

Załącznik 3

do wniosku z dnia 14.10.2021

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego

dr inż. Katarzyna Czyż

Instytut Hodowli Zwierząt, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

Wrocław, 2021

Spis treści:

1. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM PODMIOTU NADAJĄCEGO STOPIEŃ, ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ.....	3
2. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	3
3. OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT. 2 USTAWY PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM (DZ. U. 2020, POZ. 85).....	4
4. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI LUB INSTYTUCJI NAUKOWEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ	31
5. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ.....	38

1. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM PODMIOTU NADAJĄCEGO STOPIEŃ, ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

2011 – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, uzyskanie tytułu doktora nauk rolniczych w dziedzinie zootechniki na podstawie rozprawy doktorskiej pt. „Wpływ nanosrebra na kształtowanie się warunków zoohigienicznych w brojlerni oraz transfer srebra i pierwiastków antagonistycznych (Se, Cu, Zn) do organizmu kurcząt”

2009 - 2010 - Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej, Podyplomowe Studium Tłumaczeń Specjalistycznych i Narzędzi Komputerowych

1995-2001 - Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, kierunek- Ochrona Środowiska, specjalność- Systemy Ochrony Wód i Gleb, uzyskanie tytułu magistra inżyniera ochrony środowiska

2. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

Od 2014 do chwili obecnej - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Hodowli Zwierząt, Zakład Hodowli Owiec i Zwierząt Futerkowych - adiunkt

2002 - 2014 - Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Hodowli Zwierząt - specjalista

3. OMÓWIENIE OSIĄGNIĘĆ, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT. 2 USTAWY PRAWO O SZKOLNICTWIE WYŻSZYM (DZ. U. 2020, POZ. 85)

3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego


Zastosowanie estrów etylowych oleju lnianego w żywieniu zwierząt gospodarskich jako metoda kształtowania profilu kwasów tłuszczowych produktów pochodzenia zwierzęcego

3.2. Prace wskazane jako szczególne osiągnięcie naukowe

Cykl publikacji:

1. Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., Czyż K.[☐], Vogt A., Patkowska-Sokoła B., Sokoła K., Bodkowski R., Wyrostek A., Roman K. (2014) Charakterystyka estrów etylowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych o wysokiej zawartości kwasu alfa-linolenowego jako składnika biologicznie aktywnych preparatów prozdrowotnych. *Przemysł Chemiczny*, 93(11), 1923-1927 (IF=0,367, 15 pkt.)
Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji artykułu przeglądowego, przygotowanie treści pracy, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.
2. Czyż K.[☐], Sokoła-Wysoczańska E., Bodkowski R., Cholewińska P., Wyrostek A. (2020) Dietary omega-3 source effect on the fatty acid profile of intramuscular and perimuscular fat—preliminary study on a rat model. *Nutrients*, 12(11), 3382 (IF=4,546, 140 pkt.)
Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji i planu badania, współudział w opracowaniu metodyki, udział w doświadczeniu, analizę i weryfikację wyników, analizę statystyczną, opracowanie treści manuskryptu, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.
3. Patkowska-Sokoła B., Czyż K.[☐], Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., Bodkowski R., Vogt A. (2014) Zastosowanie estrów etylowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z grupy omega-3 jako surowca dla przemysłu paszowego. *Przemysł Chemiczny*, 93(5), 799-802 (IF=0,367, 15 pkt.)
Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji i planu badania, współudział w opracowaniu metodyki, udział w doświadczeniu, analizę i weryfikację

wyników, analizę statystyczną, wizualizację, opracowanie treści manuskryptu, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.

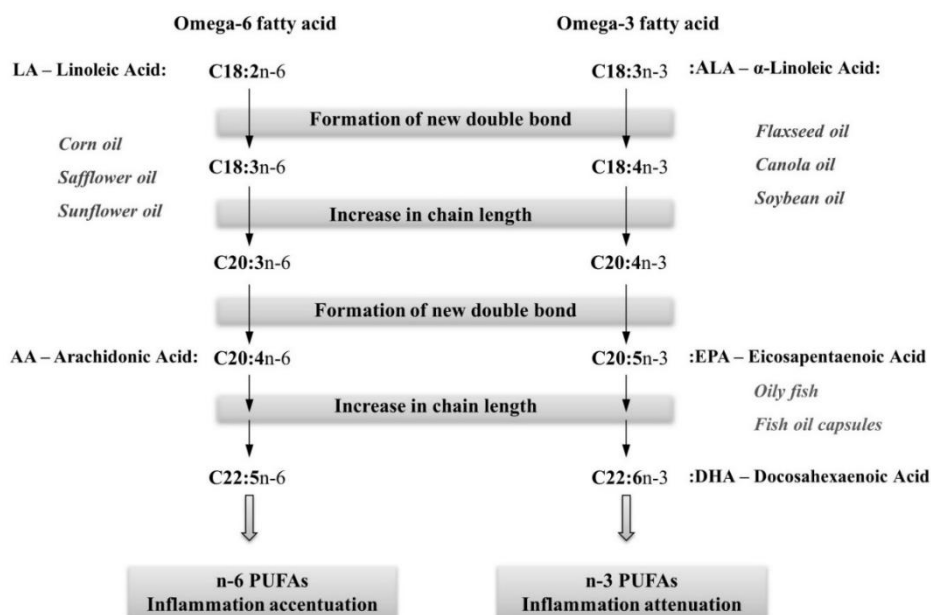
4. **Czyż K.** , Sokoła-Wysoczańska E., Wyrostek A., Cholewińska P. (2021) An attempt to enrich pig meat with omega-3 fatty acids using linseed oil ethyl ester diet supplement. *Agriculture*, 11(4), 365 (IF=2,073, 100 pkt.)

Mój wkład w powstanie pracy obejmował opracowanie koncepcji i planu badania, współudział w opracowaniu metodyki, udział i nadzór nad doświadczeniem, analizę i weryfikację wyników, analizę statystyczną, wizualizację, opracowanie treści manuskryptu, korespondencję z redakcją, odpowiedź na recenzje.

3.3. Omówienie szczególnego osiągnięcia naukowego

3.3.1. Wprowadzenie

Tłuszcze są nieodłącznym elementem diety zarówno ludzi jak i zwierząt, dostarczają potrzebnej ilości energii i pełnią znaczącą rolę w prawidłowym funkcjonowaniu każdego organizmu. Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) są to wielonienasycone kwasy tłuszczowe, niezbędne dla ludzi i zwierząt w celu zapewnienia optymalnego zdrowia i rozwoju. Kwasy te nie mogą być syntetyzowane w organizmie, stąd muszą być pozyskiwane z żywności lub suplementów diety. Istnieją dwa podstawowe niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe: kwas alfa-linolenowy (ALA, 18:3n-3) z rodziny kwasów tłuszczowych omega-3 (ω -3) i kwas linolowy (LA, C18:2n6c) z rodziny kwasów omega-6 (ω -6). Wszystkie inne kwasy z rodziny omega-3 (najważniejsze z nich to kwas eikozapentaenowy (EPA, 20:5n-3) i dokozaheksaenowy (DHA, 22:6n-3) są pochodnymi kwasu ALA, natomiast kwasy z rodziny omega-6 są pochodnymi kwasu LA. W każdej grupie, pochodne mogą przekształcać się w kwasy tłuszczowe o dłuższym łańcuchu za pomocą dwóch mechanizmów: desaturacji i elongacji (Ryc. 1). Enzymy, które biorą udział w tych procesach pełnią takie same funkcje w obu grupach kwasów tłuszczowych, dlatego kwasy tłuszczowe omega-6 i omega-3 konkurują o te same szlaki w syntezie długołańcuchowych, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, a tym samym o dostępność tych samych enzymów, tj. elongaz i desaturaz, a szczególnie Δ 6-desaturazy, co może stanowić przeszkodę w skutecznej konwersji kwasu ALA do EPA i DHA przy nadmiarze kwasu LA w diecie (Siscovick i in., 1995; Nakamura i in., 2004; Park i in., 2014). Wykazano, że poziom konwersji ALA do EPA wynosi ok. 6 - 8%, natomiast do DHA do 4% (Burdge i in., 2002; Talahalli i in., 2010; Abedi i Sahari, 2014).



Ryc. 1. Niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe i ich pochodne (źródło: Wysoczański i in., 2016).

Choć z chemicznego punktu widzenia różnice między kwasami omega-6 i omega-3 mogą wydawać się niewielkie i nieistotne, to jednak wykazują one różną, czasem nawet przeciwną aktywność, która nie jest łatwa do wyjaśnienia. Sugeruje się, że rozróżnienie pomiędzy PUFA omega-6 i omega-3 opiera się na różnej zdolności białek, a w szczególności białek związanych z błonami komórkowymi, do rozpoznawania poszczególnych kwasów PUFA (Simpoplous, 2002). Żywieniowy niedobór kwasów tłuszczowych omega-3, jak również szczególna rola omega-6 i omega-3, stały się przedmiotem zainteresowania licznych grup badawczych na świecie. Większość kwasów tłuszczowych omega-6 ma tendencję do inicjowania stanu zapalnego, podczas gdy kwasy tłuszczowe omega-3 okazały się pomocne w zmniejszaniu stanu zapalnego (Neuringer i in., 1986; Fedorova i in., 2009).

