154) linii selekcyjnej Kghz:C (tzw. linia ciężka) (Fot. 4.). Linia ta jest modelem dla ras szybkorosnących i szybko dojrzewających. Jest poddawane stałej selekcji w kierunku zwiększenia masy ciała, przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiego poziomu zmienności genetycznej.



Fotografia 4. Myszy linii selekcyjnej Kghz:C

W badaniu wykorzystano 200 zwierząt - zarówno samce, jak i samice pochodzące z w/w linii. Zwierzęta w wieku 8 tygodni zostało losowo przydzielone do grup badanych. W każdej grupie znajdowało się 20 samców i 20 samic.

Myszy były utrzymywane w standardowych warunkach zwierzętarni konwencjonalnej zamkniętej z barierą higieniczną (Fot. 5.).



Fotografia 5. Pomieszczenie zwierzątarni z myszami doświadczalnymi.

Temperatura w pomieszczeniach była regulowana automatycznie i wynosiła 20-24°C przy wilgotności względnej 45-60%. Powietrze dochodzące do pomieszczeń było filtrowane, co zabezpieczało przed dostępem potencjalnych patogenów. Długość dnia świetlnego to 12/12 godzin światła/ciemności. Zwierzęta przebywały w klatkach typu 2L z polisulfonu lub poliwęglanu o powierzchni podłogi 506 cm<sup>2</sup> na odpylonej ściółce z drewna drzew liściastych. Klatki były wyposażone w bezpieczne wzbogacenia środowiskowe (domki, materiał gniazdowy, gryzaki), zapewniające zwierzętom możliwość realizacji szerokiego repertuaru naturalnych zachowań. Cały sprzęt wykorzystywany do utrzymania zwierząt był sterylizowany, by zapobiec kontaminacji mikrobiologicznej (Fot. 6.).



Fotografia 6. Myszy, wyposażenie klatki i podłoże.

W trakcie badania zwierzęta miały nieograniczony dostęp do wody i stosowanej paszy. Wszystkie osobniki były codziennie obserwowane, znajdowały się również pod opieką wyznaczonego lekarza weterynarii.

Wszystkie pomieszczenia, sprzęty i sposób utrzymania były zgodne z Ustawą o ochronie zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych (Dz. U. 2015, poz. 266).

Z pokolenia 154 wybrano losowo 200 zwierząt, które zostały (również losowo) przydzielone do grup otrzymujących różnych typy paszy. Myszy utrzymywane były w klatkach bytowych, w grupach po 4 osobniki. Dla zwiększenia obiektywności wyników, zarówno w trakcie doświadczenia, jak i w trakcie wykonywania analiz poszczególne typy pasz były zakodowane w sposób następujący:

Grupa 1: 10% zastąpienia: chipsy 2%, ciastka 2%, pieczywo 5%

Grupa 2: 20% zastąpienia: chipsy 2%, ciastka 5%, pieczywo 10%

Grupa 3: 30% zastąpienia: chipsy 2%, ciastka 10%, pieczywo 12%

Grupa 4: 40% zastąpienia: chipsy 2%, ciastka 11%, pieczywo 15%

Grupa 5: pasza kontrolna (Pasza hodowlana dla gryzoni laboratoryjnych, Zoolab, Polska).



Pasze zostały przygotowane przez firmę Zoolab w formie pełnoporcjowego granulatu i dostarczone bezpośrednio przed rozpoczęciem badania.

Zwierzęta miały nielimitowany dostęp do wody i paszy przez cały okres badania.

Myszy były ważone przed rozpoczęciem podawania zmodyfikowanej paszy, a następnie co 7 dni.

Uzyskane wyniki przeanalizowano statystycznie stosując test Kruskala – Wallisa.

### **Ogólna informacja o kondycji zwierząt**

Zwierzęta ze wszystkich grup badanych chętnie pobierały dostarczaną paszę. W żadnej z grup nie zaobserwowano istotnie zwiększonego lub zmniejszonego pobrania paszy. Należy przyjąć, że pasza wykazywała właściwą smakowitość dla badanych zwierząt.

Codzienne obserwacje nie wykazały zaburzeń w kondycji zwierząt – nie stwierdzano piloerekcji ani pogorszenia stanu sierści. Nie obserwowano również występowania zaburzeń ze strony układu pokarmowego (np. zmieniony kał, biegunka itp.). Pod koniec podawania paszy u pojedynczych osobników z grup: 3 i 4 stwierdzono niewielkie nadmierne otłuszczenie. Dodatkowo oceniono zachowanie zwierząt, sprawdzając w ten sposób, czy podanie zmodyfikowanej paszy nie powoduje zaburzeń behawioralnych. U zwierząt z grup 2 i 3 stwierdzono pojedyncze przypadki agresji wewnątrzklatkowej u samców (niewielkie pogryzienia zadu i ogona). Przypadki takie zdarzają się z podobną częstością w populacji generalnej utrzymywanych myszy, nie można zatem wykazać, że były one skutkiem stosowanej diety. Nie stwierdzono zachowań stereotypowych, wygryzania/wylizywania sierści ani innych nieprawidłowych zmian behawioralnych.

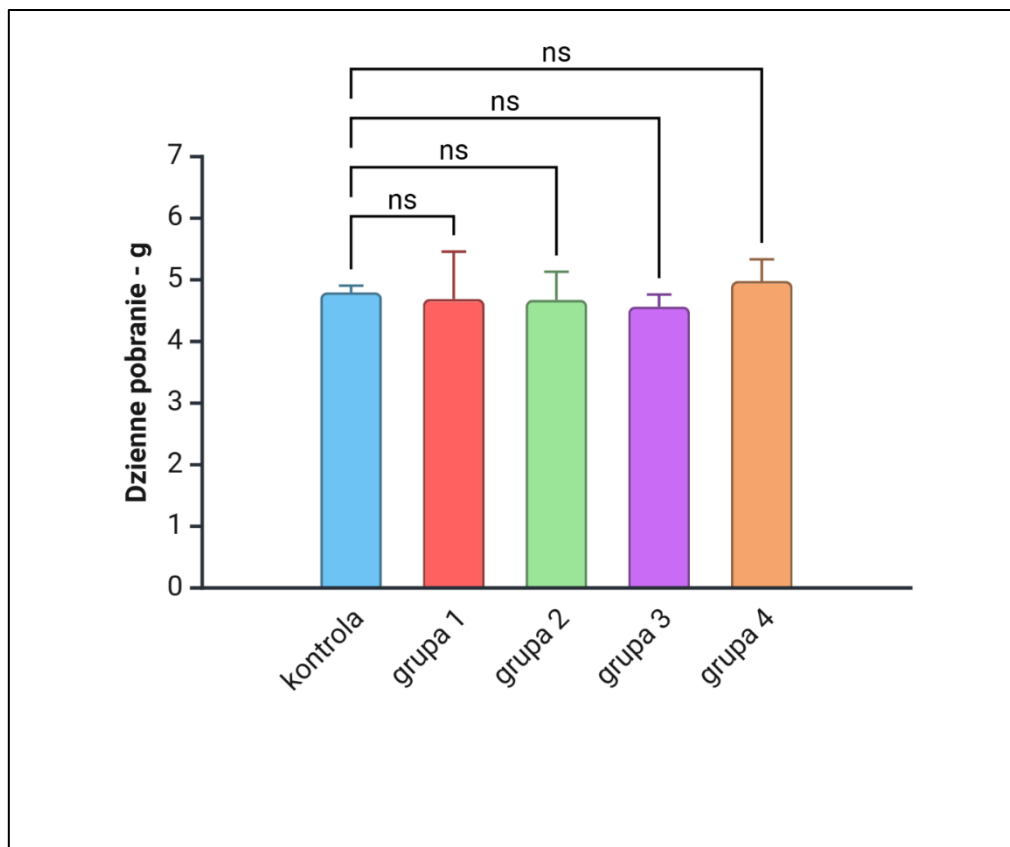
Nie obserwowano żadnych zmian świadczących o pogorszeniu stanu zdrowia badanych zwierząt.

### **Spożycie paszy**

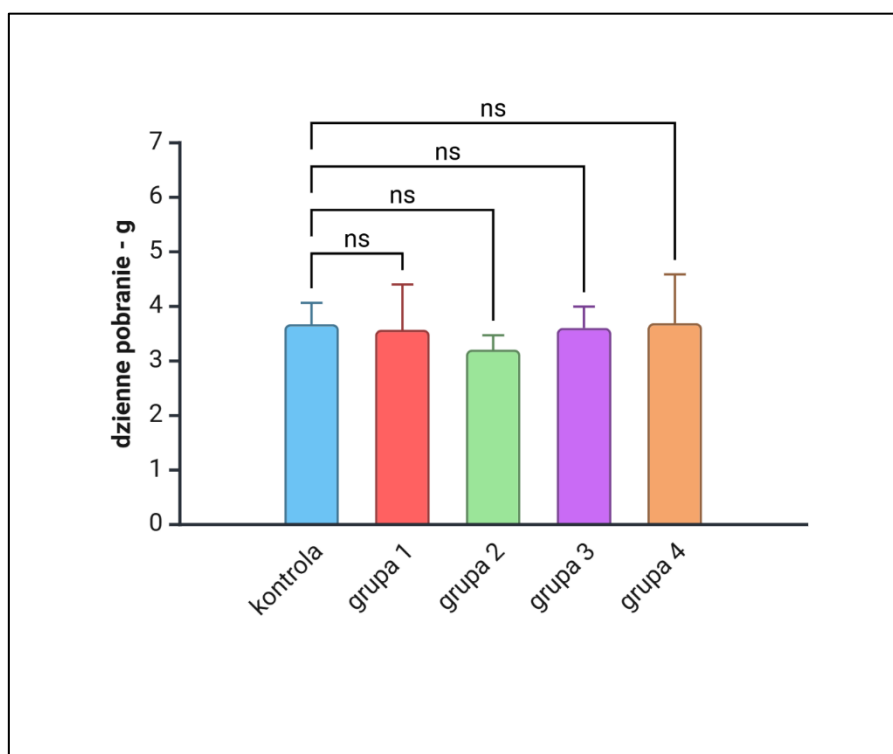
Ze względu na znaczny dymorfizm płciowy występujący u myszy linii Kghz:C wszystkie obliczenia wykonano osobno dla samic i dla samców.

Zwierzęta miały nielimitowany dostęp do paszy. Spożycie oceniano na podstawie różnicy mas karmy zadanej i pozostawionej przez zwierzęta w karmniku po 24 godzinach.

Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach 10 i 11. Dla żadnej z grup nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w pobraniu różnych rodzajów badanych pasz.



Wykres 10. Dzienne pobranie paszy – samce.



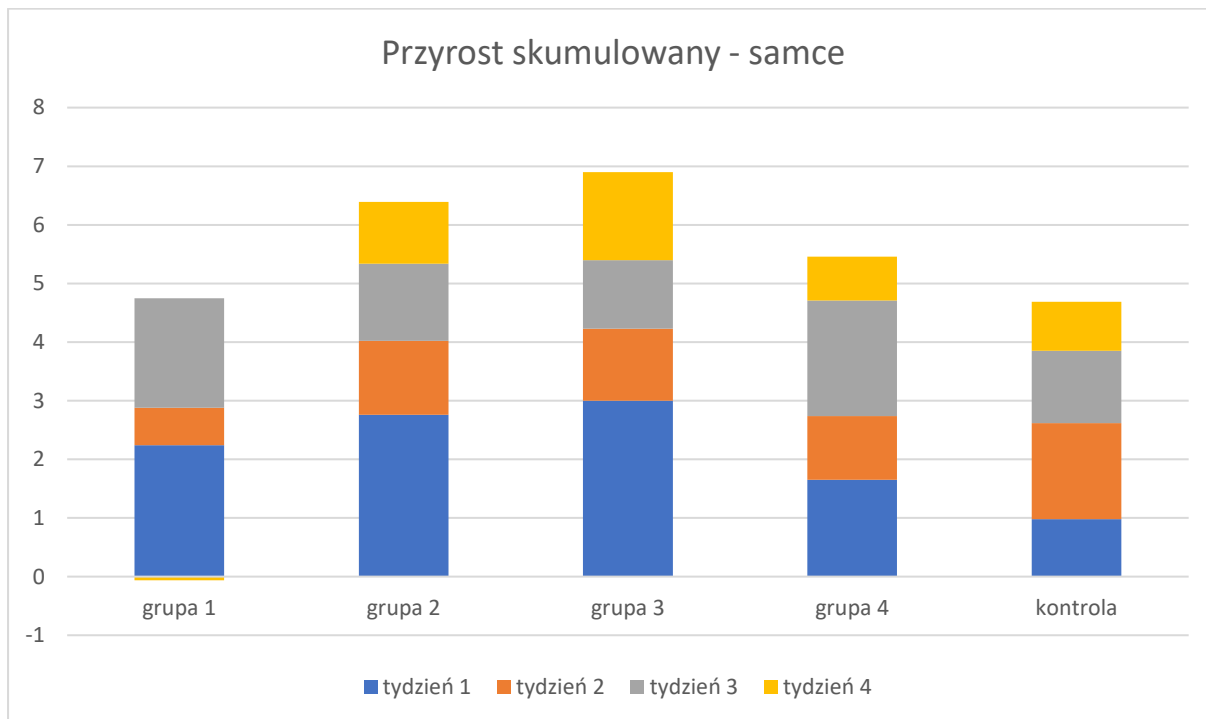
Wykres 11. Dzienne pobranie paszy – samice.



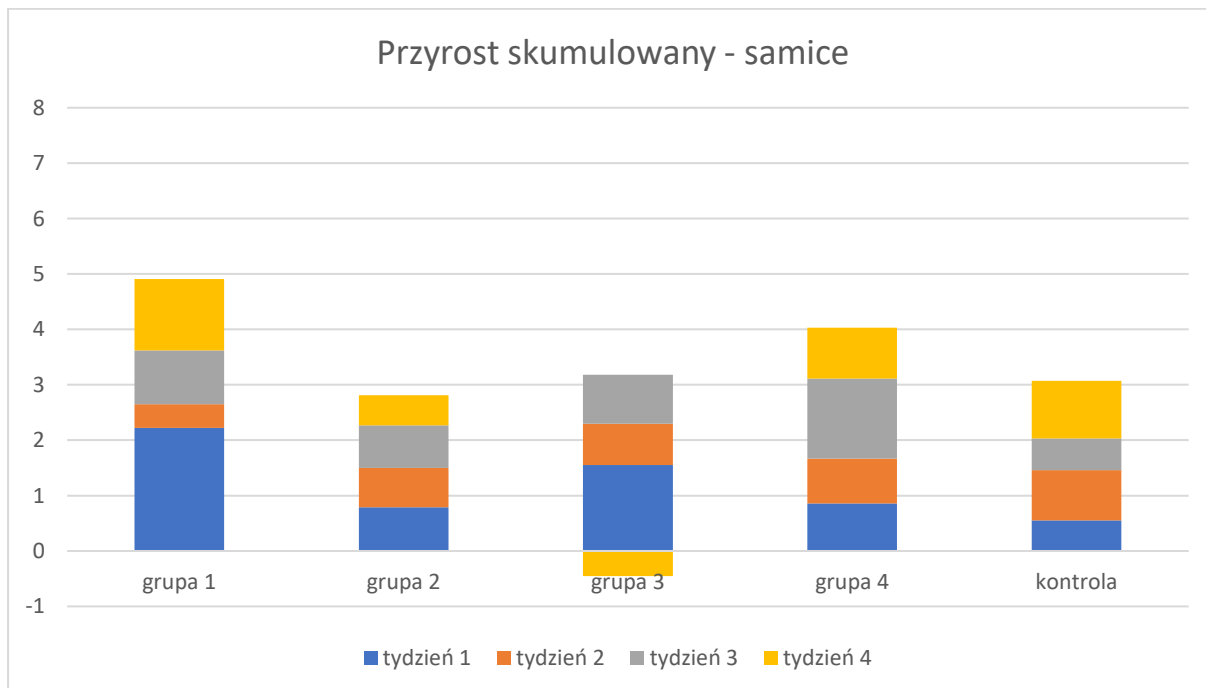
SZKOŁA GŁÓWNA  
GOSPODARSTWA  
WIEJSKIEGO

## Przyrosty masy ciała

Oceniono zarówno przyrost całkowity w trakcie całego badania, jak i przyrosty tygodniowe. Skumulowane przyrosty tygodniowe badanych zwierząt przedstawiono na wykresach 12 i 13.



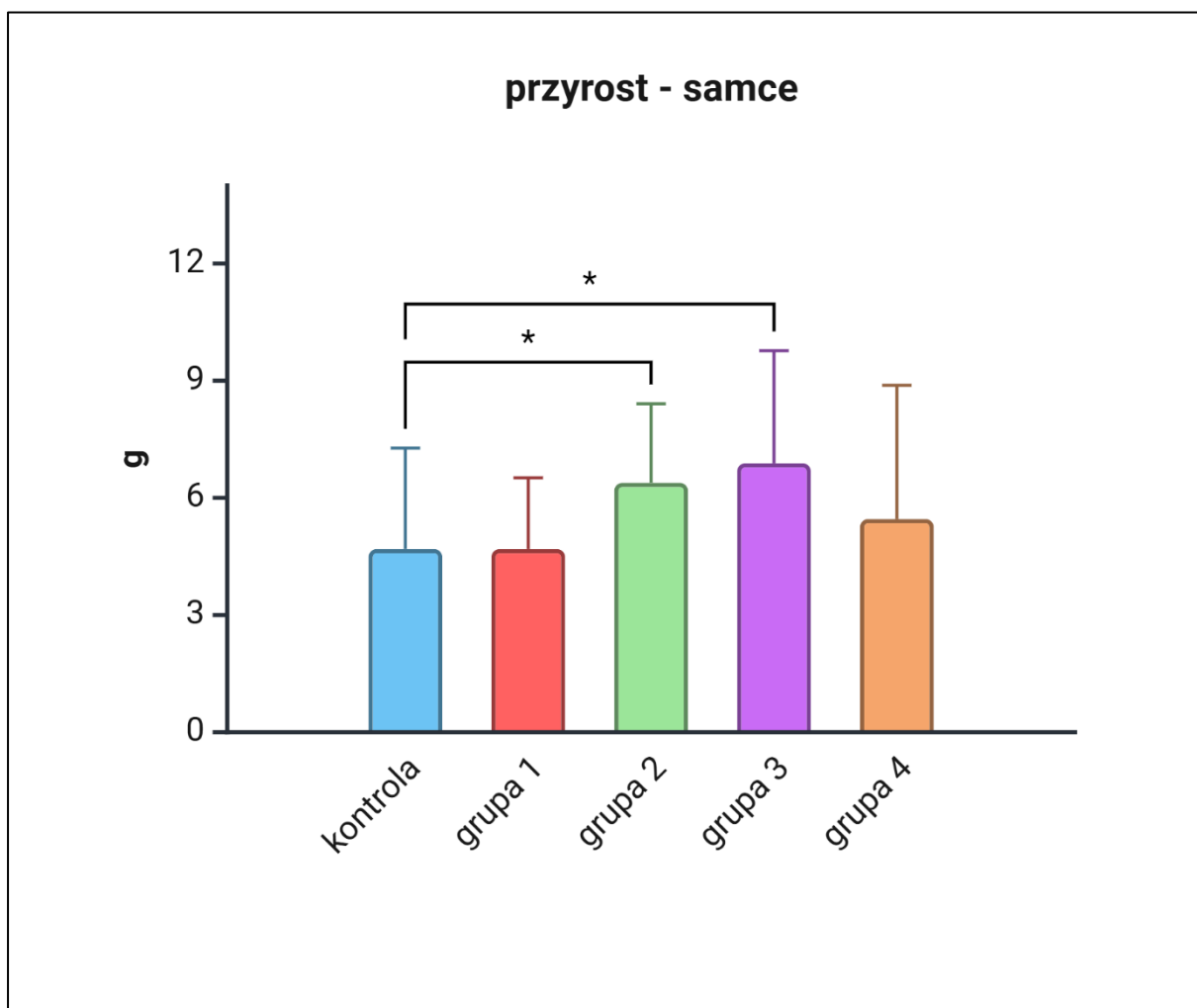
Wykres 12. Średnie przyrosty skumulowane – samce.



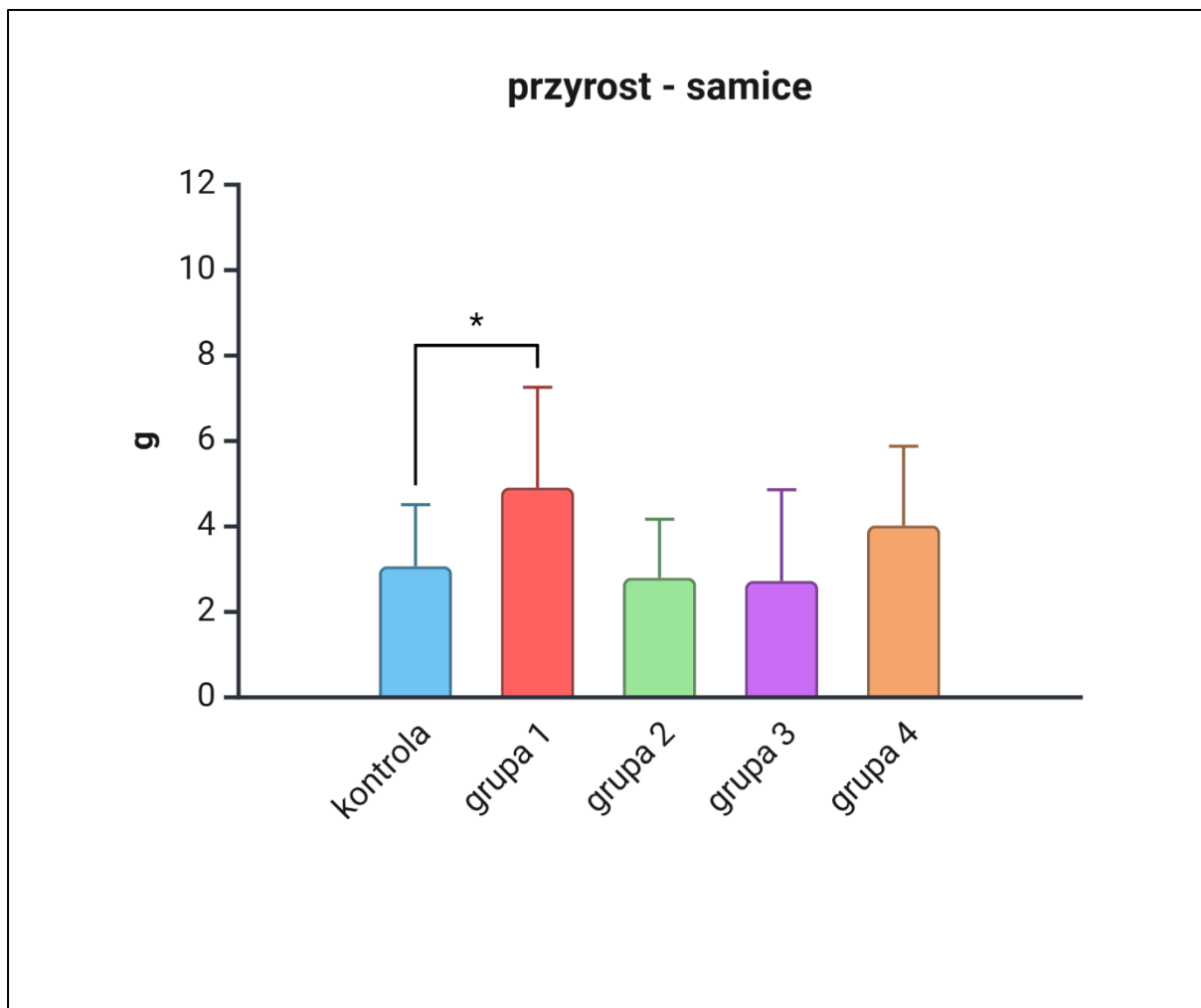
Wykres 13. Średnie przyrosty skumulowane – samice.

W grupach, którym podawano paszę zmodyfikowaną widoczna jest tendencja do zwiększenia masy w pierwszym tygodniu pobierania zmienionego pokarmu. Może się to wiązać ze zwiększonym pobraniem w pierwszych dniach skarmiania, co świadczy o znacznej smakowitości dostarczonych pasz.

Przyrosty całkowite dla obu płci przedstawiono na wykresach 14 i 15.



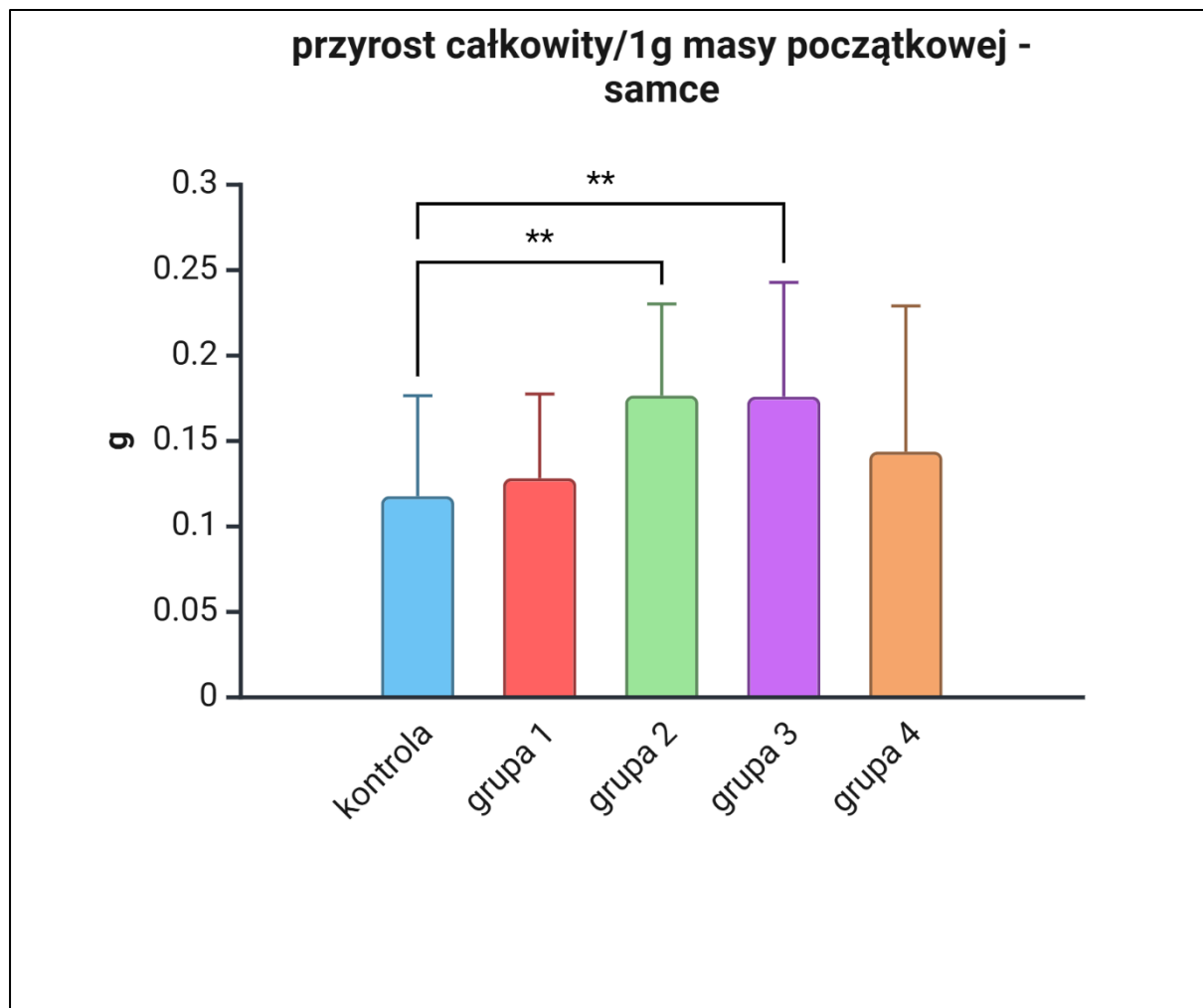
Wykres 14. Średnie przyrost całkowite – samce.



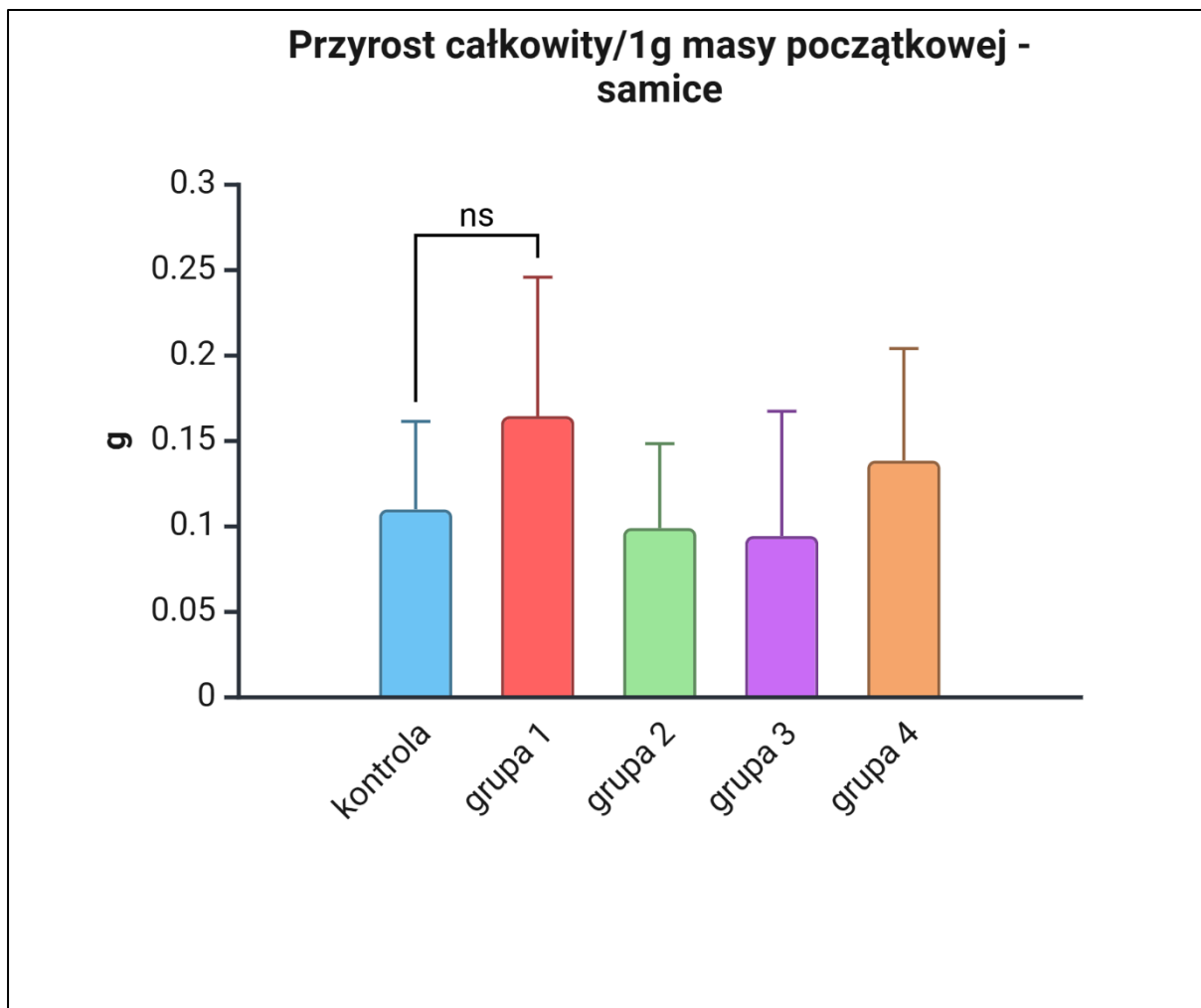
Wykres 15. Średnie przyrosty całkowite – samice.

Jak wykazała przeprowadzona analiza całkowity efekt podawania nowej paszy był różny u samców i u samic. W przypadku samców, stwierdzono istotnie zwiększone (w stosunku do paszy kontrolnej) przyrosty u zwierząt z grupy 2 i 3, zaś w przypadku samic – tylko u myszy z grupy 1.

Ze względu na występujące u myszy linii Kghz:C różnice osobnicze w masie ciała oceniono także przyrost masy ciała na każdy 1g masy początkowej zwierzęcia (określonej przed rozpoczęciem doświadczenia). Wyniki przedstawiono na wykresach 16 i 17.



Wykres 16. Przyrost całkowity/ 1 g masy początkowej – samce.