Kwasy z rodziny omega-3 stanowią podstawowe składniki lipidowe błon komórkowych oraz są substratami do syntezy substancji regulacyjnych w organizmie. Biorą udział w szeregu ważnych szlaków metabolicznych, zwłaszcza w regulacji i wygaszaniu stanu zapalnego, a także są rezerwuarem energii. Niestety, w wyniku szybkiego rozwoju rolnictwa w XX wieku, przejścia na pełnoporcjowe pasze przemysłowe w żywieniu zwierząt, a także niekorzystnych zmian w zwyczajach żywieniowych człowieka, kwasy omega-3 niemal całkowicie zanikły jako element zdrowej diety. Doprowadziło to do zaburzeń w prawidłowym stosunku kwasów omega-6 do omega-3 w diecie zarówno ludzi jak i zwierząt, który według

doniesień naukowych powinien wynosić od 4,5:1 do 10:1, natomiast obecnie w diecie zachodniej stosunek ten wynosi 15-16:1, a nawet 20:1 (Simopoulos, 2006; Zárate i in., 2017; Draycott i in., 2020; Urlic i in., 2020). Uważa się, że jest to główna przyczyna rozwoju wielu chorób przewlekłych obserwowanych we współczesnych społeczeństwach, w tym tzw. chorób cywilizacyjnych, do których zalicza się różnorodne zmiany nowotworowe, choroby zwyrodnieniowe, choroby metaboliczne, choroby układu krążenia, cukrzycę, otyłość, miażdżycę, choroby niedokrwienne serca, zaburzenia układu odpornościowego, alergie, choroby dermatologiczne, problemy żołądkowo-jelitowe, hormonalne i psychiczne, zaburzenia pamięci, chorobę Alzheimera i Parkinsona oraz problemy emocjonalne, takie jak depresja, agresja, nadpobudliwość u dzieci (ADHD) (Wysoczański i in., 2016; Sokoła-Wysoczańska i in., 2018; Horman i in., 2020).

Należy dodać, że w ostatnich latach badania naukowe doprowadziły do pewnych zmian w rozumieniu chorób przewlekłych. Dotyczy to natury zapalenia, czyli przewlekłego, nisko natężeniowego zapalenia ogólnoustrojowego (*low-grade systemic inflammation*), które okazało się być czynnikiem, który w okresie wielu lat indukuje większość chorób przewlekłych (Ilich i in., 2014; Speer i in., 2018). Zwiększenie ilości ALA w diecie ma na celu zmniejszenie aktywności kwasów omega-6 wykazujących właściwości prozapalne oraz zwiększenie ilości kwasów EPA i DHA o właściwościach przeciwzapalnych (Peng i in., 2019).

Istnieją w związku z tym działania mające na celu poprawę profilu lipidowego mięsa czy mleka, w tym zwiększenia zawartości długołańcuchowych, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (LC-PUFA), zwłaszcza tych z rodziny omega-3, tj. kwasu ALA, EPA i DHA. O ile kwas ALA można znaleźć w źródłach roślinnych, o tyle EPA i DHA są pochodzenia morskiego i są obecne w oleju rybim lub algach (Kerr i in., 2015; Chikwanhaa i in., 2018). Jednym z najbogatszych źródeł kwasu alfa-linolenowego jest siemię lniane (zwane również lnem zwyczajnym) (*Linum usitatissimum* L.) oraz olej lniany, który z tego powodu cieszy się dużym zainteresowaniem jako potencjalny suplement diety w żywieniu ludzi i zwierząt (Shadyro i in., 2017; Bekhit i in., 2018; Elimam i Ramadan, 2018). Dzięki zawartości fizjologicznie aktywnych składników mogących korzystnie wpływać na zdrowie, nasiona lnu i olej lniany zaliczane są do kategorii żywności funkcjonalnej, żywności bioaktywnej czy też żywności „czynnej endokrynnie” (Hasler i in., 2000; Daun i in., 2003; Wold i in., 2005). Niestety, poza korzystnym profilem kwasów tłuszczowych, siemię lniane i olej lniany zawierają również pewne składniki antyodżywcze, takie jak linatyna, związki cyjanogenne czy kwas fitynowy (Bekhit i in., 2018), co może budzić pewne obawy wśród konsumentów

i w pewnym stopniu ograniczać ich dietetyczne zastosowanie. Dodatkowo, spożywanie oleju rybiego jako źródła kwasów tłuszczowych EPA i DHA może być związane z pewnym ryzykiem wynikającym z obecności toksyn środowiskowych, np. rtęci, dioksyn, polichlorowanych bifenyli, czy hiperwitaminozą związaną z wysokim poziomem rozpuszczalnych w tłuszczach witamin D i A (Myhre i in., 2003; Bays, 2006; Yashodhara i in., 2009), dlatego też poszukiwanie innych źródeł kwasów z grupy omega-3 wydaje się być uzasadnione.

Należy zaznaczyć, że wzbogacanie diety zwierząt może być rozpatrywane w dwóch aspektach. Pierwszy z nich dotyczy wzbogacania surowców i produktów pochodzenia zwierzęcego w kwasy tłuszczowe omega-3, co może prowadzić do produkcji tzw. żywności funkcjonalnej, a tym samym korzystnych efektów prozdrowotnych u konsumentów takiej żywności. Drugi aspekt to wpływ suplementacji tymi źródłami diety zwierząt w celu poprawy stanu zdrowia i produktywności zwierząt, a przez to generowanie korzyści dla organizmów zwierzęcych i poprawy efektów ekonomicznych hodowli.

W odniesieniu do pierwszego aspektu, zagadnienia związane z modyfikacją składu produktów pochodzenia zwierzęcego lub wzbogacaniem ich w substancje biologicznie czynne, w tym kwasy tłuszczowe, są szeroko badane i opisywane w literaturze. Nieustannie jednak poszukuje się jak najbardziej efektywnych form suplementów, tj. takich, których związki biologicznie aktywne byłyby maksymalnie wykorzystywane przez organizmy zwierzęce i transferowane do produktów takich jak mięso czy mleko.

Istnieje wiele czynników, które mogą wpływać na profil kwasów tłuszczowych w produktach pochodzenia zwierzęcego, np. rasa, genotyp i płeć zwierząt, warunki środowiskowe, czy dieta. Istnieją także istotne różnice pomiędzy grupami zwierząt w zakresie zdolności do przyswajania i przekształcania kwasów tłuszczowych pochodzących z paszy. W przypadku zwierząt nieprzeżuwających, profil kwasów tłuszczowych w paszy znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w tkankach, a tym samym w produktach pozyskiwanych od tych zwierząt (Wood i in., 2008). Z kolei produkty pochodzące od przeżuwaczy charakteryzują się generalnie niską zawartością wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA), co jest wynikiem mikrobiologicznego biouwodorowania w żwaczu, które powoduje ograniczony transfer kwasów tłuszczowych ze żwacza i dalszą absorpcję w jelitach (Fievez i in., 2007). Unikalną cechą tej grupy zwierząt jest preferencyjne wbudowywanie długołańcuchowych kwasów tłuszczowych omega-3 do fosfolipidów, a nie do triacylogliceroli (Bessa i in., 2015). Sugeruje się, że u zwierząt przeżuwających LA ma niższy wskaźnik biouwodorowania w żwaczu w porównaniu do ALA (Nudda i in., 2014), a zatem

może być łatwiej przekształcony w kwas arachidonowy (AA, 20:4, n-6) i włączony do różnych tkanek. Z tego względu dieta charakteryzująca się wysokim poziomem kwasu ALA wydaje się być dobrym rozwiązaniem, gdyż może przewyciężyć problemy związane z konkurencją o enzymy pomiędzy LA i ALA, skutkując znacznie wyższym tempem konwersji ALA do EPA i DHA, co jest korzystne dla organizmów ludzi i zwierząt. W związku z tym, dodatki w postaci estrów etylowych powstających na bazie oleju lnianego mogą być dobrym wyborem, co zostało również potwierdzone w pracach wchodzących w skład cyklu publikacji.

Innym wspomnianym aspektem jest wpływ suplementacji diety zwierząt kwasami tłuszczowymi omega-3 na ich status zdrowotny i produktywność. Przykładowo, w badaniach Candynine i in. (2019) wykazano, że dodatek oleju lnianego do diety owiec i kóz skutkowało poprawą współczynnika wykorzystania paszy (FCR) i w konsekwencji zwiększonymi przyrostami dziennymi, co może być korzystne dla hodowców. Nie zaobserwowano także pogorszenia strawności składników pokarmowych w wyniku wprowadzenia do diety oleju lnianego, a w niektórych przypadkach uległa ona nawet poprawie. W wielu badaniach wykazano również istotny korzystny wpływ wielonienasyconych kwasów tłuszczowych na rozród, który jest jednym z warunków wysokiej produktywności zwierząt (Stoffel i in., 2008; Stroud i in., 2009; Khoshniat i in., 2020).