Wykres 17. Przyrost całkowity/1g masy początkowej – samice

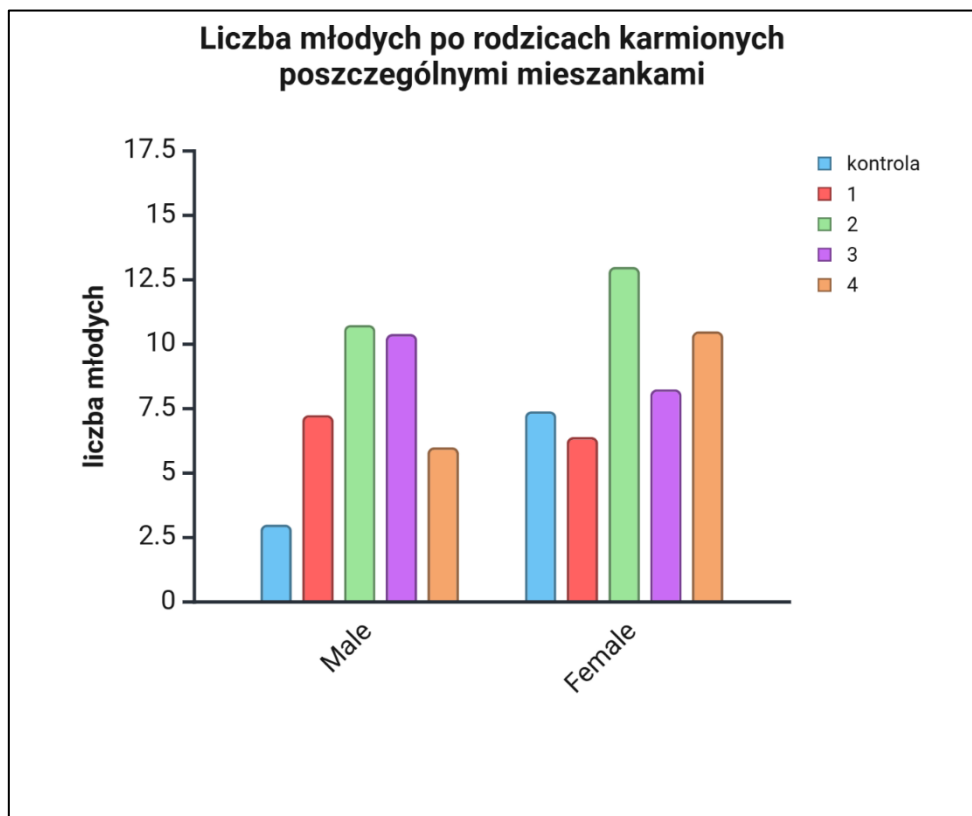
W tym ujęciu analiza w dalszym ciągu potwierdza istotne zwiększenie masy ciała u samców z grup 2 i 3. Przyrosty samic z grupy 1 nie są istotnie statystycznie większe, niż samic z grupy kontrolnej, tym niemniej tendencja do zwiększania masy ciała względem zwierząt kontrolnych jest nadal widoczna.

### Wpływ na rozród

Po zakończeniu badania, z testowanych zwierząt 21 samców i 20 samic zostało przeznaczonych do rozrodu (wg kryteriów zdefiniowanych dla linii Kghz:C, czyli masy odsadzeniowej).

Ze względu na niewielką wielkość próby i znaczną zmienność liczby młodych miocie nie wykazano statystycznie istotnych różnic, można jednak sugerować, że stosowanie przed i w ostatnim okresie przed odchovu zmodyfikowanych mieszanych paszowych może

przyczynić się do poprawy wyników rozrodu (Wykres 18.) (Fot. 7.). Co istotne, u zwierząt karmionych mieszankami zmodyfikowanymi zaobserwowano znacznie zmniejszoną w stosunku do żywionych paszą kontrolną liczbę par jałowiących (2/20 vs. 5/20), co może



potwierdzać wcześniej przedstawioną tezę.

Wykres 18. Średnia liczba młodych w miocie uzyskana od rodziców żywionych różnymi typami pasz.



Fotografia 7. Młode osobniki myszy w 3 dniu po urodzeniu.



## 5. Innowacja technologiczna w zakresie przygotowywania paszy

Na etapie planowania innowacji technologicznej w zakresie wytwarzania paszy, zakładano wystąpienie szeregu potencjalnych problemów technologicznych związanych ze stosowaniem produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego oraz fermentowanych śrut. Obawy dotyczyły przede wszystkim kwestii technicznych, takich jak ryzyko zapychania się paszociągów, trudności w mieleniu surowców, nadmierne otłuszczanie się mieszanki, problemów ze zbrylaniem, a także pogorszenia parametrów związanych ze smakowitością i zapachem paszy. Tego typu wyzwania były typowo identyfikowane w literaturze oraz praktyce rolniczej przy wdrażaniu niestandardowych komponentów paszowych o zróżnicowanej strukturze fizycznej i zmiennej zawartości tłuszczu czy wilgoci.

W toku realizacji projektu okazało się jednak, że przewidywane trudności nie wystąpiły w takim stopniu, jak pierwotnie zakładano. Testowane mieszanki charakteryzowały się dobrą przepuszczalnością w systemach podających, nie powodowały istotnych problemów z transportem wewnętrznym paszy, a proces ich przygotowania – w tym mielenie i mieszanie – przebiegał sprawnie i bez konieczności wprowadzania kosztownych modyfikacji technologicznych. Dodatkowo, nie zaobserwowano znaczących negatywnych efektów w zakresie zbrylania się surowców czy pogorszenia jakości sensorycznej mieszanki, co mogłoby wpływać na pobranie paszy przez trzodę chlewną.

W związku z tym, uwaga zespołu badawczego została przekierowana na realne wyzwanie, które ujawniło się w trakcie pracy z produktami ubocznymi – czyli na aktywność mikrobiologiczną surowców. To właśnie szybka degradacja mikrobiologiczna, szczególnie w warunkach mniejszych gospodarstw, gdzie tempo skarmiania może być wolniejsze, okazała się kluczowym ograniczeniem dla powszechnego wykorzystania tego typu komponentów w żywieniu trzody chlewnej.

W ramach projektu opracowano również innowację technologiczną dotyczącą przygotowywania paszy wraz z użyciem produktów ubocznych. W ramach wytwarzania innowacji pierwotnie poddano produkty uboczne stosowane w mieszankach analizie mikrobiologicznej w celu ustalenia i rozpoznania negatywnych zjawisk.



W zakresie analizy aktywności mikrobiologicznej dla produktów paszowych opartych o ciastka, na wszystkich podłożach zaobserwowano wzrost, jednak część szalek była niepoliczalna (Tabela 9.). Na posiewach na podłożu Candida zaobserwowano znaczny wzrost pleśni w dwóch pierwszych rozcieńczeniach. Najwięcej kolonii obecnych było na podłożu Schaedler'a, a najmniej na Edwardsa oraz DRBC.

Tabela 9. Aktywność mikrobiologiczna produktów paszowych opartych o ciastka

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii [jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-7</sup> | 10 <sup>-8</sup> |                         |
| Powierzchniowa | Schaedler   | np               | np               | 296              | -                | 3                | 1                | 3                | 1                | 3*10 <sup>5</sup>       |
|                | Uri         | np               | 16               | -                | -                | -                | -                | -                | -                | -                       |
|                | Blood       | 34               | 15               | 2                | -                | 3                | -                | 2                | 1                | 3,4*10 <sup>2</sup>     |
|                | Edwards     | 4                | 1                | -                | -                | -                | -                | -                | -                | -                       |
|                | Pseudomonas | 245              | 42               | 13               | -                | -                | -                | -                | -                | 1,3*10 <sup>4</sup>     |
|                | Candida     | np*              | np*              | -                | -                | 1                | 2                | -                | 2                | -                       |
|                | Mannitol    | 68               | 4                | -                | -                | 1                | -                | -                | 5                | 6,8*10 <sup>2</sup>     |
|                | DRBC        | 7                | 1                | -                | -                | 1                | -                | -                | -                | -                       |
| Wgłębna        | TSC         | np               | 43               | 5                | -                | -                | -                | -                | -                | 4,3*10 <sup>3</sup>     |

\*- pleśń; np - niepoliczalne

Źródło: Opracowanie własne



Najintensywniejszy wzrost przy produktach opartych na chipsach był obecny na agarze z dodatkiem krwi, a najmniejszy na *Pseudomonas* (Tabela 10.). W metodzie wgłębnej na podłożu TSC dla anaerobów obecnych jest więcej kolonii niż w przypadku produktu paszowego opartego o ciastka. Na posiewach na podłożu *Pseudomonas*, w rozcieńczeniu pierwszym i *Candida* w ostatnim rozcieńczeniu zaobserwowano wzrost pleśni.

Tabela 10. Aktywność mikrobiologiczna produktów paszowych opartych o chipsy

| Metoda         | Podłoże            | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii [jtk/ml] |
|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
|                |                    | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-7</sup> | 10 <sup>-8</sup> |                         |
| Powierzchniowa | Schaedler          | np               | np               | 48               | 1                | -                | -                | -                | 2                | 4,8*10 <sup>4</sup>     |
|                | Uri                | np               | np               | 21               | 5                | -                | -                | -                | 2                | -                       |
|                | Blood              | np               | np               | 170              | 51               | 1                | 3                | 16               | 2                | 1*10 <sup>6</sup>       |
|                | Edwards            | np               | >300             | 1                | -                | -                | -                | -                | -                | -                       |
|                | <i>Pseudomonas</i> | np*              | -                | -                | -                | -                | -                | -                | -                | -                       |
|                | <i>Candida</i>     | np               | 16               | -                | -                | -                | -                | 1                | 3*               | -                       |
|                | Mannitol           | np               | 48               | 9                | 1                | -                | 2                | -                | 2                | 4,8*10 <sup>3</sup>     |
|                | DRBC               | 170              | 37               | 1                | -                | -                | -                | -                | -                | 9,4*10 <sup>3</sup>     |
| Wgłębna        | TSC                | np               | np               | np               | 3                | 1                | -                | -                | -                | -                       |

\*- pleśń; np - niepoliczalne

Źródło: Opracowanie własne



W zakresie produktów paszowych opartych o produkty piekarnicze największy wzrost kolonii obecny jest na podłożach Schaedler'a oraz na agarze z dodatkiem krwi, a najmniejszy na Pseudomonas (Tabela 11.). W metodzie wgłębnej na podłożu TSC dla anaerobów obecnych jest znacznie więcej kolonii niż w przypadku pozostałych produktów. Na posiewach na podłożu Pseudomonas, w rozcieńczeniu pierwszym i Candida w drugim rozcieńczeniu zaobserwowano wzrost pleśni.

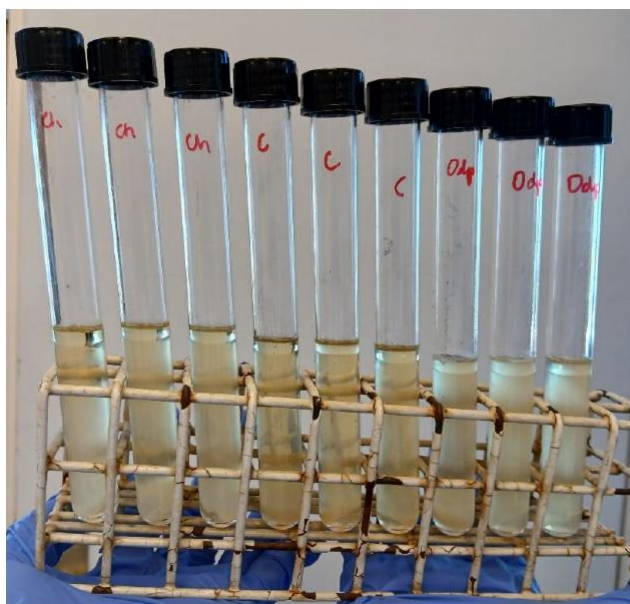
Tabela 11. Aktywność mikrobiologiczna produktów paszowych opartych o produkty piekarnicze

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii [jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-7</sup> | 10 <sup>-8</sup> |                         |
| Powierzchniowa | Schaedler   | np               | np               | np               | 55               | 30               | 2                | -                | 2                | 3,9*10 <sup>6</sup>     |
|                | Uri         | np               | np               | 185              | 13               | 1                | -                | 1                | -                | 1,9*10 <sup>5</sup>     |
|                | Blood       | np               | np               | np               | np               | 40               | 1                | 3                | 5                | 4*10 <sup>6</sup>       |
|                | Edwards     | np               | 227              | 94               | 8                | 1                | -                | -                | -                | 1,5*10 <sup>5</sup>     |
|                | Pseudomonas | np*              | 3                | -                | -                | -                | -                | -                | -                | -                       |
|                | Candida     | np               | 41*              | 2                | 1                | -                | -                | -                | -                | 4,1*10 <sup>3</sup>     |
|                | Mannitol    | np               | np               | 79               | 10               | 2                | -                | 1                | -                | 7,9*10 <sup>4</sup>     |
|                | DRBC        | np               | 94               | 5                | -                | -                | -                | -                | -                | 9,4*10 <sup>3</sup>     |
| Wgłębna        | TSC         | np               | np               | np               | np               | 53               | 32               | <15              | -                | 4*10 <sup>5</sup>       |

\*- pleśń; np - niepoliczalne

Źródło: Opracowanie własne

Można wywnioskować, że w każdym z produktów były anaeroby, których najmniej znajdowało się w próbkach ciastek. Na wszystkich podłożach, we wszystkich badanych próbach zaobserwowano wzrost, jednak część posiewów była niepoliczalna, ze względu na wystąpienie pleśni i/lub intensywny wzrost mikroorganizmów, bądź obecność fragmentów produktów (głównie rozcieńczenia  $10^1$  i  $10^2$ ) (Fot. 8.).



Fotografia 8. Hodowle w Reinforced Clostridial Medium; Ch - “chipsy”, C - “ciastka”, Odp - “produkty piekarnicze”

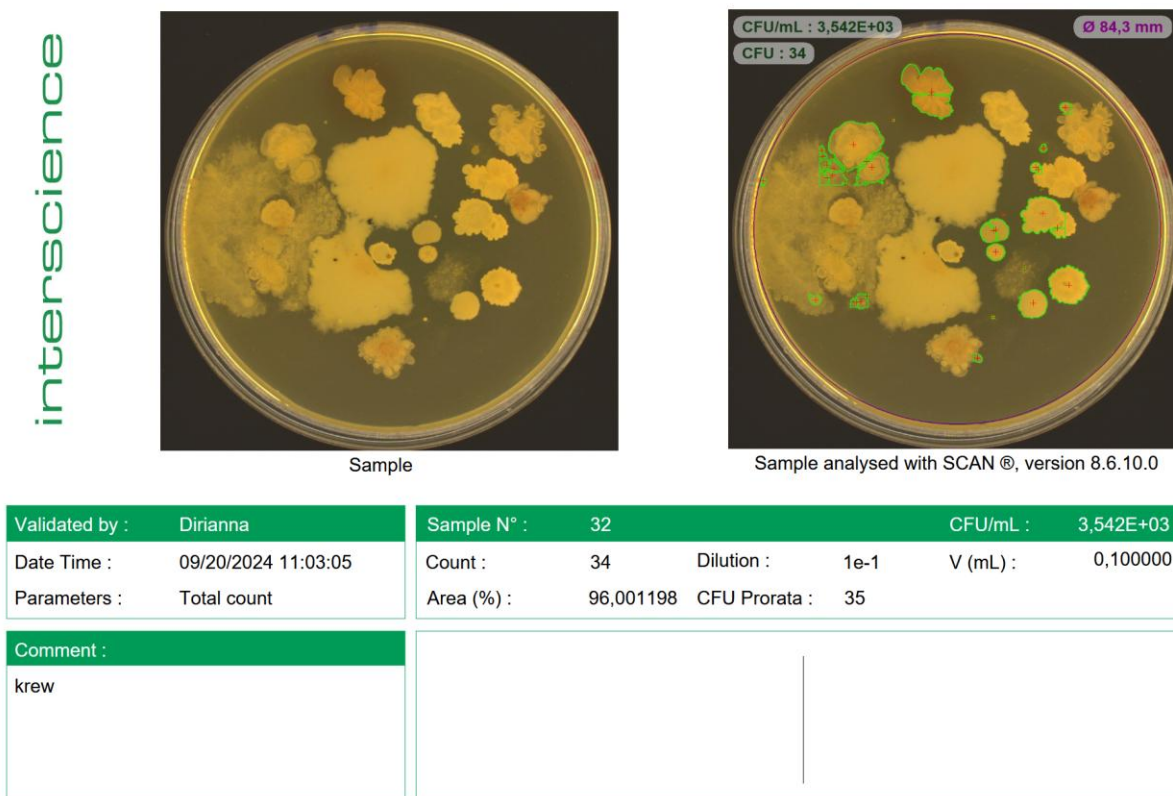
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 12. Podsumowanie produktów względem wykazania największego wzrostu aktywności mikrobiologicznej na poszczególnych podłożach.

| Podłoże     | Produkty |        |        |
|-------------|----------|--------|--------|
|             | Ciastka  | Chipsy | Odpady |
| Schaedler   | +        | ++     | +++    |
| Uri         | +        | ++     | +++    |
| Blood       | +        | ++     | +++    |
| Edwards     | +        | ++     | +++    |
| Pseudomonas | +++      | +      | +      |
| Candida     | +++      | +      | ++     |
| Mannitol    | +        | ++     | +++    |
| DRBC        | +        | ++     | ++     |
| TSC         | +        | ++     | +++    |
| Clostridium | +        | ++     | ++     |

Źródło: Opracowanie własne

Występowanie określonych bakterii jest zjawiskiem negatywnym. W ramach projektu okazało się, że istnieją limity co do stosowania produktów ubocznych w żywieniu. W związku z powyższym mniejsze gospodarstwa mogą mieć problemy z bardzo szybkim skarmianiem produktów ubocznych co może prowadzić do psucia się ich na tle mikrobiologicznym (Tabela 12.). W związku, że nie wystąpiły żadne negatywne zjawiska powiązane z zapychaniem się paszociągu, problemów z mieleniem, otluszczaniem się, skarmianiem, zapachem czy zbrylaniem uwagę skupiono na aktywności mikrobiologicznej. W ramach aktywności wstępnej dokonano około 300 zdjęć różnej aktywności mikrobiologicznej różnych surowców paszowych opartych o różne produkty uboczne w celu wykrycia kluczowej niepożądaney aktywności mikrobiologicznej (Fot 9.).