Pojedyncze prace dotyczące zastosowania estrów etylowych z oleju lnianego jako suplementu diety dla ludzi pojawiały się już w latach 50-tych XX wieku (np. Linko, 1957), jednak dostępne publikacje w przeważającej mierze dotyczą tego preparatu w kontekście biodiesla, czyli paliwa przeznaczonego do silników wysokoprężnych wytwarzanego z oleju lnianego (np. Demirbas, 2009; Dixit i in., 2012). W świetle dotychczasowych badań, zastosowanie estrów etylowych z oleju lnianego w żywieniu zwierząt gospodarskich prezentowane w niniejszym cyklu publikacji można uznać za nowatorskie.

3.3.2. Cel badań

Celem badań przedstawionych w prezentowanym cyklu publikacji było wykazanie możliwości zastosowania preparatu z oleju lnianego w formie estrów etylowych w żywieniu zwierząt gospodarskich w celu wzbogacenia produktów pochodzących od tych zwierząt, tj. mleka i mięsa, w wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodziny omega-3, charakteryzujące się korzystnym działaniem biologicznym.

Szczegółowe cele badawcze:

- ocena zmian profilu kwasów tłuszczowych, ze szczególnym uwzględnieniem kwasów z grupy omega-3, tłuszczu śródmięśniowego i międzymięśniowego (na modelu szczurzym) w wyniku suplementacji diety olejem lnianym, estrami etylowymi oleju lnianego oraz tranem;
- wykazanie przewagi estrów etylowych oleju lnianego jako suplementu bogatego w kwas alfa-linolenowy, w porównaniu do oleju lnianego i oleju rybiego, w zakresie modyfikacji profilu kwasów tłuszczowych;
- analiza zmian w profilu kwasów tłuszczowych mleka krów i owiec w wyniku suplementacji diety estrami etylowymi oleju lnianego;
- analiza zmian w profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu mięsa tuczników w wyniku suplementacji diety estrami etylowymi oleju lnianego;
- potwierdzenie możliwości stosowania estrów etylowych oleju lnianego jako suplementu diety zwierząt gospodarskich i jego korzystnego wpływu na modyfikację profilu kwasów tłuszczowych w surowcach pochodzenia zwierzęcego.

3.3.3. Omówienie cyklu publikacji

Publikacja 1:

Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., Czyż K.[☒], Vogt A., Patkowska-Sokoła B., Sokoła K., Bodkowski R., Wyrostek A., Roman K. (2014) Charakterystyka estrów etylowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych o wysokiej zawartości kwasu alfa-linolenowego jako składnika biologicznie aktywnych preparatów prozdrowotnych. *Przemysł Chemiczny*, 93(11), 1923-1927.

W pracy o charakterze przeglądowym, stanowiącej asumpt do późniejszych badań, zaprezentowane zostały dane dotyczące prozdrowotnych właściwości kwasów z grupy omega-3, w szczególności kwasu alfa-linolenowego (ALA), który jest prekursorem kwasu eikozapentaenowego (EPA) i kwasu dokozaheksaenowego (DHA). Przedstawiona została charakterystyka oleju lnianego jako źródła kwasu ALA, a także charakterystyka estrów etylowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z oleju lnianego, które zostały wykorzystane w badaniach aplikacyjnych na zwierzętach prezentowanych w niniejszym cyklu publikacji. W pracy zamieszczono także informacje dotyczące aktywności biologicznej zastosowanych kwasów.

Prozdrowotne właściwości kwasów omega-3 są znane od wielu lat, ich spożywanie zalecane jest przez szereg instytucji na całym świecie, takich jak Amerykańska Agencja Żywności i Leków, Amerykańskie Stowarzyszenie Kardiologiczne, Europejskie Towarzystwo Kardiologiczne czy Międzynarodowe Stowarzyszenie ds. Badań nad Kwasami Tłuszczowymi i Lipidami (Bryhn i in., 2006). Kwasy tłuszczowe omega-3 należą do grupy tzw. niezbędnych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, których organizm ludzki nie jest w stanie syntetyzować *de novo* i dlatego muszą być dostarczane wraz z pożywieniem (Freeman i in., 2006). Oleje rybne są źródłem kwasów EPA i DHA, natomiast oleje roślinne są bogate m.in. w kwas α -linolenowy (ALA), który organizm ludzki i zwierzęcy jest w stanie przekształcić w EPA i DHA (Nettleton, 1991; Harris, 1997).

Jednym z najcenniejszych źródeł wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z rodziny omega-3, a szczególnie kwasu α -linolenowego, jest olej lniany (Heller i in., 2010; Wiesenfeld i in., 2003). Nasiona lnu, czyli siemię lniane, są bogatym źródłem tłuszczu, białka oraz błonnika pokarmowego. Zawartość tłuszczu w nasionach lnu odmian oleistych wynosi ok. 38 - 44%. Nasiona lnu zawierają też znaczące ilości witamin z grupy A, B6, D i E a także nienasycone kwasy tłuszczowe (witamina F). Ponadto w ich składzie znajduje się lecytyna (ważny składnik odżywczy, zwłaszcza dla tkanek nerwowych organizmu), znaczna ilość substancji śluzowych, składniki mineralne (np. cynk) oraz wolne aminokwasy. Olej lniany charakteryzuje się niską zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) - ok. 9%, umiarkowaną zawartością jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA) - ok. 18%, oraz znaczną zawartością wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) - ok. 73%. Najważniejsze kwasy tłuszczowe wchodzące w skład oleju lnianego to kwas alfa-linolenowy (ok. 53 - 62%), kwas linolowy (ok. 13%), oleinowy (ok. 20%), palmitynowy (5%) i stearynowy (4%) (Oomah i Mazza, 1993).

Patrząc z innej perspektywy, złożony skład nasion lnu, a co za tym idzie oleju lnianego, powoduje, że należy zachować ostrożność w jego stosowaniu w żywieniu. Len zawiera zarówno substancje odżywcze i nie-odżywcze, które mogą mieć korzystny lub szkodliwy wpływ na organizm ludzi i zwierząt, zależnie od dawki, częstotliwości i czasu przyjmowania (Wiesenfeld i in., 2003) jak i składniki antyodżywcze. Potencjalnie niepożądane działanie substancji odżywczych zawartych w nasionach lnu może wynikać m.in. z wysokiej zawartości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, których wielokrotne wiązania podwójne sprawiają, że kwasy te ulegają procesom utleniania tworząc wolne rodniki. W konsekwencji dieta bogata w nasiona lnu czy olej lniany przyjmowana przez dłuższy okres może prowadzić do nasilonego stresu oksydacyjnego oraz redukcji poziomu

witamin o działaniu przeciwutleniającym (Javouney-Donzel i in., 1993). Wśród substancji anty-żywniowych, które mogą wywierać na organizm niepożądany wpływ, wymienia się linatynę, która wiąże witaminę B6. W związku z powyższym dieta bogata w nasiona lnu czy olej lniany może powodować niedobory witaminy B6, prowadząc do podniesienia poziomu homocysteiny i niewydolności nerek (Thompson, 1993; Lindner i in., 2002). Kolejnymi substancjami anty-żywniowymi są glikozydy cyjanogenne, np. linustatyna, neolinustatyna, linamaryna czy tiocyjaniany (Oomah i in., 1992), których niewielkie ilości obecne są w łodygach i korzeniach lnu, natomiast największa ilość obserwowana jest z nasionach, z których tłoczony jest olej (Niedźwiedź-Siegen, 1998). Związki te mogą z udziałem enzymów być przekształcane w cyjanowodór, który jest toksyczny ze względu na hamowanie aktywności oksydazy cytochromowej w mitochondrialnym łańcuchu oddechowym (Czech i in., 2012). Kolejnym składnikiem anty-żywniowym w nasionach lnu jest kwas fitynowy, który wiąże dodatkowo naładowane związki mineralne, takie jak np. cynk, fosfor czy wapń, co może prowadzić do niedoboru związków mineralnych i wpływać na nieprawidłowy rozwój kości (Thompson, 1993; Ward i in., 2001). Odmianą, problematyczną kwestią dotyczącą oleju lnianego jest fakt, że jest to produkt niestabilny chemicznie, wrażliwy na światło i tlen atmosferyczny, co dość znacznie ogranicza i utrudnia możliwości jego zastosowania. Tłuszcz w oleju lnianym jest obecny w formie trójglicerydów, które są bardzo podatne na utlenianie, a tym samym mogą łatwo stracić cenne właściwości prozdrowotne. Podobne procesy zachodzą w wolnych kwasach tłuszczowych uzyskiwanych z oleju lnianego. Ponadto olej lniany charakteryzuje się nieprzyjemnym, gorzkawym smakiem, co wynika z zawartości w nim związków z grupy cyjanosacharydów. Odmiany lnu z dużą zawartością kwasu alfa-linolenowego mogą akumulować szkodliwe produkty peroksydacji wielonienasyconych kwasów tłuszczowych ze względu na dużą podatność kwasu ALA na utlenianie podczas zbyt długiego lub niewłaściwego przechowywania (Łukaszewicz i in., 2004).

Biorąc powyższe pod uwagę, poszukuje się możliwości uzyskania produktu charakteryzującego się cennymi właściwościami prozdrowotnymi oleju lnianego, pozbawionego cech niekorzystnych. Produktem takim mogą być estry etylowe pozyskiwane z oleju lnianego. Estry etylowe stosowane w prezentowanych badaniach wytworzone zostały z oleju lnianego zgodnie z technologią opracowaną na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego (Patent PL211325, 2012). Technologia bazuje na transestryfikacji oleju lnianego (będącego mieszaniną trójglicerydów kwasów tłuszczowych omega-3, 6, 9) za pomocą alkoholu etylowego w obecności katalizatora. W pierwszym etapie procesu ma miejsce transestryfikacja w atmosferze beztlenowej, następnie usuwany jest nadmiar

bioetanolu z mieszaniny poreakcyjnej, a w kolejnym etapie faza glicerynowa oddzielana jest od fazy surowych estrów w separatorach grawitacyjnych. W dalszym etapie procesu estry są odwirowywane w celu ich oczyszczenia (używane są m.in. substancje anty-żywniowe oraz glikozydy cyjanogenne), a następnie oddzielana jest faza glicerynowa.


W efekcie uzyskiwane są estry o składzie podanym w Tabeli 1.

Tabela 1. Typowy skład estrów etylowych otrzymanych z oleju lnianego (źródło: Sokoła-Wysoczańska i in., 2014)

Kwas tłuszczowy	Zawartość [%]
alfa-linolenowy	58,72
linolenowy	16,68
oleinowy	16,73
stearynowy	3,43
palmitynowy	4,44
Stosunek kwasów omega 3 do omega 6	3,52

W porównaniu z olejem lnianym będącym surowcem do ich wytwarzania, estry etylowe otrzymane w opisanych powyżej procesach charakteryzują się istotnie zwiększoną biodostępnością, są zdecydowanie łatwiej wchłaniane i wbudowywane w różnego rodzaju frakcje lipidowe krwi (Nordoy i in., 1991), co wiąże się z ich prostą strukturą cząsteczkową oraz zwiększoną kinetyką uwalniania wolnych kwasów. Przyczynia się to m.in. do ich szybszego trawienia. Dzięki znacznie obniżonej rozpuszczalności tlenu, estry etylowe są dużo bardziej trwałe i stabilne, bardziej odporne na procesy utleniania, peroksydacji oraz polimeryzacji, w porównaniu z olejem. Sugeruje się ponadto, że kwasy omega-3 w formie estrów etylowych są hydrolizowane w dość powolny sposób, w porównaniu do omega-3 w formie trójglicerydów, co powoduje ich wolniejszą absorpcję, która prowadzi do większej stabilizacji parametrów krwi, a tym samym niesie większe korzyści w dłuższym okresie (Rupp i in., 2004). Sprawia to, że estry etylowe mogą być z powodzeniem stosowane jako prozdrowotny suplement, bądź jeden ze składników preparatów kompozytowych, o szerokim spektrum działania biologicznego dla ludzi i zwierząt.

Publikacja 2:

Czyż K. , Sokoła-Wysoczańska E., Bodkowski R., Cholewińska P., Wyrostek A. (2020) Dietary omega-3 source effect on the fatty acid profile of intramuscular and perimuscular fat - preliminary study on a rat model. *Nutrients*, 12(11), 3382.

Celem badań przedstawionych w publikacji było porównanie wpływu różnych suplementów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego zawierających kwasy tłuszczowe omega-3, na profil kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego i między mięśniowego, ze szczególnym uwzględnieniem poziomu kwasów z grupy omega-3, tj. kwasu alfa-linolenowego (ALA), eikozapentaenowego (EPA) i dokozaheksaenowego (DHA). Gatunkiem modelowym były szczury rasy Wistar pochodzące z hodowli monozygotycznej Charles Rivers (Niemcy). Przesłanką do przeprowadzenia badań była możliwość wykorzystania badanych suplementów w żywieniu zwierząt gospodarskich jako metody wzbogacania produktów pochodzenia zwierzęcego, stanowiących ważny element diety człowieka.

Samce szczurów o początkowej masie ciała ok. 380 g utrzymywano pojedynczo w klatkach w wiwarium Wydziału Medycyny Weterynaryjnej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Zwierzęta żywiono standardową paszą dla zwierząt laboratoryjnych firmy Altromin (Niemcy), miały zapewniony nieograniczony dostęp do wody. Przed rozpoczęciem eksperymentu szczury przeszły 6-tygodniowy okres aklimatyzacji. Doświadczenie właściwe trwało 8 tygodni, szczury z grup doświadczalnych otrzymywały dodatek w postaci oleju lnianego (będącego surowcem do wytwarzania estrów etylowych) – grupa **LO**, estrów etylowych oleju lnianego – grupa **EE**, oraz tranu rybiego – grupa **FO**. Wszystkie suplementy podawane były doustnie w ilości 0,04 g/kg masy ciała za pomocą strzykawki wyposażonej w igłę ze specjalną, zaokrągloną końcówką umożliwiającą bezpieczne podawanie preparatów. Masę ciała zwierząt rejestrowano w dniu rozpoczęcia oraz w ostatnim dniu doświadczenia. Ostatniego dnia doświadczenia wszystkie zwierzęta poddano eutanazji i pobrano próby tłuszczu śródmięśniowego oraz między mięśniowego w celu oznaczenia profilu kwasów tłuszczowych.

Dane dotyczące kwasów tłuszczowych przedstawiono jako procentowy udział poszczególnych kwasów w ogólnej puli kwasów. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono całkowity udział kwasów nasyconych (*saturated fatty acids*, SFAs), nienasyconych (*unsaturated fatty acids*, UFAs), jednonienasyconych (*monounsaturated fatty acids*, MUFAs) i wielonienasyconych (*polyunsaturated fatty acids*, PUFAs) oraz ich wzajemne proporcje. Ponadto, oznaczono zawartość sumy kwasów tłuszczowych omega-3, omega-6 i omega-9, a także wyliczono wskaźniki jakości tłuszczów, tj. indeks aterogeny i trombogeny, które uwzględniają udział kwasów o udowodnionej aktywności aterogennej (kwasy z 12, 14 lub 16 atomami węgla) oraz trombogennej (kwasy tłuszczowe o 14, 16 i 18 atomach węgla) w ogólnej puli kwasów tłuszczowych.

Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w masie ciała zwierząt przed i po doświadczeniu, przyrosty były na podobnym poziomie w poszczególnych grupach.

W wyniku analiz profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu śródmięśniowego, stwierdzono statystycznie istotne różnice całkowitej puli SFA pomiędzy grupami LO i FO (o ok. 6% wyższy poziom w grupie FO). W przypadku całkowitej puli UFA, istotnie potwierdzoną różnicę odnotowano jedynie pomiędzy grupami LO i FO. Całkowita zawartość MUFA obniżyła się istotnie w grupach LO i EE w porównaniu do grupy kontrolnej (odpowiednio o około 10% i 11%), natomiast zawartość PUFA wzrosła w grupach LO i EE (odpowiednio o około 29% i 26%) i była również istotnie wyższa w porównaniu do grupy FO (odpowiednio o około 23% i 21%) (Tabela 2).

Tabela 2. Zestawienie zawartości kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym szczurów (% ogólnej puli kwasów tłuszczowych) (Tabela 4 z publikacji nr 2)

Kwasy tłuszczowe	Grupa C		Grupa LO		Grupa EE		Grupa FO	
	Średnia	SD	Średnia	SD	Średnia	SD	Średnia	SD
SFA	34,60	0,90	33,46 ^a	0,95	34,36	1,09	35,52 ^b	1,52
UFA	65,40	0,90	66,67 ^a	0,86	65,64	1,09	64,48 ^b	1,52
MUFA	45,14 ^a	1,82	40,54 ^b	1,61	40,05 ^b	2,48	43,41	1,93
PUFA	20,27 ^a	1,16	26,13 ^b	1,46	25,59 ^b	1,67	21,07 ^{a,c}	1,11
PUFA/MUFA	0,45 ^a	0,04	0,65 ^b	0,06	0,64 ^b	0,08	0,49 ^{a,c}	0,04
PUFA/UFA	0,31 ^a	0,02	0,39 ^b	0,02	0,39 ^b	0,03	0,33 ^{a,c}	0,02
UFA/SFA	1,89	0,09	2,00 ^a	0,08	1,91	0,10	1,82 ^b	0,13
n-3	2,19 ^a	0,22	6,71 ^b	0,64	6,12 ^{b,d}	0,64	4,11 ^{a,c,d}	0,55
n-6	16,74 ^a	0,85	18,44 ^b	1,50	18,74 ^b	1,28	16,15 ^{a,c}	0,70
n-9	36,06	0,65	36,02	1,71	35,32	1,82	37,12	1,71
n-6/n-3	7,69 ^a	0,55	2,77 ^b	0,36	3,09 ^{b,d}	0,31	3,98 ^{a,c,d}	0,50
AI	0,60 ^a	0,01	0,54 ^b	0,03	0,56 ^{b,d}	0,02	0,61 ^{a,c,d}	0,04
TI	0,90 ^a	0,04	0,65 ^b	0,03	0,69 ^{b,d}	0,03	0,80 ^{a,c,d}	0,04

Grupa C – grupa kontrolna; Grupa LO – grupa otrzymująca olej lniany; Grupa EE – grupa otrzymująca estry etylowe; Grupa FO – grupa otrzymująca tran;

^{a-d} Różne indeksy górne w wierszach oznaczają różnice statystyczne między grupami przy $p < 0,05$.