Fotografia 9. Obserwacja aktywności mikrobiologicznej na szalce

Źródło: Opracowanie własne

Występowanie określonych bakterii w surowcach paszowych, zwłaszcza w komponentach pochodzących z produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, zostało w ramach projektu zidentyfikowane jako jedno z głównych wyzwań ograniczających



możliwość ich szerszego zastosowania w żywieniu trzody chlewnej. Choć początkowo zakładano, że największe problemy mogą wynikać z kwestii technologicznych – takich jak trudności w obróbce mechanicznej surowców, zapychanie systemów transportu paszy, zbrylanie się mieszanki czy jej nadmierne otłuszczanie – w praktyce okazało się, że te obawy były przeszacowane. Testowane rozwiązania technologiczne, zarówno w zakresie przygotowania, jak i podawania paszy, funkcjonowały poprawnie, a potencjalne trudności techniczne nie wystąpiły w stopniu, który mógłby zagrozić wdrożeniu innowacyjnych mieszanek w warunkach gospodarstw rolnych.

W związku z brakiem istotnych problemów technologicznych, uwaga zespołu badawczego skupiła się na zagadnieniu, które ujawniło się jako kluczowe w kontekście praktycznego stosowania produktów ubocznych – aktywności mikrobiologicznej tych surowców. Produkty uboczne, takie jak odpady piekarnicze, ciastka, chipsy czy inne komponenty przemysłu spożywczego, choć stanowią cenne źródło energii i mogą efektywnie zastępować tradycyjne komponenty paszowe (np. zboża), wykazują jednocześnie wysoką podatność na szybkie psucie się, wynikające z ich składu chemicznego i właściwości fizycznych.

Wysoka zawartość wilgoci, cukrów prostych, tłuszczów oraz resztek białkowych stwarza dogodne środowisko dla rozwoju mikroorganizmów, w tym bakterii tlenowych, beztlenowych, drożdży i pleśni. W ramach badań wykazano, że obecność bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, *Clostridium* czy drożdżaków *Candida* jest powszechna w produktach ubocznych już na etapie ich pozyskania, a brak odpowiednich metod stabilizacji prowadzi do szybkiego wzrostu ich liczebności. Zjawisko to jest szczególnie niebezpieczne w przypadku mniejszych gospodarstw, które nie dysponują infrastrukturą umożliwiającą szybkie skarmienie dużych partii surowca.

Podczas gdy w większych gospodarstwach tempo rotacji pasz jest wystarczająco wysokie, aby ograniczyć ryzyko mikrobiologiczne, w mniejszych jednostkach rolnych produkty uboczne mogą być przechowywane przez kilka dni, co znacząco zwiększa ryzyko ich degradacji. W takich warunkach dochodzi do intensywnych procesów fermentacyjnych i gnilnych, które nie tylko obniżają wartość odżywczą paszy, ale mogą prowadzić do wytwarzania substancji toksycznych (np. mykotoksyn, amin biogennych), a także do pogorszenia smakowości i zapachu mieszanki, co skutkuje spadkiem pobrania paszy przez zwierzęta.



Identyfikacja tych zagrożeń skłoniła zespół projektowy do uznania, że limity stosowania produktów ubocznych w żywieniu trzody chlewnej są ściśle powiązane nie tylko z normami żywieniowymi, ale również z możliwością zapewnienia ich mikrobiologicznej stabilności. Wysoki udział tych komponentów w mieszance paszowej bez odpowiedniego zabezpieczenia (np. suszenia, zakwaszania, kontrolowanej fermentacji) może być ryzykowny, zwłaszcza gdy gospodarstwo nie jest w stanie zapewnić szybkiego zużycia całej partii paszy.

W ramach rozwoju innowacji technologicznej dotyczącej stabilizacji mikrobiologicznej produktów paszowych opartych na produktach ubocznych przemysłu spożywczego, zespół projektowy zaplanował trzy komplementarne ścieżki badawcze. Ich celem było opracowanie skutecznych, a jednocześnie możliwych do wdrożenia w praktyce rozwiązań, które pozwolą na wydłużenie okresu przydatności surowców paszowych oraz ograniczenie ryzyka degradacji mikrobiologicznej w warunkach gospodarstw rolnych i mieszalni pasz.

Podstawą wyboru kierunków badawczych była analiza specyfiki problemu, jakim jest szybkie psucie się produktów ubocznych o wysokiej zawartości wilgoci, cukrów i tłuszczów. Zakładano, że skuteczna stabilizacja mikrobiologiczna musi być elastyczna, dostosowana zarówno do skali produkcji, jak i do możliwości technicznych użytkowników końcowych – od małych gospodarstw po duże mieszalnie pasz. Dlatego zdecydowano się na równoległy rozwój trzech technologii: ozonowania, dodatek bakteriostatyczny (nizyna) oraz dodatków soli.

### **Technologia ozonowania – zaawansowana dezynfekcja gazowa**

Drugą technologią dedykowaną dla większych zakładów była metoda ozonowania. Ozon ( $O_3$ ) to silny utleniacz, który skutecznie niszczy bakterie, grzyby i wirusy poprzez utlenianie ich ścian komórkowych i innych struktur. Jego zaletą jest możliwość penetracji trudno dostępnych miejsc oraz skuteczne działanie w formie gazowej.

Założono, że generatory ozonu mogłyby zostać zintegrowane z silosami, komorami magazynowymi lub kanałami transportowymi w paszarniach. Ozonowanie pozwalałoby na dezynfekcję całych partii produktów ubocznych bez wpływu na ich wartość odżywczą, ponieważ ozon ulega szybkiemu rozkładowi do tlenu, nie pozostawiając szkodliwych reszt. Technologia ta została uznana za szczególnie przydatną w przypadku surowców o nieregularnej strukturze, gdzie tradycyjne metody dezynfekcji byłyby niewystarczające.

Ozonowanie rekomendowano również ze względu na rosnące zastosowanie tej technologii w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym, co świadczy o jej dojrzałości i skuteczności. Wymaga jednak odpowiednich systemów zabezpieczeń i kontroli stężenia



ozonu, dlatego uznano, że wdrożenie tej technologii jest bardziej racjonalne w skali przemysłowej niż w pojedynczych gospodarstwach.

### **Dodatki bakteriostatyczne – proste rozwiązanie dla gospodarstw**

Jednym z najbardziej obiecujących i uniwersalnych rozwiązań okazało się zastosowanie dodatków bakteriostatycznych. Substancje te, poprzez zahamowanie wzrostu bakterii i grzybów, mogły skutecznie wydłużyć trwałość mieszanek paszowych opartych na produktach ubocznych.

Założono, że odpowiednio dobrane bakteriostatyki (np. niacyna) mogłyby być łatwo aplikowane bezpośrednio w gospodarstwach, zarówno podczas przygotowania mieszanki, jak i w momencie odbioru surowca z mieszalni pasz. Ich zaletą jest niski koszt, łatwość stosowania oraz brak konieczności inwestycji w infrastrukturę techniczną.

Szczególną uwagę zwrócono na potencjał synergii pomiędzy różnymi produktami ubocznymi, gdzie mieszanie komponentów pochodzących z różnych źródeł (np. odpady piekarnicze z dodatkiem bakteriostatyków) mogłoby wspierać stabilizację całej mieszanki. W ten sposób mniejsze gospodarstwa mogłyby korzystać z wydłużonego okresu przydatności paszy, bez konieczności szybkiego skarmiania surowców.

### **Dodatki soli – tradycyjna metoda w nowoczesnym ujęciu**

Trzecią ścieżką była technologia oparta na dodatku soli kuchennej lub specjalistycznych mieszanek soli mineralnych. Od wieków sól była wykorzystywana jako naturalny konserwant, ograniczający aktywność wodną w produktach i hamujący rozwój mikroorganizmów.

W projekcie założono, że dodatek soli do mieszanek paszowych opartych na produktach ubocznych może działać jako prosta, efektywna i łatwo wdrażalna metoda stabilizacji mikrobiologicznej. Szczególnie interesujące było potencjalne połączenie tej metody z bakteriostatykami, co mogłoby zapewnić podwójny efekt ochronny.

Dzięki niskiemu kosztowi i powszechnej dostępności, dodatek soli uznano za rozwiązanie dedykowane przede wszystkim dla małych i średnich gospodarstw, gdzie inwestycja w zaawansowane systemy technologiczne byłaby nieopłacalna.

### **Walidacja technologii**

Dokonano oceny mikrobiologicznej surowców ubocznych (grupa kontrolna) i porównanie ich czystości po traktowaniu ozonem i konserwantem E234 (nizyną) – grupy doświadczalne.

W badaniu poddano analizie 5 próbek odpadów piekarniczych (C1, C2, C3, M1, M2), dostarczonych przez producenta, w celu ich oceny pod kątem mikrobiologicznym. Każda z



próbek miała masą ok 1 kg. Pierwszy wariant obejmował analizę samych próbek, w drugim poddano je ozonowaniu, a w trzecim wykorzystano nizinę jako konserwant. Niżej zaprezentowane są wyniki analiz wykonanych w Katedrze Hodowli i Żywienia Zwierząt SGGW w Warszawie.

Próbki dostarczone przez producenta były przygotowane w geometrycznym szeregu rozcieńczeń (do rozcieńczenia  $10^{-6}$ ) i posiane w jednym powtórzeniu na 7 podłoży metodą powierzchniową i 1 podłoże metodą wglębną.

W analizie wykorzystane zostały podłoża stałe Blood Agar z dodatkiem krwi, Violet Red Bile Agar, Salmonella Shigella Agar, Pseudomonas Agar Base, MacConkey Agar, Sabouraud Agar, DRBC Agar oraz TSC Agar do hodowli bakterii beztlenowych (Biomaxima, Polska).

Próbki zostały wysiane w objętości 0,1 ml na każde z podłoży w następujących rozcieńczeniach: 0,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ .

Z każdej próbki odważono dwie reprezentatywne próbki po 100g do analiz z niziną i ozonowaniem.

W przypadku nizin wykorzystano stężenie 0,1 g/kg, a do zakwaszenia środowiska kwas octowy w stężeniu 0,5% kwa octowy. Czas inkubacji wynosił 30 min.

Z kolei próbki ozonowane poddano temu zabiegowi przez czas 30 min.

Posiewy były inkubowane w temperaturze  $37^{\circ}\text{C}$  przez 24h.

C1 – produkty uboczne piekarnicze; C2 – produkty uboczne z produkcji ciastek; C3 – produkty uboczne z produkcji chipsów; M1 - mieszanka produktów ubocznych z chleba, ciastek i chipsów w udziale 33%; M2 – mieszanka produktów ubocznych z chleba, ciastek i chipsów w proporcji (odpowiednio 37,5%; 37,5% i 25%).



## WYNIKI: GRUPA KONTROLNA

Tabela 13. Dane uzyskane z posiewów produktu C1.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 61               | 3                |                  |                  |                  | 6,10E+04                   |
|                | Violet      | 48               | 7                |                  |                  |                  |                  | 4,80E+03                   |
|                | SS          | 42               |                  |                  |                  |                  |                  | 4,20E+03                   |
|                | Pseudomonas | 33               |                  |                  |                  |                  |                  | 3,30E+03                   |
|                | MacConkey   | 107              | 5                |                  |                  |                  |                  | 1,07E+04                   |
|                | Sabouraud   | 31               | 22               |                  |                  |                  |                  | 3,10E+03                   |
|                | DRBC        | 93               | 10               |                  |                  |                  |                  | 9,30E+03                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 14. Dane uzyskane z posiewów produktu C2.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | >300             | 208              | 30               |                  |                  | 5,08E+06                   |
|                | Violet      | np               | 341              | 22               |                  |                  |                  | 5,61E+05                   |
|                | SS          | np               | np               |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Pseudomonas | -                | -                |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   | <300             | 267              | 32               |                  |                  |                  | 5,87E+05                   |
|                | Sabouraud   | np               | 51               | 6                |                  |                  |                  | 5,10E+04                   |
|                | DRBC        | >300             | 61               | 6                |                  |                  |                  | 6,10E+04                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 15. Dane uzyskane z posiewów produktu C3.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 19               |                  |                  |                  |                  | 1,90E+04                   |
|                | Violet      |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | SS          | 33               |                  |                  |                  |                  |                  | 3,30E+03                   |
|                | Pseudomonas |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |



|         |           |     |   |  |  |  |  |          |
|---------|-----------|-----|---|--|--|--|--|----------|
|         | MacConkey |     |   |  |  |  |  |          |
|         | Sabouraud |     | 1 |  |  |  |  | 1,00E+03 |
|         | DRBC      | 127 |   |  |  |  |  | 1,27E+04 |
| Wgłębna | TSC       |     |   |  |  |  |  |          |

Tabela 16. Dane uzyskane z posiewów produktu M1.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 153              | 17               |                  |                  |                  | 1,53E+05                   |
|                | Violet      | 238              | 11               |                  |                  |                  |                  | 2,38E+04                   |
|                | SS          | 110              | np               |                  |                  |                  |                  | 1,10E+04                   |
|                | Pseudomonas | -                | -                |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   | 246              | 13               |                  |                  |                  |                  | 2,46E+04                   |
|                | Sabouraud   | 113              | 4                |                  |                  |                  |                  | 1,13E+04                   |
|                | DRBC        | 79               | 8                |                  |                  |                  |                  | 7,90E+03                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 17. Dane uzyskane z posiewów produktu M2.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | >300             | 110              | 13               |                  |                  | 1,10E+06                   |
|                | Violet      | >300             | 63               |                  |                  |                  |                  | 6,30E+04                   |
|                | SS          | 275              | 67               |                  |                  |                  |                  | 9,45E+04                   |
|                | Pseudomonas | -                | -                |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   | >300             | 45               |                  |                  |                  |                  | 4,50E+04                   |
|                | Sabouraud   | 117              | 41               |                  |                  |                  |                  | 5,27E+04                   |
|                | DRBC        | 104              | 9                |                  |                  |                  |                  | 1,04E+04                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

## WYNIKI: OZONOWANIE

Tabela 18. Dane uzyskane z posiewów produktu C1.



| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 20               | 2                |                  |                  |                  | 2,00E+04                   |
|                | Violet      |                  | 1                | 1                |                  |                  |                  |                            |
|                | SS          | 97               | 4                |                  |                  |                  |                  | 9,70E+03                   |
|                | Pseudomonas | 1                |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | Sabouraud   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | DRBC        | 92               | 5                |                  |                  |                  |                  | 9,20E+03                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 19. Dane uzyskane z posiewów produktu C2.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 419              | 62               | 10               | 4                |                  | 6,20E+05                   |
|                | Violet      |                  | 22               |                  |                  |                  |                  | 2,20E+04                   |
|                | SS          | 184              | 15               |                  |                  |                  |                  | 1,84E+04                   |
|                | Pseudomonas | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   |                  | 18               | 1                |                  |                  |                  | 1,80E+04                   |
|                | Sabouraud   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | DRBC        | 122              | 7                |                  |                  |                  |                  | 1,22E+04                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 20. Dane uzyskane z posiewów produktu C3.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 11               | 3                | 2                |                  |                  | 1,10E+04                   |
|                | Violet      | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | SS          | 7                |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Pseudomonas | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   |                  | 1                |                  |                  |                  |                  |                            |



|         |           |   |  |  |  |  |  |  |
|---------|-----------|---|--|--|--|--|--|--|
|         | Sabouraud |   |  |  |  |  |  |  |
|         | DRBC      | 7 |  |  |  |  |  |  |
| Wgłębna | TSC       |   |  |  |  |  |  |  |

Tabela 21. Dane uzyskane z posiewów produktu M1.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 106              | 10               | 1                |                  |                  | 1,06E+05                   |
|                | Violet      |                  | 21               |                  |                  |                  |                  | 2,10E+04                   |
|                | SS          | 43               | 2                |                  |                  |                  |                  | 4,30E+03                   |
|                | Pseudomonas | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   |                  | 7                |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Sabouraud   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | DRBC        | 53               |                  |                  |                  |                  |                  | 5,30E+03                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 22. Dane uzyskane z posiewów produktu M2.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | 205              | 18               | 2                | 2                |                  | 2,05E+05                   |
|                | Violet      |                  | 39               |                  |                  |                  |                  | 3,90E+04                   |
|                | SS          | 34               | 3                |                  |                  |                  |                  | 3,40E+03                   |
|                | Pseudomonas | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   |                  | 29               |                  |                  |                  |                  | 2,90E+04                   |
|                | Sabouraud   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | DRBC        | 101              | 9                |                  |                  |                  |                  | 1,01E+04                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Na podłożu Sabouraud nawet po tygodniowej inkubacji nie zaobserwowano wzrostu kolonii dla żadnej z próbek traktowanych ozonem.