Spośród kwasów tłuszczowych z grupy omega-3, zawartość kwasu alfa-linolenowego (ALA) wzrosła istotnie w grupach suplementowanych olejem lnianym lub estrami etylowymi wytworzonymi na jego bazie, tj. LO i EE, wzrost ten był odpowiednio około 5,5-krotny i 4,6-krotny. Z kolei zawartość kwasu dokozaheksaenowego (DHA) była najwyższa w grupie suplementowanej olejem rybim (FO) i była wyższa o około 145% w porównaniu z grupą kontrolną oraz o 90% w porównaniu z grupą EE. W przypadku sumy kwasów omega-3

odnotowano statystycznie istotny wzrost ich zawartości we wszystkich grupach doświadczalnych w porównaniu z grupą kontrolną, jednak największy wzrost zaobserwowano w grupie LO, a następnie EE (odpowiednio około 3,0- i 2,8-krotny). Zawartość kwasów tłuszczowych omega-6 w grupie LO wzrosła o około 10%, natomiast w przypadku grupy EE o 12%. W związku z powyższym, stosunek kwasów omega-6/omega-3 zmniejszył się we wszystkich grupach doświadczalnych w porównaniu z grupą kontrolną. Najniższą wartość tego stosunku stwierdzono w grupie LO, gdzie był on około 2,8-krotnie niższy w porównaniu z grupą kontrolną, natomiast w grupach EE i FO wartość ta była odpowiednio około 2,5 i 1,9-krotnie niższa (Tabela 2).

Wartości indeksów aterogenego (AI) i trombogennego (TI) obliczone na podstawie wyników analizy kwasów tłuszczowych w tłuszczu śródmięśniowym wykazały istotne różnice pomiędzy grupą kontrolną a grupami LO i EE, spadek ten wynosił odpowiednio około 10% i 7% w przypadku AI oraz 28% i 23% dla TI. Różnice pomiędzy grupami FO i LO lub EE zostały potwierdzone statystycznie w obu przypadkach (Tabela 2).

Analiza kwasów tłuszczowych tłuszczu międzymięśniowego wykazała statystycznie istotne różnice w całkowitej puli SFA pomiędzy grupami LO i EE a FO. Stwierdzono także statystycznie istotne różnice w całkowitej puli UFA pomiędzy grupami LO lub EE i FO. O ile zawartość MUFA była istotnie zredukowana w grupach LO i EE w stosunku do grupy kontrolnej (odpowiednio o ok. 7,5% i 8%), o tyle zawartość PUFA istotnie wzrosła w grupach LO i EE, a obserwowany wzrost wynosił odpowiednio ok. 36% i 25%. W przypadku grupy FO odnotowano potwierdzone statystycznie różnice w stosunku do grup LO i EE (Tabela 3).

Podobnie jak w przypadku tłuszczu śródmięśniowego, korzystne wyniki odnotowano w zakresie profilu kwasów tłuszczowych omega-3, tj. ALA i DHA. Zawartość kwasu alfa-linolenowego wzrosła istotnie w grupach LO i EE i był to odpowiednio wzrost 4,7- i 3,8-krotny. Poziom kwasu ALA w tych grupach był również istotnie wyższy w porównaniu do grupy FO. W przypadku zawartości kwasu dokozaheksaenowego zaobserwowano wzrost pomiędzy grupą kontrolną a LO oraz grupami EE i FO (odpowiednio około 4,5- i 7-krotny), przy czym różnica pomiędzy grupami EE i FO była również istotna. W przypadku kwasu eikozapentaenowego odnotowano istotną różnicę pomiędzy grupą FO a pozostałymi (Tabela 3).

Analizując zawartość kwasów z grup omega-3, omega-6 ogółem, statystycznie potwierdzone różnice zaobserwowano w przypadku kwasów omega-3 pomiędzy grupą kontrolną a grupami LO i EE (wzrost odpowiednio około 4,3- i 3,9-krotny). Z kolei w odniesieniu do zawartości kwasów omega-6 statystycznie istotną różnicę odnotowano

jedynie pomiędzy grupami EE i FO. Stosunek kwasów omega-6/omega-3 uległ istotnemu obniżeniu we wszystkich grupach doświadczalnych, przy czym najbardziej korzystną wartość w porównaniu do grupy kontrolnej zaobserwowano w grupie LO, następnie EE, różnica ta była najmniejsza, choć nadal istotna, w przypadku grupy FO (odpowiednio około 4-, 3,6- i 1,9-krotny spadek) (Tabela 3).

Również w przypadku wskaźników aterogennych (AI) i trombogennych (TI) odnotowano różnice pomiędzy grupą kontrolną a grupami LO i EE. Redukcja wynosiła odpowiednio około 10% i 7% w przypadku AI oraz 28% i 24% w przypadku TI. Różnice pomiędzy grupami FO i LO lub EE zostały potwierdzone statystycznie (Tabela 3).

Tabela 3. Zestawienie zawartości kwasów tłuszczowych w tłuszczu międy mięśniowym szczurów (% ogólnej puli kwasów tłuszczowych) (Tabela 6 z publikacji nr 2)

Kwasy tłuszczowe	Grupa C		Grupa LO		Grupa EE		Grupa FO	
	Średnia	SD	Średnia	SD	Średnia	SD	Średnia	SD
SFA	34,29	0,73	33,03 ^a	1,36	33,38 ^a	0,44	35,19 ^b	0,99
UFA	65,71	0,73	66,97 ^a	1,36	66,62 ^a	0,44	64,81 ^b	0,99
MUFA	47,00 ^a	0,44	43,45 ^b	1,21	43,18 ^b	1,10	45,80	1,23
PUFA	18,71 ^a	1,06	25,52 ^b	1,72	23,44 ^b	1,20	19,01 ^{a,c}	1,14
PUFA/MUFA	0,40 ^a	0,03	0,54 ^b	0,05	0,54 ^b	0,04	0,42 ^{a,c}	0,03
PUFA/UFA	0,29 ^a	0,01	0,35 ^b	0,02	0,35 ^b	0,02	0,29 ^{a,c}	0,02
UFA/SFA	1,92	0,06	2,03 ^a	0,12	2,00 ^a	0,40	1,84 ^b	0,08
n-3	1,27 ^a	0,10	5,52 ^b	0,79	5,01 ^{b,d}	0,61	2,34 ^{a,c,d}	0,33
n-6	16,58	0,91	17,46	1,44	17,67 ^a	0,80	16,03 ^b	1,05
n-9	39,83	0,25	39,99	0,93	38,71 ^a	0,96	40,75 ^b	1,00
n-6/n-3	13,13 ^a	0,94	3,21 ^b	0,48	3,56 ^{b,d}	0,38	6,95 ^{a,c,d}	0,87
AI	0,60 ^{a,c,d}	0,02	0,54 ^{b,d}	0,04	0,56 ^d	0,02	0,61 ^c	0,03
TI	0,94 ^a	0,03	0,68 ^b	0,06	0,71 ^b	0,03	0,89 ^{a,c}	0,05

Grupa C – grupa kontrolna; Grupa LO – grupa otrzymująca olej lniany; Grupa EE – grupa otrzymująca estry etylowe; Grupa FO – grupa otrzymująca tran;

^{a-d} Różne indeksy górne w wierszach oznaczają różnice statystyczne między grupami przy $p < 0,05$.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono wyższą niż podawana w literaturze konwersję ALA do EPA i DHA w przypadku zastosowania estrów etylowych oleju lnianego w porównaniu z olejem. Estry produkowane są w atmosferze azotu bez dostępu tlenu, dlatego zakłada się, że najważniejszym czynnikiem, który może obniżać konwersję kwasu alfa-linolenowego są produkty autooksydacji kwasu alfa-linolenowego. Można więc sugerować, że zachowane wiązania podwójne i brak produktów autooksydacji to dwa główne czynniki

gwarantujące udaną konwersję kwasu alfa-linolenowego. Wymaga to jednak dalszych badań w całości skoncentrowanych na tempie konwersji.

Badania wykazały, że estry etylowe oleju lnianego mogą być cennym źródłem kwasów tłuszczowych omega-3, tj. kwasu alfa-linolenowego i jego metabolitów EPA i DHA, w diecie zwierząt, w dążeniu do wzbogacenia produktów pochodzenia zwierzęcego w prozdrowotne kwasy tłuszczowe. Taka suplementacja może być korzystna zarówno dla zwierząt, gdyż kwasy tłuszczowe omega-3 wykazują korzystne właściwości związane ze stanem zdrowia i produktywnością zwierząt, jak i dla ludzi spożywających tak wzbogacone produkty.

Mając na uwadze wyniki uzyskane na modelu szczurzym, tj. korzystną modyfikację profilu kwasów tłuszczowych w wyniku suplementacji estrami etylowymi oleju lnianego – ten suplement wykorzystywano w dalszych badaniach na zwierzętach gospodarskich w celu wzbogacenia ich mleka i mięsa w kwasy omega-3.

Publikacja 3:

Patkowska-Sokoła B., **Czyż K[□]**, Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., Bodkowski R., Vogt A. (2014) Zastosowanie estrów etylowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z grupy omega-3 jako surowca dla przemysłu paszowego. *Przemysł Chemiczny*, 93(5), 799-802.

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania estrów etylowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych z grupy omega-3 o wysokiej zawartości kwasu alfa-linolenowego (ALA) jako składnika dodatków paszowych dla krów mlecznych i owiec. Jest to pierwsza w literaturze tematu publikacja ukazująca zastosowanie tego dodatku w żywieniu tych dwóch gatunków zwierząt.

Badania w części dotyczącej owiec zostały przeprowadzone na owcach rasy merynos polski w gospodarstwie rolnym Agrominor sp. z o.o. w Mokrzeszowie, natomiast w badaniach na krowach mlecznych wybrano rasę holsztyńsko-fryzyjską, utrzymywaną w Kombinacie Rolnym Świdnica sp. z o.o.

Zarówno w przypadku owiec jak i krów, zwierzęta wybrane do doświadczeń charakteryzowały się zbliżoną masą ciała i były w tej samej fazie laktacji. W przypadku obu gatunków utworzono losowo dwie grupy po 10 sztuk zwierząt: kontrolna (**K**) i doświadczalna (**D**). Owce z grupy doświadczalnej otrzymywały indywidualnie przez trzy tygodnie dodatek

preparatu odpowiadający ilości 50 g estru/szt./dzień, natomiast ilość dodatku w przypadku krów wynosiła 350 g estru/szt./dzień. Mleko do badań pobierano od wszystkich zwierząt na początku doświadczenia, a następnie w 10. i 20. dniu (odpowiednio pobranie 1, 2 i 3).

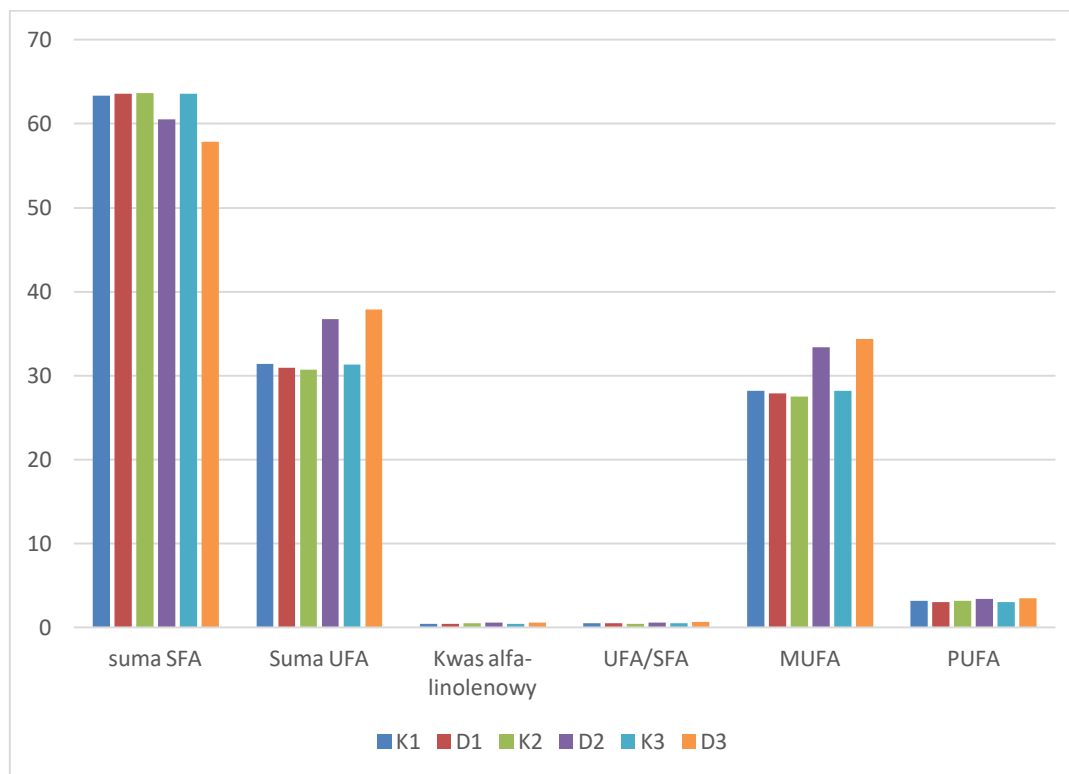
Analizy pobranych prób mleka przeprowadzono w Laboratorium Oceny i Analiz Mleka Instytutu Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W badanych próbach mleka określono procentową zawartość tłuszczu, białka, laktozy i suchej masy (INFRARED-150 firmy Bentley). Profil kwasów tłuszczowych określony został w Pracowni Chromatografii i Badania Mięsa Instytutu Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przy użyciu chromatografu gazowego Agilent 7890A (Agilent Technologies).

Wyniki dotyczące kwasów tłuszczowych zostały przedstawione jako procentowy udział poszczególnych kwasów w ich ogólnej puli. Obliczono stosunek sumy nienasyconych kwasów tłuszczowych (UFA), do kwasów nasyconych (SFA), a także indeks aterogenny i trombogenny.

Zastosowanie dodatku estru etylowego z oleju lnianego nie spowodowało istotnych zmian w składzie podstawowym mleka pochodzącego od owiec, tj. w zawartości białka, tłuszczu, laktozy i suchej masy. Średni poziom tych składników wynosił odpowiednio ok. 4,19% (zakres 3,95 - 4,37), 3,03% (zakres 2,81 - 3,12), 5,07% (zakres 4,98 - 5,19) oraz 10,74% (zakres 10,12 - 11,63).

W profilu kwasów tłuszczowych mleka owiec odnotowano korzystny spadek poziomu nasyconych kwasów tłuszczowych. Poziom kwasu laurynowego (C12:0) w ostatnim pobraniu zmniejszył się o ok. 27% w stosunku do wartości początkowej, kwasu mirystynowego (C14:0) o ok. 8%, kwasu palmitynowego (C16:0) o ok. 6.5%, natomiast kwasu stearynowego (C18:0) o ok. 3%. Zmiany te znalazły odzwierciedlenie w ok. 9% redukcji puli nasyconych kwasów tłuszczowych. Jednocześnie stwierdzono korzystny, ok. 22% wzrost udziału nienasyconych kwasów tłuszczowych, oraz ok. 33% wzrost stosunku kwasów nienasyconych do nasyconych. Analizując wielonienasycone kwasy tłuszczowe, zaobserwowano ok. 42% wzrost poziomu kwasu alfa-linolenowego (ALA), głównego składnika preparatu podawanego zwierzętom, po suplementacji w porównaniu z pierwszym pobraniem mleka. Obserwowane zmiany w profilu kwasów tłuszczowych znalazły również odzwierciedlenie w obliczonych indeksach: indeks aterogenny zmalał o ok. 25%, natomiast trombogenny o ok. 26% w porównaniu do wartości początkowych (Wykres 1).

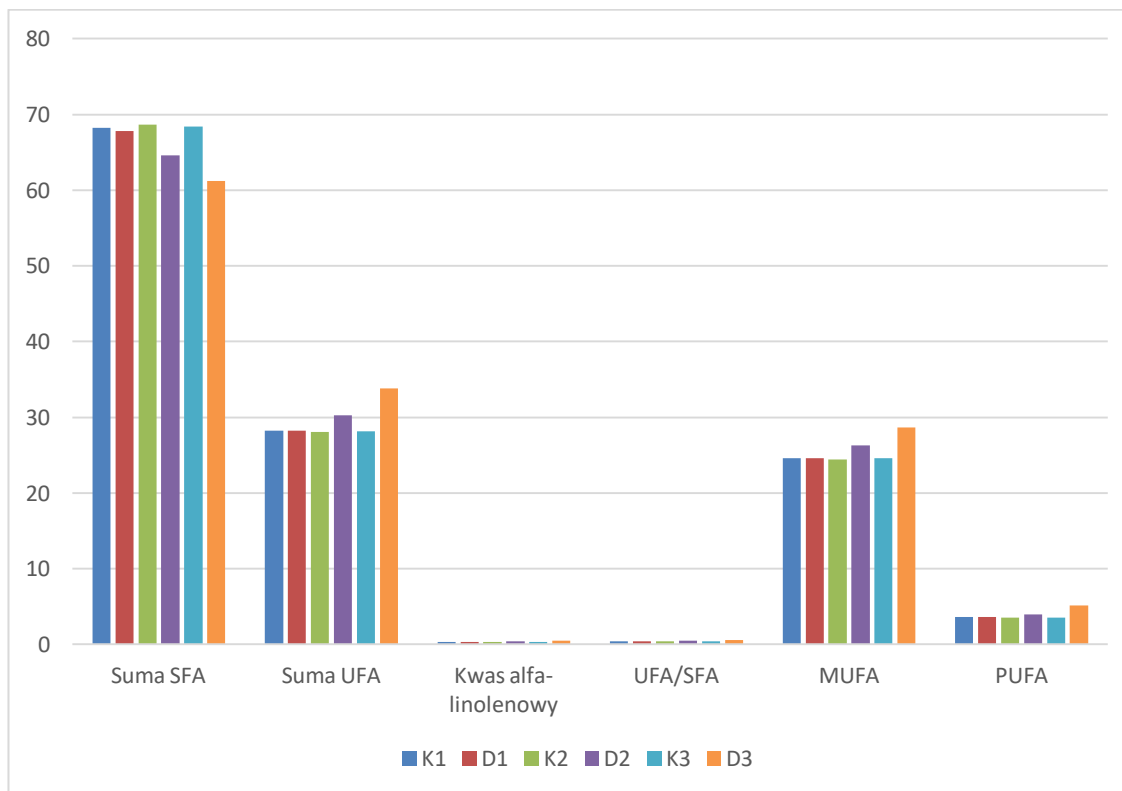
Wykres 1. Profil kwasów tłuszczowych mleka owczego (%) (opracowano na podstawie Tabeli 2 z publikacji nr 3)