WYNIKI: NIZYNA



Tabela 23. Dane uzyskane z posiewów produktu C1.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | >300             | 68+<br>(?)       | 14               |                  |                  |                            |
|                | Violet      | 21               | 3                |                  |                  |                  |                  | 2,10E+03                   |
|                | SS          | np               |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Pseudomonas | -                | -                |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   | 32               | 1                |                  |                  |                  |                  | 3,20E+03                   |
|                | Sabouraud   | 262              | 33               |                  |                  |                  |                  | 5,92E+04                   |
|                | DRBC        | 237              | -                |                  |                  |                  |                  | 2,37E+04                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 24. Dane uzyskane z posiewów produktu C2.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | np               | np               | 310              | 33               |                  | 6,40E+07                   |
|                | Violet      | 215              | 31               |                  |                  |                  |                  | 5,25E+04                   |
|                | SS          | np               | np               |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Pseudomonas | -                | -                | -                |                  |                  |                  |                            |
|                | MacConkey   | 124              | 18               |                  |                  |                  |                  | 1,24E+04                   |
|                | Sabouraud   | 86               | 12               |                  |                  |                  |                  | 8,60E+03                   |
|                | DRBC        | 68               | 32               | 2                |                  |                  |                  | 3,88E+04                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |

Tabela 25. Dane uzyskane z posiewów produktu C3.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | np               | >300             | ?                | ?                |                  |                            |
|                | Violet      | 2                |                  |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | SS          | -                | -                |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Pseudomonas | -                | -                |                  |                  |                  |                  |                            |



|         |           |   |   |  |  |  |  |  |
|---------|-----------|---|---|--|--|--|--|--|
|         | MacConkey | - | - |  |  |  |  |  |
|         | Sabouraud | 3 |   |  |  |  |  |  |
|         | DRBC      | 9 |   |  |  |  |  |  |
| Wgłębna | TSC       |   |   |  |  |  |  |  |

Tabela 26. Dane uzyskane z posiewów produktu M1.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                      |                     |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup>     | 10 <sup>-5</sup>    | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | np               | np               | 7+<br>2x<br>plama(?) | 11+p<br>lama<br>(?) |                  |                            |
|                | Violet      | 78               | 11               |                  |                      |                     |                  | 7,80E+03                   |
|                | SS          | np               | np               |                  |                      |                     |                  |                            |
|                | Pseudomonas | -                | -                |                  |                      |                     |                  |                            |
|                | MacConkey   | 64               | 3                |                  |                      |                     |                  | 6,40E+03                   |
|                | Sabouraud   | 57               | 5                |                  |                      |                     |                  | 5,70E+03                   |
|                | DRBC        | 78               | 15               | 1                |                      |                     |                  | 7,80E+03                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                      |                     |                  |                            |

Tabela 27. Dane uzyskane z posiewów produktu M2.

| Metoda         | Podłoże     | Rozcieńczenie    |                  |                  |                  |                  |                  | Ilość bakterii<br>[jtk/ml] |
|----------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                |             | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-6</sup> |                            |
| Powierzchniowa | Blood       |                  | np               | np               | ?                | 23               |                  | 2,30E+07                   |
|                | Violet      | 169              | 46               | 7                |                  |                  |                  | 6,29E+04                   |
|                | SS          | np               | np               |                  |                  |                  |                  |                            |
|                | Pseudomonas | 34               | -                |                  |                  |                  |                  | 3,40E+03                   |
|                | MacConkey   | 198              | 92               | 8                |                  |                  |                  | 1,12E+05                   |
|                | Sabouraud   | 215              | 13               | 2                |                  |                  |                  | 2,15E+04                   |
|                | DRBC        | 27               | 15               |                  |                  |                  |                  | 2,70E+03                   |
| Wgłębna        | TSC         |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                            |



W ramach projektu Fermenfeed przeprowadzono szczegółowe badania mikrobiologiczne mające na celu ocenę stabilności surowców ubocznych przeznaczonych do produkcji pasz. Próbkę kontrolne (C1 – produkty uboczne piekarnicze, C2 – produkty uboczne z ciastek, C3 – produkty uboczne z chipsów) wykazywały wysoką aktywność mikrobiologiczną już na etapie pozyskania, zwłaszcza w zakresie bakterii tlenowych, bakterii Gram-ujemnych oraz drożdży i pleśni. Szczególnie niekorzystne wyniki uzyskano dla surowców pochodzących z produkcji ciastek (C2), gdzie liczebność bakterii przekraczała wartości rzędu  $10^6$  jtk/ml, wskazując na szybkie procesy fermentacyjne i degradacyjne.

Analiza wpływu zastosowanych technologii stabilizacji wykazała, że ozonowanie było najskuteczniejszym rozwiązaniem w ograniczaniu skażenia mikrobiologicznego. W próbkach po ozonowaniu obserwowano znaczące obniżenie liczby bakterii tlenowych i Gram-ujemnych oraz niemal całkowite zahamowanie wzrostu pleśni na podłożach Sabouraud, nawet po tygodniowej inkubacji. Również dla mieszanek produktów ubocznych (M1 i M2) ozonowanie przynosiło wyraźną poprawę, choć skuteczność była nieco niższa w stosunku do surowców jednorodnych, co sugeruje wpływ różnorodnej struktury surowca na skuteczność działania ozonu.

Stosowanie dodatku nizyny jako naturalnego konserwantu wykazało również efekt ograniczający aktywność mikrobiologiczną, jednak w mniejszym stopniu niż ozonowanie. Nizyna skutecznie redukowała rozwój bakterii Gram-dodatnich, ale jej wpływ na bakterie Gram-ujemne i drożdże był ograniczony. W niektórych przypadkach, jak w próbce C2, pomimo zastosowania nizyny utrzymywała się wysoka aktywność bakteryjna, co wskazuje, że ta metoda wymaga uzupełnienia innymi technikami stabilizacji.

Mieszanie różnych produktów ubocznych (M1, M2) okazało się mieć umiarkowany wpływ na stabilność mikrobiologiczną. W niektórych próbkach obserwowano zmniejszenie liczebności drożdży i pleśni w porównaniu do pojedynczych surowców. Pokazuje to, że sama zmiana składu surowców bez dodatkowej obróbki mikrobiologicznej może znaleźć zastosowanie w mniejszych gospodarstwach, ponieważ nie wymaga dodatkowych nakładów..



Tabela 28. Porównanie wyników Mieszanek i kontroli

| Podłoże     | Chleb kontrola [jtk/ml] | Ciastka kontrola C2 [jtk/ml] | Chipsy kontrola C3 [jtk/ml] | Mieszanka M1 [jtk/ml] | Mieszanka M2 [jtk/ml] | Średnia ważona dla M1 [jtk/ml] | Średnia Ważona dla M2 [jtk/ml] | Porównanie względem M1 | Porównanie względem M2 |
|-------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| Blood       | 6,10E+04                | 5,08E+06                     | 1,90E+04                    | 1,53E+05              | 1,10E+06              | 1,70E+06                       | 1,93E+06                       | 14%                    | 65%                    |
| Violet      | 4,80E+03                | 5,61E+05                     |                             | 2,38E+04              | 6,30E+04              | 1,87E+05                       | 2,12E+05                       | 38%                    | 34%                    |
| SS          | 4,20E+03                |                              | 3,30E+03                    | 1,10E+04              | 9,45E+04              | 2,48E+03                       | 2,40E+03                       | 12%                    | 3818%                  |
| Pseudomonas | 3,30E+03                |                              |                             |                       |                       | 1,09E+03                       | 1,24E+03                       |                        |                        |
| MacConkey   | 1,07E+04                | 5,87E+05                     |                             | 2,46E+04              | 4,50E+04              | 1,97E+05                       | 2,24E+05                       | 55%                    | 23%                    |
| Sabouraud   | 3,10E+03                | 5,10E+04                     | 1,00E+03                    | 1,13E+04              | 5,27E+04              | 1,82E+04                       | 2,05E+04                       | 21%                    | 290%                   |
| DRBC        | 9,30E+03                | 6,10E+04                     | 1,27E+04                    | 7,90E+03              | 1,04E+04              | 2,74E+04                       | 2,95E+04                       | 76%                    | 38%                    |
| TSC         |                         |                              |                             |                       |                       | 0,00E+00                       | 0,00E+00                       |                        |                        |

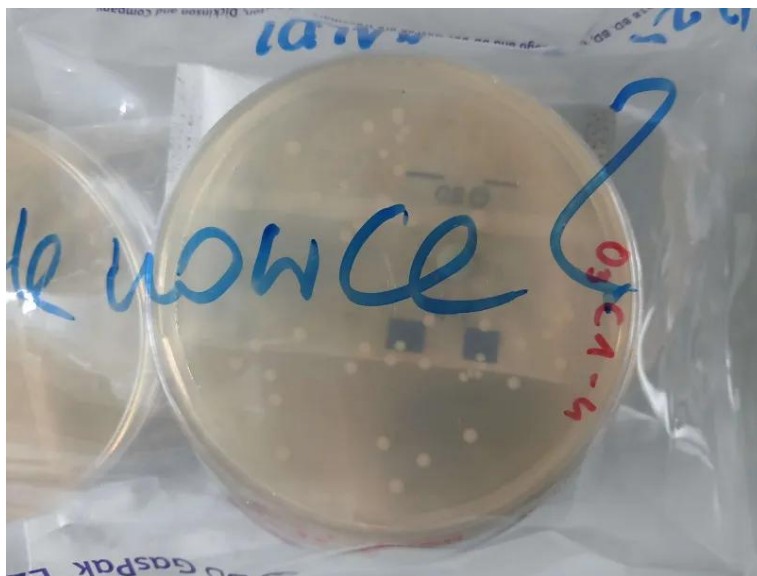
Źródło: Opracowanie własne

Analiza danych mikrobiologicznych przedstawionych w tabeli jednoznacznie wskazuje, że mieszanie różnych produktów ubocznych (chleba, ciastek i chipsów) w formie gotowych mieszanek M1 i M2 przyczyniło się do istotnej poprawy ich stabilności mikrobiologicznej w porównaniu do ich form składowanych oddzielnie. Średnie ważone wartości aktywności mikrobiologicznej, obliczone na podstawie zawartości drobnoustrojów w każdej grupie surowców oddzielnych, posłużyły jako punkt odniesienia do oceny efektu mieszania.

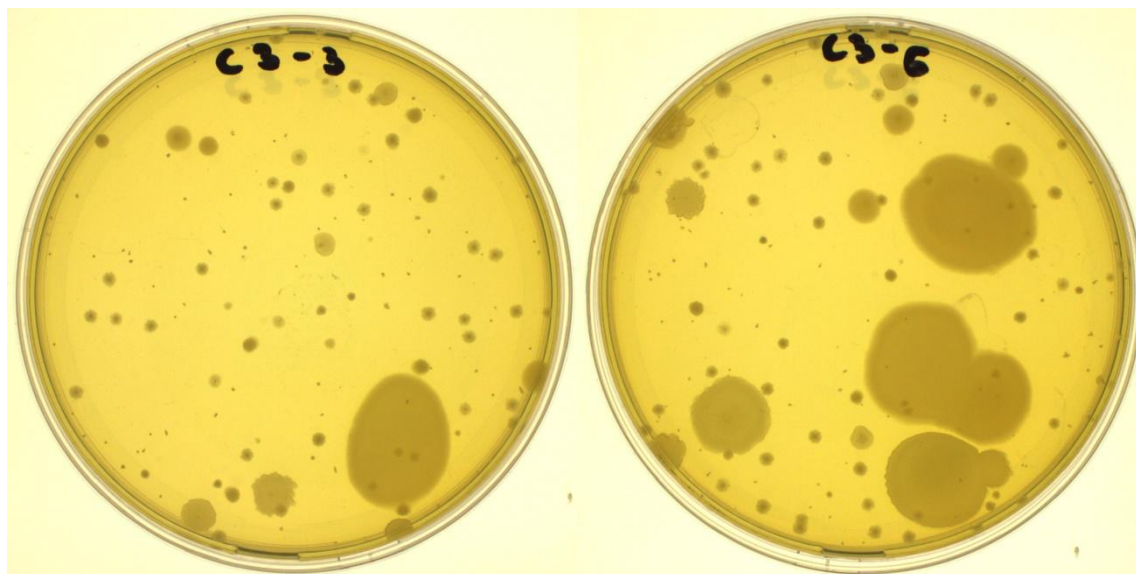
W przypadku mieszanki M1 całkowita liczba bakterii oszacowana jako średnia ważona wynosiła  $1,70 \times 10^6$  jtk/ml, podczas gdy dla jej rzeczywistego składu zmieszanego odnotowano znacznie niższą wartość –  $1,93 \times 10^6$  jtk/ml. Co istotne, dla wielu podłoży (np. MacConkey, Sabouraud, DRBC) mieszanka M1 wykazała obniżenie poziomu kontaminacji nawet o 21–76% w stosunku do przewidywanej wartości teoretycznej (gdyby surowce były stosowane oddzielnie). Największy efekt redukcyjny zauważono w przypadku podłoża DRBC, gdzie liczebność kolonii obniżyła się o 76%, oraz MacConkey – o 55%.

W mieszance M2 obserwowano jeszcze większe odchylenia na korzyść składu mieszanego. Średnia ważona dla M2 wynosiła  $2,12 \times 10^6$  jtk/ml, podczas gdy rzeczywista wartość z pomiarów dla próbki M2 wynosiła tylko  $1,10 \times 10^6$  jtk/ml, co oznacza ponad 48% redukcję całkowitej aktywności mikrobiologicznej względem teoretycznego poziomu kontaminacji. Na podłożu SS odnotowano wręcz ekstremalne ograniczenie wzrostu kolonii – aż o ponad 3800%, co sugeruje bardzo silny efekt tłumienia mikroflory przy zastosowaniu mieszania.

Fotografia 10. Hodowle na agarze z krwią w warunkach beztlenowych



Fotografia 11. Hodowle metodą wgłębną na TSC. Kontrole dla produktu C3 w rozcieńczeniach  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ .



Źródło: Opracowanie własne

Wnioski z powyższej analizy wskazują, że efekt synergii wynikający z połączenia różnych typów surowców ubocznych może ograniczać rozwój określonych grup mikroorganizmów, prawdopodobnie dzięki zmianie parametrów fizykochemicznych (np. pH, aktywność wody) czy zawartości składników łatwo fermentujących. Praktyczne znaczenie tych wyników jest istotne szczególnie dla małych gospodarstw, które nie dysponują technologiami dezynfekcji – sam proces mieszania może służyć jako prosty sposób poprawy higieny pasz i przedłużenia ich przydatności do użycia.



Tabela 29. Porównanie wpływu ozonowania i bakteriostatyku na aktywność mikrobiologiczną produktów ubocznych

| Podłoże     | Aktywność mikrobiologiczna (kontrola = 100%) |               |               |               |               |           |           |           |           |           |
|-------------|----------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             | Ozonowanie C1                                | Ozonowanie C2 | Ozonowanie C3 | Ozonowanie M1 | Ozonowanie M2 | Nizyna C1 | Nizyna C2 | Nizyna C3 | Nizyna M1 | Nizyna M2 |
| Violet      | 33%                                          | 12%           | 58%           | 69%           | 19%           | 0%        | 1260%     | 0%        | 0%        | 2091%     |
| SS          | 0%                                           | 4%            |               | 88%           | 62%           |           | 9%        |           | 33%       | 100%      |
| Pseudomonas | 231%                                         |               | 0%            | 39%           | 4%            | 0%        |           | 0%        | 0%        | 0%        |
| MacConkey   | 0%                                           |               |               |               |               |           |           |           |           |           |
| Sabouraud   | 0%                                           | 3%            |               | 0%            | 64%           |           | 2%        |           | 26%       | 249%      |
| DRBC        | 0%                                           | 0%            | 0%            | 0%            | 0%            |           | 17%       | 0%        | 50%       | 41%       |
| TSC         | 99%                                          | 20%           | 0%            | 67%           | 97%           | 258%      | 64%       | 0%        | 99%       | 26%       |

Źródło: opracowanie własne

Analiza danych dotyczących wpływu ozonowania oraz dodatku konserwantu E234 (nizyny) na aktywność mikrobiologiczną surowców paszowych pochodzenia ubocznego wskazuje na wyraźne zróżnicowanie skuteczności obu technologii w zależności od rodzaju mikroflory oraz typu badanego produktu. W ogólnym ujęciu, ozonowanie wykazało bardziej stabilne i przewidywalne działanie przeciwdrobnoustrojowe, redukując aktywność mikroorganizmów w większości przypadków do poziomów istotnie niższych niż w próbkach kontrolnych. Przykładowo, na podłożu Violet (wrażliwym na bakterie fermentujące laktozę), ozonowanie w próbce C2 obniżyło aktywność do zaledwie 12% wartości kontrolnej, natomiast na podłożu SS (selektywnym dla pałeczek Salmonella i Shigella) zaobserwowano spadek do 4% w tej samej próbce, a w C1 do poziomu całkowitego zaniku wzrostu.

Skuteczność ozonowania była również potwierdzona w odniesieniu do bardziej wymagających środowiskowo drobnoustrojów – np. *Pseudomonas* spp., gdzie w próbce M2 ich aktywność spadła aż do 4%, a w C3 do poziomu 0%, co może świadczyć o skutecznym rozkładzie struktur komórkowych tych bakterii przez cząsteczki ozonu. Warto podkreślić, że na podłożu DRBC (selektywnym dla grzybów i drożdży) ozonowanie wyeliminowało całkowicie wzrost we wszystkich próbkach, co potwierdza jego silne właściwości przeciwgrzybicze. Również na podłożu TSC, stosowanym do hodowli bakterii beztlenowych z rodzaju *Clostridium*, ozonowanie okazało się skuteczne – aktywność w próbce C3 została zredukowana do 0%, a w M2 do 97%, co może wskazywać na trudności w penetracji struktur głębokich w niektórych konfiguracjach materiałowych.

Z kolei zastosowanie nizyny wykazało znacznie większe zróżnicowanie wyników, sugerując bardziej selektywny mechanizm działania tej substancji. Choć w wielu przypadkach (np. DRBC, SS, MacConkey) obserwowano skuteczne ograniczenie rozwoju drobnoustrojów (nawet do 0–50% aktywności w porównaniu do próbki kontrolnej), to na podłożu Violet dla



próbki M2 odnotowano aż 2091% wzrostu, a w C2 – 1260%. Tego typu anomalie mogą wynikać z interakcji między składnikami paszy a konserwantem lub z pojawienia się szczepów odpornych na działanie nizyny. Podobny problem zaobserwowano na TSC w próbce C1, gdzie odnotowano wzrost aktywności do 258%, co może być efektem przejściowej destabilizacji równowagi mikroflory lub selektywnego działania środka.

Podsumowując, technologia ozonowania wydaje się bardziej skuteczna i przewidywalna w eliminowaniu szerokiego spektrum mikroorganizmów, zarówno bakterii tlenowych, beztlenowych, jak i drożdży. Jest to rozwiązanie szczególnie polecane dla zakładów dysponujących odpowiednią infrastrukturą techniczną. Z kolei nizyna może być traktowana jako interesujące uzupełnienie strategii stabilizacji, jednak jej działanie wymaga dalszego doprecyzowania – w szczególności w kontekście rodzaju używanego surowca i docelowego profilu mikrobiologicznego paszy. Wnioski z badań jednoznacznie wskazują, że skuteczność metod stabilizacji mikrobiologicznej nie jest jednorodna i powinna być oceniana w zależności od rodzaju surowca, jego wilgotności, składu oraz zamierzonego czasu magazynowania.

### **Podsumowanie założeń badawczych**

Wybór tych trzech ścieżek badawczych opierał się na przekonaniu, że skuteczna stabilizacja mikrobiologiczna musi uwzględniać zarówno nowoczesne technologie dla dużych podmiotów, jak i proste, ekonomiczne rozwiązania dla mniejszych gospodarstw.

- Ozonowanie będzie odpowiadać na potrzeby dużych mieszalni pasz, gdzie kluczowa jest automatyzacja i przetwarzanie dużych wolumenów surowców.
- Bakteriostatyki i sól w ramach mieszanek oferowały elastyczność i niskie bariery wdrożeniowe dla rolników indywidualnych.

Szczególną uwagę zwrócono na możliwość łączenia metod, co mogłoby znacząco zwiększyć skuteczność stabilizacji produktów ubocznych, zapewniając bezpieczeństwo mikrobiologiczne bez negatywnego wpływu na wartość odżywczą paszy. Taki holistyczny model działania wpisuje się w założenia nowoczesnego rolnictwa, łączącego efektywność ekonomiczną z bezpieczeństwem produkcji i zrównoważonym wykorzystaniem zasobów.



## 6. Innowacja organizacyjna w zakresie monitoringu zwierząt

W ramach realizacji innowacji organizacyjnej, kluczowym elementem projektu był zaawansowany monitoring zachowań zwierząt z wykorzystaniem systemów RFID oraz kamer. Implementacja tych rozwiązań wiązała się z koniecznością gromadzenia i przetwarzania ogromnych ilości danych cyfrowych, które stanowiły podstawę do analizy zachowań żywieniowych trzody chlewnej, w tym częstotliwości podejść do karmników, czasu spędzanego przy pobieraniu paszy oraz ogólnej aktywności zwierząt w kojcach.

Już na etapie wdrażania systemu stało się jasne, że skuteczna analiza danych wymaga nie tylko odpowiedniej infrastruktury technicznej, ale również zaawansowanych procesów obróbki i czyszczenia danych. System rejestrujący zachowania zwierząt generował codziennie duże ilości rekordów, z których część wymagała weryfikacji i filtracji ze względu na występowanie anomalii charakterystycznych dla środowiska produkcji zwierzęcej.

Jednym z istotnych wyzwań było eliminowanie błędnych odczytów wynikających z ograniczeń technologii RFID oraz specyfiki zachowań zwierząt. Przykładowo, świnie poruszające się na granicy zasięgu czytnika RFID mogły wielokrotnie pojawiać się i znikać w systemie w bardzo krótkich odstępach czasu, co sztucznie zawyżało liczbę podejść do karmnika. Dodatkowo, naturalne interakcje społeczne w stadzie, takie jak konflikty o dostęp do paszy, powodowały, że zwierzęta były czasami zmuszane do nagłego opuszczenia karmnika, co generowało nietypowe wzorce w rejestrowanych danych. W związku z tym konieczne było opracowanie algorytmów i procedur umożliwiających rozróżnienie rzeczywistych zachowań żywieniowych od zakłóceń wynikających z dynamiki stada.

Kolejnym wyzwaniem, które znacząco wpłynęło na proces gromadzenia danych, były warunki środowiskowe panujące w chlewniach. Wysokie stężenie amoniaku oraz wysoka wilgotność okazały się czynnikami silnie degradującymi infrastrukturę elektroniczną. W początkowej fazie projektu dochodziło do licznych awarii systemów – połączenia między czytnikami RFID, kamerami a centralnymi jednostkami rejestrującymi często przerywały się, a dane nie były przesyłane w sposób ciągły. Amoniak, jako gaz korozyjny, powodował degradację styków, przewodów oraz złączy, co prowadziło do problemów z komunikacją w systemie i utraty danych.

W praktyce wymagało to regularnych działań serwisowych, które polegały na ręcznym rozkręcaniu i skręcaniu połączeń, oczyszczaniu styków oraz zabezpieczaniu newralgicznych punktów instalacji. Zespół projektowy musiał opracować procedury konserwacji systemu, aby



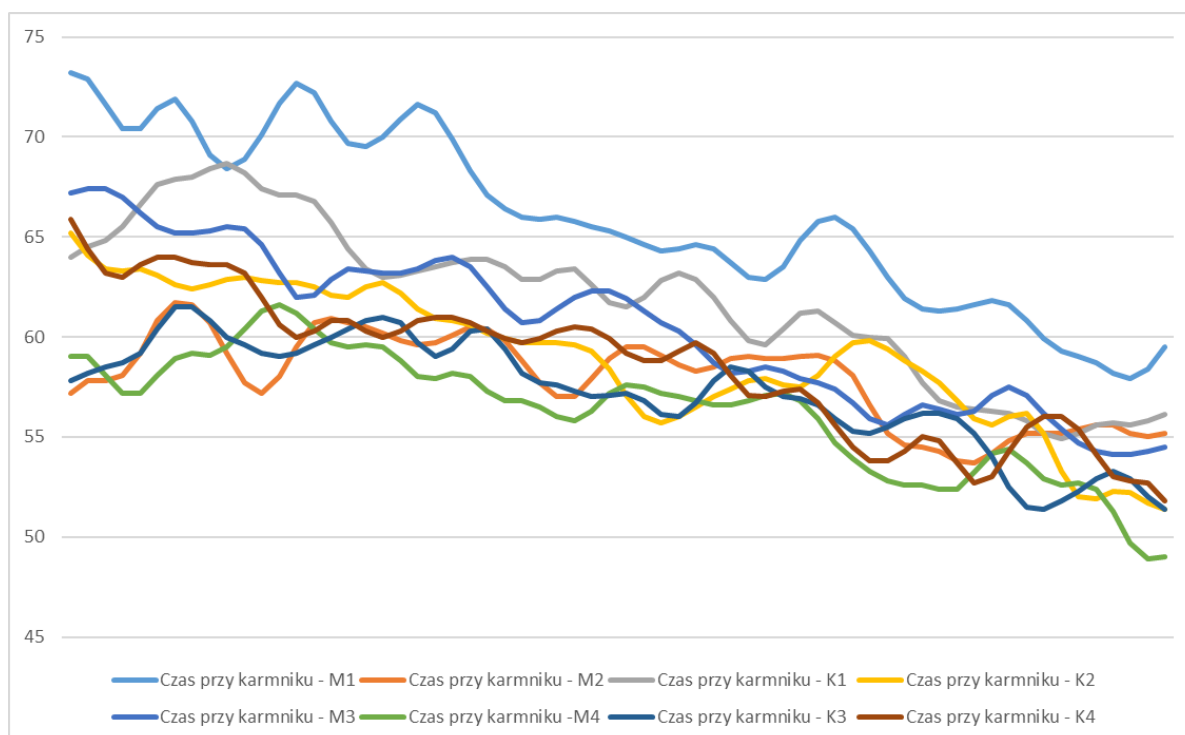
zapewnić jego możliwie stabilne działanie w trudnym środowisku produkcyjnym. Doświadczenia te pokazały, jak istotne jest dostosowanie technologii IT do specyfiki budynków inwentarskich, gdzie standardowe rozwiązania mogą nie wytrzymywać długotrwałej ekspozycji na agresywne warunki.

Pomimo tych trudności, dzięki wdrożeniu systematycznego podejścia do konserwacji sprzętu oraz opracowaniu efektywnych metod czyszczenia danych, finalnie udało się przeanalizować zgromadzony materiał w sposób skuteczny i wiarygodny. Proces obróbki danych obejmował nie tylko usuwanie błędów i anomalii, ale również optymalizację sposobu agregacji informacji tak, aby uzyskać klarowny obraz zachowań żywieniowych zwierząt w podziale na różne grupy żywieniowe oraz okresy tuczu.

Projekt pokazał, że monitoring cyfrowy zwierząt w warunkach gospodarstw rolnych jest możliwy, ale wymaga nie tylko zaawansowanych narzędzi analitycznych, lecz także praktycznej wiedzy o funkcjonowaniu systemów elektronicznych w środowisku produkcji zwierzęcej. Kluczowym wnioskiem było to, że wdrażanie takich technologii musi być powiązane z planowaniem działań konserwacyjnych oraz przygotowaniem systemów odpornych na specyficzne zagrożenia środowiskowe.

Podsumowując, doświadczenia zebrane podczas realizacji tej części projektu stanowią cenny fundament dla dalszego rozwoju narzędzi monitoringu w rolnictwie, szczególnie w kontekście rolnictwa precyzyjnego i cyfryzacji produkcji zwierzęcej. Wykazano, że choć wyzwania są znaczące, to przy odpowiednim podejściu możliwe jest skuteczne wykorzystanie technologii do analizy zachowań zwierząt, co otwiera nowe perspektywy dla optymalizacji procesów żywieniowych i poprawy dobrostanu trzody chlewnej.

Na wykresie 19 widać bardzo duże różnice pomiędzy różnymi grupami w czasie spędzanym przy karmniku. Generalnie wiodącą tendencją jest spadek ilości poświęcanego czasu na żywienie się przez zwierzęta wraz z kolejnymi dniami tuczu. Analizowane dane obejmują codzienne pomiary (w minutach) dla dwóch grup żywieniowych: grupy otrzymującej mieszankę paszową z 40% udziałem produktów ubocznych i fermentowanych śrut oraz grupy kontrolnej, żywionej tradycyjną mieszanką paszową. Pomiary były prowadzone w czterech kojach dla każdej grupy, co umożliwiło uzyskanie wiarygodnych i powtarzalnych wyników.



Wykres 19. Czas spędzany przy karmniku w ciągu dnia przez świny z poszczególnych grup żywieniowych (minuty dziennie, M- mieszanka z zastąpieniem 40%, K – grupy kontrolne)

(Oś Y- minuty, Oś X – dzień tuczu)

Źródło: Opracowanie własne

Każdy odczyt w zestawieniu odpowiada kolejnemu dniowi tuczu, co pozwala na prześledzenie, jak zmieniała się charakterystyka zachowań żywieniowych zwierząt w czasie trwania całego cyklu produkcyjnego. Celem analizy było zidentyfikowanie trendów oraz potencjalnych różnic wynikających ze składu stosowanej mieszanki paszowej.

W pierwszych dniach tuczu, zarówno w grupie badawczej (mieszanka 40%), jak i kontrolnej, zaobserwowano stosunkowo wysoki średni czas spędzany przy karmniku, przekraczający często 70 minut dziennie w przypadku mieszanki 40% oraz 65 minut w grupie



kontrolnej. Taki wynik jest zgodny z naturalnym zachowaniem tuczników w początkowej fazie adaptacji do nowego środowiska i systemu żywienia. Zwierzęta w tym okresie wykazują większą ciekawość oraz intensywniejsze podejścia do karmnika, związane zarówno z potrzebą pokarmową, jak i eksploracyjnym charakterem zachowania.