Podobnie jak w mleku owiec, suplementacja diety krów nie miała wpływu na skład podstawowy mleka, średni poziom tłuszczu wyniósł 3,50% (zakres 3,06 - 3,80), białka 4,29% (zakres 4,09 - 4,53), laktozy 5,61% (zakres 5,39 - 6,02) a suchej masy 13,25% (zakres 11,76 - 13,95).

Zaobserwowano korzystne zmiany w profilu kwasów tłuszczowych. W mleku grupy krów otrzymujących estry etylowe oleju lnianego odnotowano redukcję poziomu nasyconych kwasów tłuszczowych, tj. kwasu laurynowego (C12:0), kwasu mirystynowego (C14:0), kwasu palmitynowego (C16:0) i kwasu stearynowego (C18:0), która wynosiła odpowiednio ok. 12%, 6%, 12,5% oraz 13%. Całkowita pula kwasów nasyconych została obniżona o ok. 10% w stosunku do wartości uzyskanej w pierwszym pobraniu. Zaobserwowano jednocześnie ok. 20% wzrost poziomu nienasyconych kwasów tłuszczowych, w tym ok. 59% wzrost zawartości kwasu alfa-linolenowego. Zmiany te znalazły odzwierciedlenie w korzystnym wzroście stosunku kwasów nienasyconych do nasyconych, który wyniósł ok. 31%, a także w redukcji obliczonych indeksów. Wartość indeksu aterogennego zmalała o ok. 23%, natomiast indeksu trombogennego o ok. 38% (Wykres 2).

Wykres 2. Profil kwasów tłuszczowych mleka krowiego (%) (opracowano na podstawie Tabeli 4 z publikacji nr 3)



Głównym źródłem kwasu alfa-linolenowego w diecie przeżuwaczy jest zielonka pastwiskowa, jednak dążenie do poprawy wyników produkcyjnych zwierząt sprawia, iż żywione są one zazwyczaj mieszankami komercyjnymi, w których zawartość tego kwasu jest niewielka. Przeprowadzono doświadczenia, w których dieta krów uzupełniana była olejem lnianym bądź siemieniem lnianym, w wyniku których uzyskano pewien wzrost zawartości ALA w mleku. Problemem jednak jest fakt, że w żywieniu przeżuwaczy następuje wspomniane już biouwodorowanie kwasów tłuszczowych pochodzących z diety, co w znacznym stopniu ogranicza ich transfer m.in. do mleka (Nudda i in., 2014). Uważa się więc, iż transfer kwasu alfa-linolenowego z diety do tłuszczu mleka może być efektywny jedynie w przypadku podawania dodatków chronionych, czyli stosowania znacznych koncentracji przeciwutleniaczy, które odgrywają istotną rolę w zapobieganiu negatywnym wpływom wolnych rodników, w szczególności zapobiegając utlenianiu tłuszczu w błonach komórkowych.


W literaturze znaleźć można dużą liczbę prac przedstawiających wpływ suplementacji diety krów i owiec mlecznych olejem lnianym na profil kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka. Uzyskiwane wyniki mieszczą się w bardzo szerokich granicach, co ma związek m.in.

z różnymi systemami utrzymania, czy żywienia zwierząt, genotypem, jakością zadawanych suplementów itp. Wspólną cechą większości badań jest redukcja poziomu kwasów nasyconych i wzrost zawartości kwasów nienasyconych w mleku. Spośród kwasów nienasyconych szczególną uwagę zwraca się na kwasy z rodziny omega-3 (np. Flowers i in., 2008; Chilliard i in., 2009; Gebreyowhans i in., 2019; Oliveira i in., 2021).

Wyniki uzyskane w omawianej pracy, zwłaszcza znaczący wzrost zawartości ALA w mleku, sugerują, że zastosowane estry etylowe charakteryzują się istotnie zwiększoną biodostępnością, są zdecydowanie łatwiej wchłaniane i wbudowywane w różnego rodzaju tkanki, co wiąże się z cechami opisanymi w publikacji nr 1.

Przeprowadzone badania wskazują niewątpliwie korzyści wynikające z suplementacji dawek pokarmowych dla zwierząt gospodarskich preparatem zawierającym w swym składzie estry etylowe nienasyconych kwasów tłuszczowych z wysokim udziałem kwasu alfa-linolowego. We wszystkich badanych próbach korzystnie zmieniły się proporcje kwasów nienasyconych do nasyconych, ponadto uzyskano obniżenie wskaźnika aterogennego i trombogennego.

Publikacja 4:

Czyż K. , Sokoła-Wysoczańska E., Wyrostek A., Cholewińska P. (2021) An attempt to enrich pig meat with omega-3 fatty acids using linseed oil ethyl ester diet supplement. *Agriculture*, 11(4), 365.

Celem badań przedstawionych w pracy było zbadanie wpływu suplementacji diety tuczników trzody chlewnej preparatem zawierającym estry etylowe oleju lnianego na skład i profil kwasów tłuszczowych połowicy i szynki. Z dostępnego piśmiennictwa wynika, że dotychczas nie prowadzono badań z zastosowaniem takiego preparatu w żywieniu świń.

Badania przeprowadzono na tucznikach rasy polska biała zwisloucha w wieku pięciu miesięcy w gospodarstwie rodzinnym położonym w południowej części Polski. Zwierzęta podzielono na dwie grupy (po 8 zwierząt w każdej): kontrolną i doświadczalną. Tuczniki żywiono zgodnie z normami żywienia świń z nieograniczonym dostępem do wody (Grela i Skomiał, 2014). Zwierzęta z grupy doświadczalnej przez okres 7 tygodni otrzymywały indywidualnie suplement w postaci estru etylowego oleju lnianego w ilości 100 g/szt./dzień. Zwierzęta ważono na początku i na końcu doświadczenia, obliczano przyrosty masy ciała oraz współczynnik wykorzystania paszy (kg paszy/kg przyrostu). Po zakończeniu okresu

tuczu zwierzęta poddano ubojowi, po 24 h schładzania tuszy w temperaturze około 4°C pobrano próby mięsa (polędwica - mięsień *Longissimus dorsi*, szynka - mięsień *Biceps femoris*) do analiz laboratoryjnych. Pozyskano następujące próby: polędwica z grupy kontrolnej (**L-C**), szynka z grupy kontrolnej (**H-C**), polędwica z grupy doświadczalnej (**L-EE**) oraz szynka z grupy doświadczalnej (**H-EE**).

Podstawowy skład pobranych prób mięsa, tj. zawartość tłuszczu, białka, popiołu i suchej masy, oznaczono w laboratorium Katedry Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, zgodnie z rutynowo stosowanymi procedurami. Profil kwasów tłuszczowych badano w Pracowni Chromatografii i Oceny Mięsa, Instytutu Hodowli Zwierząt, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Dane dotyczące kwasów tłuszczowych przedstawiono jako procentowy udział poszczególnych kwasów w ogólnej puli kwasów. Obliczono łączny udział kwasów nasyconych (SFA), nienasyconych (UFA), jednonienasyconych (MUFA) i wielonienasyconych (PUFA) oraz ich proporcje. Ponadto oznaczono zawartość sumy kwasów tłuszczowych omega-3, omega-6 i omega-9. Na podstawie profilu kwasów tłuszczowych badanych prób obliczono indeks aterogenny (AI) i indeks trombogenny (TI).

Nie wykazano istotnych różnic w masie ciała zwierząt obu grup na początku i po zakończeniu doświadczenia, również w przypadku przyrostów masy ciała i wskaźnika wykorzystania paszy różnice nie zostały potwierdzone statystycznie.