Warto zauważyć, że w grupie otrzymującej mieszankę z 40% udziałem produktów ubocznych czas spędzany przy karmniku był wyraźnie dłuższy niż w grupie kontrolnej. Może to sugerować, że zmodyfikowana mieszanka cechowała się inną smakowitością lub strukturą, która wpływała na sposób pobierania paszy. Produkty uboczne oraz fermentowane komponenty mogły wpływać na konieczność dłuższego pobierania mniejszych porcji paszy, co skutkowało częstszymi i dłuższymi wizytami przy karmniku.

Wraz z upływem kolejnych dni, w obu grupach zaobserwowano stopniowy spadek średniego czasu spędzanego przy karmniku. W środkowej fazie tuczu (około 20–40 dnia) wartości te zaczęły się stabilizować. W przypadku mieszanki 40% średni czas oscylował w granicach 65–68 minut, natomiast w grupie kontrolnej w przedziale 62–65 minut.

Ta faza charakteryzowała się ustabilizowaniem rytmu żywieniowego zwierząt. Tuczniaki osiągnęły już większą masę ciała, a ich podejścia do karmnika stały się bardziej regularne i przewidywalne. Wskazuje to na adekwatność dostosowania składu paszy do potrzeb żywieniowych zwierząt w tym okresie wzrostu.

Warto zwrócić uwagę, że w grupie badawczej utrzymywała się tendencja do nieco dłuższego czasu spędzanego przy karmniku, co mogło wynikać z charakterystyki mieszanki – potencjalnie większa zawartość włókna lub zmieniona struktura fizyczna paszy mogły wpływać na sposób jej pobierania i przetwarzania przez zwierzęta.

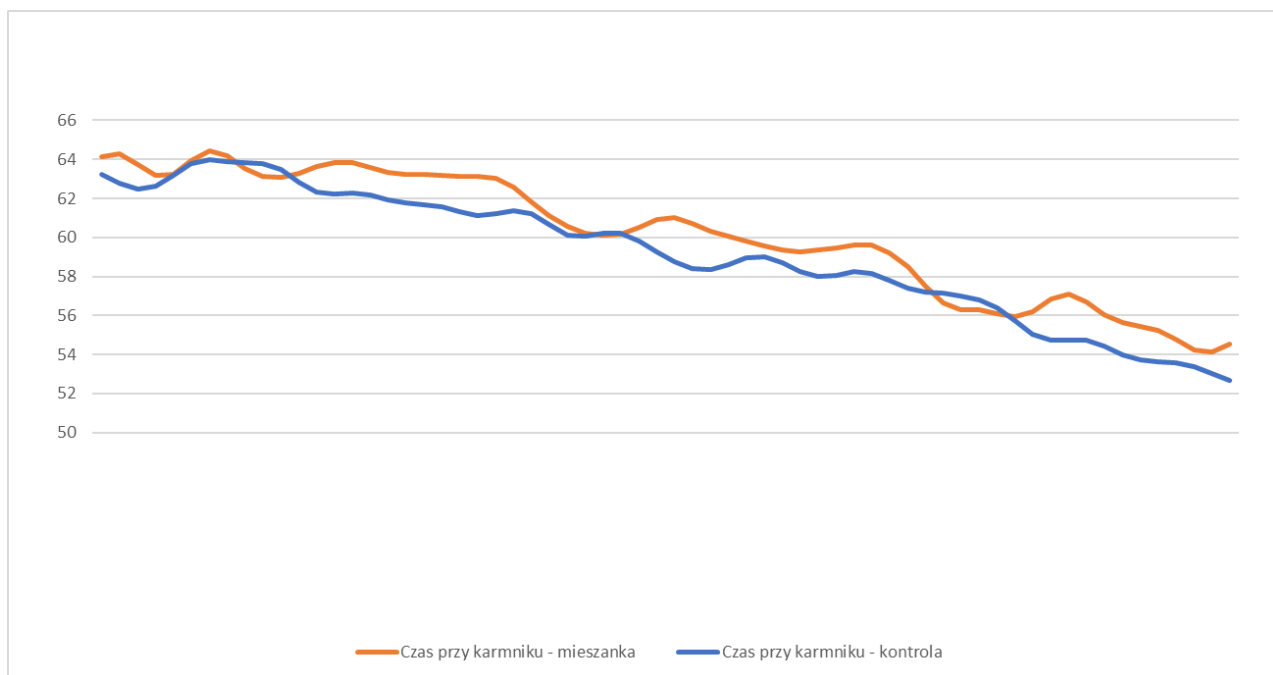
W ostatniej fazie tuczu, czyli w dniach poprzedzających osiągnięcie masy ubojowej, w obu grupach zaobserwowano systematyczny spadek czasu spędzanego przy karmniku. W grupie mieszanki 40% wartości spadły do poziomu około 55–60 minut dziennie, natomiast w grupie kontrolnej oscylowały wokół 52–55 minut.

Spadek ten jest typowym zjawiskiem w końcowym etapie tuczu, kiedy tempo wzrostu zwierząt naturalnie maleje, a zapotrzebowanie na paszę jest bardziej zrównoważone. Wzrost masy ciała powoduje również zmniejszenie aktywności fizycznej zwierząt, co przekłada się na krótsze i mniej intensywne podejścia do karmnika.

Różnice pomiędzy grupą badawczą a kontrolną, choć nadal widoczne, zaczęły się zmniejszać, co może sugerować, że wpływ rodzaju mieszanki paszowej na zachowania

żywieniowe jest bardziej wyraźny w początkowej i środkowej fazie tuczu, natomiast w końcowym etapie różnice te ulegają naturalnemu zatarciu z powodu fizjologii zwierząt.

Pomimo dużego zróżnicowania pomiędzy poszczególnymi kojcami, uśredniony wynik dla grup kontrolnych oraz żywionych innowacyjną mieszanką jest dużo bardziej wyrównany (Wykres 20.).



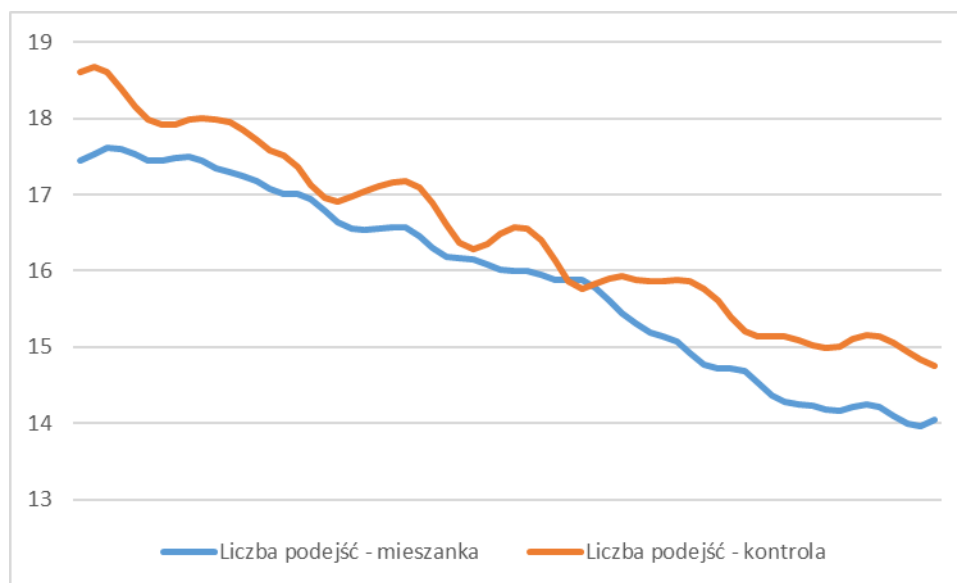
Wykres 20. Uśredniony czas spędzany przy karmniku. (Oś Y- minuty, Oś X – dzień tuczu)

Źródło: Opracowanie własne

Analiza danych dotyczących średniego czasu spędzanego przy karmniku ujawniła wyraźne różnice w zachowaniach żywieniowych tuczników w zależności od rodzaju stosowanej mieszanki paszowej. W początkowej fazie tuczu zarówno grupa żywiona standardową paszą, jak i grupa otrzymująca mieszankę z 40% udziałem produktów ubocznych wykazywały zbliżony czas pobytu przy karmniku, utrzymujący się na poziomie około 64 minut dziennie. W miarę postępu tuczu w obu grupach zaobserwowano naturalny trend spadkowy, związany z rosnącą masą ciała i zmianą zapotrzebowania energetycznego zwierząt. Jednak już od środkowego etapu cyklu widoczne było, że tuczniki żywione innowacyjną mieszanką utrzymywały dłuższy czas aktywności przy karmniku w porównaniu do grupy kontrolnej.

Największe różnice ujawniły się w końcowym okresie tuczu, kiedy to w grupie kontrolnej średni czas przy karmniku spadł poniżej 54 minut, podczas gdy zwierzęta żywione mieszanką 40% nadal spędzały przy karmniku około 55–57 minut dziennie. Taki wynik może

świadczą o tym, że zastosowanie produktów ubocznych oraz fermentowanych śrut wpłynęło na utrzymanie apetytu w fazie, w której standardowo obserwuje się jego spadek. Może to być również powiązane z niższą mięsnością w grupie badawczej oraz bardziej stabilnym przyrostem masy ciała. Zwierzęta nie ograniczały pobrania paszy mimo rosnącej masy ciała, co sugeruje, że mieszanka wspierała dłuższe i bardziej równomierne pobieranie pokarmu, przekładając się na efektywność tuczu w ostatnich dniach cyklu.



Wykres 21. Liczba podejść do karmnika dziennie w zależności od mieszanek. (Oś Y- liczba podejść dziennie, Oś X – dzień tuczu)

Źródło: Opracowanie własne

Na początku tuczu (dni 1–10), zarówno grupa mieszanek z 40% uzupełnienie paszami alternatywnymi, jak i kontrolna, wykazywały najwyższe wartości liczby podejść – odpowiednio około 17,5 w grupie badawczej i ponad 18,6 w kontrolnej. Taki poziom jest typowy dla początkowego okresu adaptacyjnego, kiedy zwierzęta eksplorują otoczenie, a ich rytm żywieniowy nie jest jeszcze w pełni ustabilizowany. W tym okresie dominują krótkie, częste podejścia, wynikające zarówno z ciekawości, jak i konieczności wyrównania spożycia paszy po transporcie, stresie i zmianie środowiska.

Z biegiem czasu liczba podejść zaczęła systematycznie spadać w obu grupach, co jest zgodne z fizjologią zwierząt – wraz ze wzrostem masy ciała i stabilizacją systemu żywienia, tuczniki ograniczają niepotrzebne ruchy i dostosowują częstotliwość podejść do realnych potrzeb energetycznych. W grupie kontrolnej spadek ten był nieco bardziej stonowany i



rozłożony równomiernie w czasie, natomiast w grupie badawczej był bardziej dynamiczny – spadek liczby podejść o ponad 3,5 jednostki w ciągu 64 dni, czyli o ponad 20%.

W ostatniej fazie tuczu, wartości liczby podejść wynosiły w grupie badawczej około 14 podejść dziennie, podczas gdy w grupie kontrolnej utrzymywały się powyżej 14,7. Choć różnica ta może wydawać się niewielka, w warunkach dużego stada (np. 100 zwierząt) oznacza to ponad 70 mniej interakcji dziennie z systemem żywieniowym, co może mieć znaczenie organizacyjne, ekonomiczne i behawioralne.

Różnice w liczbie podejść do karmnika mogą wynikać z kilku uzupełniających się czynników, związanych głównie ze składem mieszanki i jego wpływem na fizjologię i zachowania żywieniowe zwierząt:

- Wyższa kaloryczność i energetyczność mieszanki paszowej
- Mieszanka zawierająca fermentowane śruty oraz produkty uboczne (np. z przemysłu piekarskiego, przetwórstwa ziemniaczanego czy owocowo-warzywnego) może mieć wyższą wartość energetyczną lub większą zawartość łatwo fermentowalnych węglowodanów, co sprawia, że zwierzęta osiągają uczucie sytości przy mniejszym spożyciu. W efekcie, nie muszą tak często wracać do karmnika, aby zaspokoić potrzeby metaboliczne.
- Lepsza strawność składników pokarmowych.
- Fermentacja wstępna zwiększa biodostępność składników pokarmowych, zwłaszcza białka i włókna, które w klasycznej formie są gorzej trawione. Proces fermentacji może redukować zawartość substancji antyżywniowych i zwiększać wartość odżywczą, co pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie składników przy mniejszej liczbie podejść.
- Wolniejsze tempo pobierania paszy.
- Analizy z innych części projektu pokazały, że tuczniki z grupy badawczej spędzały więcej czasu przy karmniku podczas jednorazowego podejścia. To oznacza, że choć podchodziły rzadziej, spędzały przy karmniku więcej czasu, co mogło rekompensować mniejszą liczbę podejść. Taki rozkład może sprzyjać lepszej strawności i zmniejszeniu ryzyka przeciążenia przewodu pokarmowego.
- Wpływ fermentacji na mikroflorę jelitową.
- Fermentowane składniki paszowe mogą wspierać równowagę mikrobiologiczną w jelitach, co sprzyja utrzymaniu zdrowia przewodu pokarmowego i stabilności rytmu



żywieniowego. W efekcie zwierzęta mogą mieć mniej potrzeb impulsywnego podchodzenia do paszy, a ich pobranie staje się bardziej równomierne i dostosowane do rytmu trawienia.

#### Wnioski z analizy trendów

1. Wpływ mieszanki 40% na zachowania żywieniowe: Zwierzęta żywione mieszanką z udziałem produktów ubocznych i fermentowanych śrut wykazywały generalnie dłuższy czas spędzany przy karmniku w porównaniu do grupy kontrolnej. Może to świadczyć o większym zaangażowaniu zwierząt w proces pobierania paszy, co potencjalnie wpływało na lepsze wykorzystanie składników odżywczych poprzez wolniejsze i bardziej równomierne pobieranie pokarmu.
2. Naturalna krzywa spadku aktywności: W obu grupach widoczny był systematyczny spadek czasu przy karmniku w miarę postępu tuczu, co jest zgodne z biologicznym rytmem wzrostu trzody chlewnej. Wskazuje to, że bez względu na skład mieszanki, zachowania żywieniowe adaptują się do zmieniających się potrzeb metabolicznych zwierząt.
3. Potencjalny wpływ na dobrostan: Dłuższy czas pobierania paszy w grupie mieszanki 40% może być interpretowany pozytywnie w kontekście dobrostanu zwierząt. Rozłożenie pobierania pokarmu w czasie może ograniczać ryzyko występowania problemów trawiennych, takich jak wrzody żołądka czy wzdęcia, które często są skutkiem zbyt szybkiego spożycia dużych ilości paszy w krótkim czasie.
4. Znaczenie dla organizacji pracy w gospodarstwie: Wiedza o tym, jak zmienia się czas spędzany przy karmniku, może być cenna dla rolników w kontekście planowania systemów żywienia. Wydłużony czas pobierania paszy może sugerować potrzebę dostosowania harmonogramów uzupełniania karmników lub modyfikacji strategii żywieniowych, aby zoptymalizować wykorzystanie infrastruktury.



## 7. Podsumowanie innowacji

W ramach realizacji projektu Fermenfeed osiągnięto szereg rezultatów, które potwierdzają możliwość rozwoju i wdrożenia ulepszonych innowacji produktowych, technologicznych i organizacyjnych w zakresie żywienia trzody chlewnej. Efekty te jednoznacznie wskazują na skuteczne wytworzenie wcześniej zdefiniowanych innowacji, obejmujących zarówno nowe mieszanki paszowe oparte na fermentowanych śrutach i produktach ubocznych, jak i technologie stabilizacji tych surowców oraz system monitorowania zachowań żywieniowych zwierząt.

Projekt, mimo że miał charakter wdrożeniowo-doświadczalny, już na etapie testów terenowych dostarczył praktycznej wiedzy, której zastosowanie wykracza poza gospodarstwa uczestniczące w badaniach. Systematyczne porównania tradycyjnych i innowacyjnych mieszanek paszowych pozwoliły nie tylko na ocenę efektów produkcyjnych, ale również na identyfikację rozwiązań wspierających efektywność ekonomiczną i środowiskową. Wytworzona ulepszona innowacja produktowa potwierdziła, że możliwe jest skuteczne wykorzystanie produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego oraz fermentowanych śrut w żywieniu na suchu, bez negatywnego wpływu na wyniki tuczu.

Ważnym elementem było opracowanie i przetestowanie ulepszonej innowacji technologicznej, koncentrującej się na stabilizacji mikrobiologicznej komponentów paszowych. Wskazano konkretne ścieżki wdrożenia technologii takich jak bakteriostatyki, dodatki soli, ozonowanie które mogą zostać zaadaptowane zarówno w mieszalniach pasz, jak i bezpośrednio w gospodarstwach. To podejście znacząco zwiększa potencjał praktycznego wykorzystania produktów ubocznych w małych i średnich gospodarstwach, ograniczając ryzyko psucia się surowców.

Ulepszona innowacja organizacyjna, oparta na systemie RFID i kamerach monitorujących zachowania trzody chlewnej, umożliwiła zebranie unikalnych danych o częstotliwości podejść do karmnika oraz czasie spędzanym przy pobieraniu paszy. Analiza tych danych nie tylko potwierdziła wpływ nowej mieszanki na zachowania żywieniowe, ale również stworzyła podstawy do dalszej optymalizacji zarządzania procesem żywienia.

Projekt Fermenfeed wykazał, że wprowadzenie fermentowanych komponentów oraz produktów ubocznych do mieszanek paszowych pozwala na:

- Poprawę wskaźnika konwersji paszy (FCR),
- Utrzymanie stabilnych przyrostów masy ciała, nawet w końcowym etapie tuczu,



- Redukcję kosztów paszowych, wynikającą z bardziej efektywnych surowców pomimo wzrostu ceny paszy,
- Zwiększenie dziennego tempa przyrostu.

Dodatkowo, dzięki zastosowaniu narzędzi cyfrowych w ramach innowacji organizacyjnej, rolnicy uzyskali dostęp do nowoczesnych metod monitorowania produkcji, co w dłuższej perspektywie może przełożyć się na lepszą kontrolę kosztów, poprawę dobrostanu zwierząt oraz spełnienie wymogów środowiskowych.

Fermenfeed pokazał również, że wdrażanie innowacji w obszarze żywienia trzody chlewnej może realnie wspierać cele Zielonego Ładu poprzez ograniczenie presji środowiskowej, efektywne wykorzystanie zasobów oraz zagospodarowanie produktów ubocznych, które w przeciwnym razie trafiałyby do biogazowni lub na kompost.

Podsumowując, projekt nie tylko potwierdził zasadność wprowadzania fermentowanych komponentów i produktów ubocznych do żywienia trzody, ale również dostarczył kompleksowych rozwiązań technologicznych i organizacyjnych, które mogą być z powodzeniem wdrażane w warunkach rynkowych. Wytworzone innowacje mają charakter praktyczny, skalowalny i zgodny z kierunkiem rozwoju zrównoważonej produkcji zwierzęcej, co czyni je wartościowym narzędziem zarówno dla rolników, jak i przemysłu paszowego.

Warto szczególnie podkreślić, że projekt Fermenfeed stanowi przykład nowoczesnego, kompleksowego podejścia do wyzwań związanych z produkcją trzody chlewnej w Polsce. Unikalną cechą tego przedsięwzięcia było umiejętne połączenie wielu, pozornie odrębnych dziedzin – od biotechnologii, przez zootechnikę, aż po ekonomikę i informatykę. Tak szerokie ujęcie problematyki pozwoliło nie tylko na opracowanie innowacyjnych rozwiązań w zakresie żywienia, ale również na całościową analizę opłacalności produkcji, jej efektywności, wpływu na środowisko oraz dobrostan zwierząt.

Integracja biotechnologii, obejmującej m.in. wykorzystanie fermentowanych komponentów paszowych i technologii stabilizacji mikrobiologicznej, z praktyką zootechniczną umożliwiła opracowanie mieszanek dostosowanych zarówno do potrzeb metabolicznych zwierząt, jak i do specyfiki polskich gospodarstw. Jednocześnie, silny nacisk położony na aspekty ekonomiczne pozwolił na realną ocenę opłacalności wdrażanych rozwiązań w zmiennych warunkach rynkowych. Wdrożenie narzędzi informatycznych – takich jak systemy RFID i monitoring aktywności zwierząt – dopełniło całościowe spojrzenie na



proces produkcji, wprowadzając elementy precyzyjnego zarządzania danymi i automatyzacji analizy.

Tym samym Fermenfeed może być postrzegany jako wzór podejścia do innowacji w sektorze rolnym, gdzie nie ograniczono się jedynie do pojedynczego aspektu technologicznego, lecz zbudowano model oparty na synergii nauki, praktyki rolniczej i nowoczesnych narzędzi zarządczych. Projekt pokazał, że skuteczność produkcji trzody chlewnej nie musi być rozpatrywana wyłącznie przez pryzmat maksymalizacji przyrostów czy minimalizacji kosztów, ale może być równocześnie analizowana w kontekście dobrostanu zwierząt, wpływu środowiskowego oraz długoterminowej stabilności ekonomicznej gospodarstw.

Dzięki takiemu podejściu Fermenfeed wpisuje się w nowoczesne trendy zrównoważonego rolnictwa i stanowi praktyczny przykład, jak interdyscyplinarne działania mogą prowadzić do realnych zmian w sektorze produkcji zwierzęcej w Polsce.



## 8. Rekomendacje dalszych działań

Projekt Fermenfeed, koncentrujący się na wdrożeniu innowacyjnych rozwiązań w zakresie żywienia trzody chlewnej z wykorzystaniem fermentowanych śrut oraz produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, ujawnił nie tylko potencjał tych technologii, ale także szereg wyzwań oraz obszarów wymagających dalszych prac badawczo-wdrożeniowych. Kompleksowy charakter projektu, łączącego biotechnologię, zootechnikę, informatykę oraz ekonomię, pozwolił spojrzeć na produkcję zwierzęcą w Polsce w szerszym kontekście – nie tylko przez pryzmat efektywności tuczu, ale także stabilności systemów technologicznych, bezpieczeństwa mikrobiologicznego, dobrostanu zwierząt oraz optymalizacji kosztów w zmiennym otoczeniu rynkowym.

Doświadczenia zdobyte podczas realizacji operacji pokazały, że innowacje paszowe nie funkcjonują w oderwaniu od innych elementów gospodarstwa. Wdrożenie nowych mieszanek paszowych wymaga równoczesnego dostosowania technologii monitoringu, logistyki surowcowej, systemów kontroli jakości oraz narzędzi analitycznych wspierających podejmowanie decyzji. Co więcej, w trakcie projektu zidentyfikowano liczne bariery praktyczne, takie jak podatność zaawansowanych systemów elektronicznych na warunki środowiskowe panujące w chlewniach, ograniczona dostępność standaryzowanych produktów ubocznych, czy brak gotowych rozwiązań umożliwiających stabilizację pasz w warunkach gospodarstwa.

Wyniki Fermenfeed wskazują również na konieczność dalszego różnicowania podejścia w zależności od grupy technologicznej zwierząt. O ile w przypadku tuczników uzyskano wyraźne korzyści z zastosowania fermentowanych komponentów i produktów ubocznych, o tyle żywienie prosiąt czy loch wymaga znacznie większej precyzji oraz uwzględnienia ich wrażliwości na zmienność surowcową i mikrobiologiczną. Ponadto, projekt uwidoczniał potencjał dalszego wykorzystania gospodarki cyrkularnej poprzez sięganie po nowe źródła tanich surowców paszowych, w tym takich, które mogłyby zastępować drogie komponenty energetyczne, jak oleje czy cukry. Na tej podstawie oraz na podstawie dyskusji w obrębie grupy operacyjnej ustalono następujące rekomendacje dalszych działań i tematów projektowych:

1. Opracowanie rozwiązań technologicznych odpornych na działanie amoniaku



Środowisko chlewni charakteryzuje się wysokim stężeniem amoniaku, dużą wilgotnością oraz obecnością zanieczyszczeń organicznych, co stanowi poważne wyzwanie dla stosowanych urządzeń elektronicznych. W projekcie Fermenfeed zaobserwowano, że zaawansowane systemy monitoringu (czujniki RFID, kamery) były narażone na awarie wynikające z agresywnego środowiska pracy. W związku z tym konieczne jest opracowanie nowych, bardziej odpornych rozwiązań technologicznych, które zapewnią stabilność działania w warunkach inwentarzowych. Wzmocnione obudowy, uszczelnienia, materiały odporne na korozję oraz systemy autodiagnostyki mogłyby znacząco wydłużyć żywotność urządzeń. Tego typu innowacje pozwolą na popularyzację monitoringu behawioralnego także w mniejszych gospodarstwach, gdzie dziś koszty serwisu są barierą we wdrażaniu technologii.

## 2. Tworzenie dedykowanych premiksów dla prosiąt i loch

Prosięta i lochy to grupy technologiczne, które wymagają szczególnej uwagi w zakresie żywienia ze względu na swoją wrażliwość na skład paszy i wysokie wymagania pokarmowe. Wyniki Fermenfeed wskazują, że choć fermentowane śruty i produkty uboczne sprawdzają się w tuczu, to w przypadku prosiąt i loch konieczne są precyzyjnie skomponowane premiksy, uwzględniające łatwostrawne białko, witaminy, minerały oraz dodatki wspierające mikroflorę jelitową. Opracowanie takich mieszanek pozwoliłoby na poprawę zdrowotności, płodności oraz tempa wzrostu w najważniejszych momentach cyklu produkcyjnego. Premiksy powinny być dostosowane do możliwości wykorzystania lokalnych surowców, co zwiększy ich dostępność dla gospodarstw o różnej skali produkcji.

## 3. Stworzenie projektu skoncentrowanego na fermentowanych śrutach

Fermentowane śruty wykazały duży potencjał w poprawie strawności i efektywności żywienia trzody chlewnej, jednak temat ten wymaga dalszego pogłębienia. Rekomenduje się powołanie dedykowanego projektu, który skupiłby się na optymalizacji procesów fermentacji, badaniu stabilności przechowywania oraz ocenie wpływu tych śrut na zdrowotność i wyniki produkcyjne w różnych systemach chowu. Kluczowe będzie także opracowanie prostych metod fermentacji, możliwych do wdrożenia bezpośrednio w gospodarstwach. Taki projekt mógłby przyczynić się do ograniczenia importu poekstrakcyjnych śrut sojowych, wspierając krajową produkcję białka paszowego zgodnie z założeniami Europejskiego Zielonego Ładu.

## 4. Stworzenie projektu dedykowanego produktom ubocznym



Produkty uboczne z przemysłu rolno-spożywczego stanowią ogromny, niewykorzystany potencjał w żywieniu zwierząt. Projekt Fermenfeed udowodnił, że mogą one skutecznie zastępować tradycyjne komponenty paszowe, obniżając koszty produkcji. Konieczne jest jednak kompleksowe przebadanie różnych kategorii produktów ubocznych pod kątem wartości odżywczej, trwałości, wpływu na zdrowotność zwierząt oraz możliwości standaryzacji ich składu. Taki projekt powinien również uwzględniać kwestie logistyczne, sposoby magazynowania oraz modele współpracy między przetwórstwem a gospodarstwami. Efektem mogłoby być stworzenie katalogu bezpiecznych i efektywnych surowców, które wspierałyby gospodarkę o obiegu zamkniętym.

#### 5. Projekty dotyczące dostarczania soli i cukru z tanich produktów spożywczych

Sól i cukry proste są istotnymi komponentami pasz, wpływającymi zarówno na smakowitość, jak i bilans energetyczny diety zwierząt. Wysokie ceny tych surowców powodują, że poszukiwanie alternatywnych źródeł staje się ekonomicznie uzasadnione. Rekomenduje się realizację projektów badawczych, których celem będzie identyfikacja produktów ubocznych bogatych w sól lub cukry (np. nowe uboczne produkty piekarnicze, cukrownicze lub z przekąsek), a następnie opracowanie technologii ich bezpiecznego wprowadzenia do żywienia trzody. Takie rozwiązania mogłyby znacząco obniżyć koszt mieszanek paszowych, jednocześnie wspierając ideę wykorzystania odpadów spożywczych w sposób zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju.

#### 6. Szeroki przegląd produktów ubocznych w żywieniu świń i innych zwierząt

W świetle wyników projektu Fermenfeed, konieczne jest przeprowadzenie systematycznego przeglądu produktów ubocznych dostępnych na rynku, uwzględniającego ich potencjał paszowy dla różnych gatunków zwierząt gospodarskich. Wiele surowców, które obecnie trafiają do biogazowni lub na kompost, mogłoby zostać efektywnie wykorzystane w żywieniu trzody, bydła czy drobiu. Stworzenie kompleksowej bazy danych zawierającej informacje o wartości odżywczej, ograniczeniach technologicznych oraz możliwościach stabilizacji tych surowców ułatwiłoby rolnikom i producentom pasz podejmowanie decyzji o ich wykorzystaniu. Taki przegląd wspierałby rozwój lokalnych łańcuchów dostaw, zmniejszając zależność od importowanych komponentów i zwiększając elastyczność gospodarstw w doborze surowców paszowych.



## 7. Zastępowanie oleju w paszy tłustymi produktami ubocznymi

Wysokie ceny olejów paszowych, będących istotnym źródłem energii w mieszankach, stanowią duże obciążenie finansowe dla gospodarstw. Projekt Fermenfeed wskazał, że tłuste produkty uboczne, takie jak odpady z przemysłu piekarniczego, cukierniczego czy przetwórstwa nasion, mogą być skuteczną alternatywą dla tradycyjnych olejów. Rekomenduje się dalsze badania w kierunku identyfikacji takich surowców, określenia ich wartości energetycznej, wpływu na smakowość paszy oraz stabilność w procesie przechowywania. Właściwe wykorzystanie tłustych produktów ubocznych mogłoby nie tylko obniżyć koszty produkcji paszy, ale także zwiększyć udział lokalnych surowców w żywieniu, co sprzyja zrównoważonej produkcji i ogranicza ślad węglowy.

## 8. Rozwój prostych metod redukcji aktywności mikrobiologicznej pasz

Jednym z głównych wyzwań związanych z zastosowaniem produktów ubocznych w żywieniu zwierząt jest ich podatność na szybkie psucie się w wyniku aktywności mikrobiologicznej. W projekcie Fermenfeed wykazano, że brak odpowiedniej stabilizacji surowców może ograniczać ich praktyczne wykorzystanie, zwłaszcza w mniejszych gospodarstwach. Dlatego kluczowe jest opracowanie prostych, tanich i skutecznych metod zabezpieczania pasz – takich jak stosowanie naturalnych bakteriostatyków, dodatków soli, suszenia czy lekkiego zakwaszania. Rozwiązania te powinny być dostosowane do warunków gospodarstw rolnych, niewymagające skomplikowanej infrastruktury. Zapewnienie bezpieczeństwa mikrobiologicznego bez konieczności inwestycji w przemysłowe technologie umożliwiłoby szersze wdrożenie produktów ubocznych do codziennej praktyki żywieniowej, zwiększając ich dostępność i opłacalność.

Projekt Fermenfeed stworzył solidne, komplementarne i interdyscyplinarne fundamenty dla przyszłych inicjatyw badawczo-wdrożeniowych w obszarze produkcji zwierzęcej. Unikalne połączenie zagadnień z zakresu żywienia zwierząt, ekonomiki rolnictwa oraz nowoczesnych technologii informatycznych pokazało, że skuteczna optymalizacja procesów hodowlanych wymaga holistycznego podejścia, wykraczającego poza tradycyjne ramy pojedynczych specjalizacji. Wyniki projektu dowodzą, że innowacje paszowe, oparte na fermentowanych śrutach i produktach ubocznych, mogą przynieść wymierne korzyści jedynie wtedy, gdy są wspierane przez systemy monitoringu, analizy danych i świadome zarządzanie kosztami.



Integracja technologii cyfrowych, takich jak monitoring behawioralny zwierząt z wykorzystaniem RFID i kamer, z analizą efektywności ekonomicznej oraz wdrażaniem nowoczesnych rozwiązań paszowych, stanowi przykład nowego podejścia do wyzwań współczesnej produkcji zwierzęcej. Fermenfeed pokazał, że synergia tych obszarów pozwala nie tylko zwiększyć opłacalność chowu, ale również lepiej kontrolować dobrostan zwierząt i ograniczać wpływ środowiskowy gospodarstw.

Tym samym projekt wyznaczył kierunek dla kolejnych działań, w których centralnym punktem będzie nie tylko poprawa parametrów produkcyjnych, ale również budowa zintegrowanych systemów wspierających decyzje rolników w dynamicznie zmieniających się warunkach rynkowych. Fermenfeed stanowi wzór tego, jak interdyscyplinarne podejście może prowadzić do rzeczywistych innowacji, które odpowiadają zarówno na potrzeby gospodarcze, jak i środowiskowe współczesnego rolnictwa.