Analiza podstawowego składu chemicznego badanych prób wykazała istotne różnice pomiędzy zawartością tłuszczu w grupach kontrolnych (L-C vs. H-C), która była o około 18% niższa w szynce w porównaniu z polędwicą. Suplementacja spowodowała istotne (ok. 10%) obniżenie zawartości tłuszczu w polędwicy w grupie otrzymującej estry etylowe oleju lnianego L-EE w porównaniu z grupą L-C.

Biorąc pod uwagę profil kwasów tłuszczowych analizowanych wyrębów w próbach kontrolnych (L-C i H-C), istotną różnicę w grupie nasyconych kwasów tłuszczowych odnotowano w przypadku kwasu margarynowego (C17:0), którego zawartość była ok. 22% niższa w szynce w porównaniu z polędwicą. Analiza różnic pomiędzy grupami kontrolnymi i doświadczalnymi (tj. L-C vs. L-EE i H-C vs. H-EE) wykazała istotne obniżenie zawartości kwasu kaprynowego (C10:0) w szynce. Porównując z kolei zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych w próbach polędwicy i szynki po suplementacji (L-EE vs H-EE), zawartość kwasu margarynowego (C17:0) była istotnie niższa w szynce (ok. 19%) w porównaniu z polędwicą.

W przypadku nienasyconych kwasów tłuszczowych, różnice pomiędzy grupami kontrolnymi (L-C vs. H-C) okazały się statystycznie istotne w przypadku kwasu arachidonowego (C20:4n6), którego zawartość była o około 38% niższa w grupie H-C w porównaniu do L-C. Większe różnice zaobserwowano w odniesieniu do wpływu suplementacji na poziom kwasów nienasyconych w poszczególnych wyrębach. W przypadku polędwicy (L-C vs. L-EE) różnice statystyczne odnotowano dla następujących kwasów: oleopalmitynowego (C16:1) (wzrost o ok. 23%), margarynooleinowego (C17:1) (wzrost o ok. 56%), alfa-linolenowego (C18:3n3) (wzrost o ok. 64%), arachidonowego (C20:4n6) (spadek o ok. 56%), EPA (C20:5n3) i DHA (C22:6n3) (niemal 2-krotny wzrost) w grupie L-C w porównaniu z L-EE. Biorąc pod uwagę różnice w próbach szynki pomiędzy grupą kontrolną i doświadczalną (H-C vs. H-EE), wykazano około 52% wzrost w przypadku kwasu margarynooleinowego (C17:1), 5% wzrost w przypadku kwasu oleinowego (C18:1n9c), 56% wzrost w przypadku kwasu alfa-linolenowego (C18:3n3) oraz prawie 2-krotny wzrost poziomu EPA (C20:5n3) w grupie H-EE w porównaniu do H-C. Zawartość kwasu arachidonowego (C20:4n6) zmniejszyła się w wyniku suplementacji o około 28%. Biorąc pod uwagę zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych w grupach otrzymujących dodatek estrów etylowych oleju lnianego, tj. w grupach L-EE i H-EE, nie stwierdzono istotnych różnic (Tabela 4).

Nie stwierdzono istotnych różnic w przypadku całkowitej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych, natomiast stwierdzono wzrost poziomu kwasów nienasyconych w próbach polędwicy i szynki tuczników z grupy doświadczalnej. Wzrost ten wynosił około 5% w grupie L-EE w porównaniu do L-C i około 7% w przypadku grupy H-EE w porównaniu do H-C. Suplementacja wpłynęła również na całkowitą zawartość jednonienasyconych kwasów tłuszczowych w badanych próbach szynki (wzrost na poziomie około 7% pomiędzy grupą H-C vs. H-EE). Istotny statystycznie wzrost, o około 20%, zaobserwowano także w przypadku zawartości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych w próbach szynki. Warto jednak zaznaczyć, że wskaźnik ten był statystycznie istotnie wyższy w próbach polędwicy, zarówno z grupy kontrolnej i doświadczalnej, w porównaniu z próbami szynki (L-C vs. H-C oraz L-EE vs. H-EE), a podobną tendencję odnotowano w przypadku stosunku PUFA/MUFA i PUFA/UFA (Tabela 4).

Analizując całkowitą zawartość kwasów tłuszczowych omega-3, omega-6 i omega-9, można zauważyć, że poziom kwasów n-6 był ok. 15% wyższy w polędwicy w porównaniu z szynką. Z kolei zawartość kwasów omega-9 była ok. 5% wyższa w grupie H-EE w porównaniu do L-EE. Suplementacja estrami etylowymi oleju lnianego spowodowała

istotny wzrost poziomu sumy kwasów n-3, zarówno w próbach polędwicy jak i szynki, (odpowiednio ok. 60% i 53% w porównaniu z próbami kontrolnymi). W przypadku kwasów omega-9, statystycznie istotną różnicę odnotowano jedynie dla prób szynki, gdzie ich poziom wzrósł o około 5% w grupie H-EE w porównaniu do grupy H-C. Wyniki te znalazły odzwierciedlenie w stosunku omega-6/omega-3, który zmniejszył się odpowiednio o około 41% i 35% w kontrolnych i doświadczalnych próbach polędwicy i szynki (Tabela 4).

Wartość indeksu trombogennego (TI) po suplementacji została obniżona zarówno w próbach polędwicy jak i szynki, a spadek ten był odpowiednio na poziomie około 27% i 23%.

Tabela 4. Zestawienie zawartości kwasów tłuszczowych w badanych próbach (% ogólnej puli kwasów tłuszczowych) (Tabela 3 z publikacji nr 4)

Kwasy tłuszczowe	Polędwica				Szynka			
	Grupa L-C		Grupa L-EE		Grupa H-C		Grupa H-EE	
	Średnia	SD	Średnia	SD	Średnia	SD	Średnia	SD
SFA	40,02	1,19	38,96	1,74	38,81	2,75	39,28	2,65
UFA	55,87 ^A	1,31	58,89 ^{B,C}	0,77	55,76 ^{A,D}	1,62	59,91 ^B	2,37
MUFA	47,32 ^A	1,21	49,60	0,90	48,23 ^A	2,03	51,54 ^B	2,47
PUFA	8,55 ^A	0,77	9,29 ^{A,a}	0,52	7,53 ^{B,a}	0,49	8,37 ^{A,b}	0,44
PUFA/MUFA	0,18 ^a	0,02	0,19 ^{A,a,b,c}	0,01	0,16 ^{B,b}	0,02	0,16 ^{a,b,d}	0,01
PUFA/UFA	0,15 ^a	0,01	0,16 ^{A,a,b,c}	0,01	0,14 ^{B,b}	0,01	0,14 ^{a,b,d}	0,01
UFA/SFA	1,40	0,06	1,52	0,09	1,44	0,12	1,54	0,17
PUFA/SFA	0,21	0,02	0,24 ^A	0,02	0,19 ^B	0,02	0,21	0,02
n-3	1,54 ^A	0,19	2,48 ^B	0,23	1,46 ^{A,C}	0,18	2,25 ^B	0,23
n-6	7,01 ^a	0,86	6,82	0,60	6,07 ^b	0,60	6,13	0,53
n-9	39,94 ^A	1,40	40,61	1,29	40,50 ^a	1,75	42,62 ^{B,b}	1,60
n-6/n-3	4,68 ^A	1,17	2,78 ^B	0,44	4,25 ^{A,C}	0,86	2,76 ^B	0,45
AI	0,54	0,02	0,51	0,03	0,53	0,06	0,51	0,05
TI	4,74 ^A	0,23	3,43 ^B	0,21	5,03 ^{A,C}	0,58	3,83 ^B	0,39

^{a-c} Różne indeksy górne w wierszach oznaczają różnice statystyczne między grupami przy $p < 0,05$;

^{A-C} Różne indeksy górne w wierszach oznaczają różnice statystyczne między grupami przy $p < 0,01$.

W opinii wielu dietetyków i konsumentów tłuszcz zawarty w mięsie uważany jest za niezdrowy, podczas gdy tłuszcz i profil jego kwasów tłuszczowych, zarówno mięśni, jak i tkanki tłuszczowej, są ważnymi czynnikami wpływającymi na jakość mięsa oraz jego wartość odżywczą i funkcjonalną (Wood i in., 2008). W prezentowanych badaniach stosunek kwasów tłuszczowych omega-6 do omega-3 w próbach schabu i szynki tuczników suplementowanych estrami etylowymi oleju lnianego uległ znacznemu obniżeniu, co

wynikało głównie ze wzrostu zawartości ALA i obniżenia poziomu kwasów z grupy omega-6. Mięso uzyskane w wyniku suplementacji diety tuczników można więc uznać za korzystniejsze dla zdrowia pod względem żywieniowym, ze względu na istotnie niższą wartość omega-6/omega-3 zalecaną przez dietetyków. Warto również zaznaczyć, że badane w niniejszej pracy wyręby należą do najczęściej spożywanych. Należy pamiętać, że prawidłowy stosunek omega-6 do omega-3 w mięsie zwierząt gospodarskich i produktach mięsnych może poprawić podaż kwasów tłuszczowych omega-3 w diecie człowieka, co jest korzystne z dietetycznego punktu widzenia (Nantapo i in., 2015; Cheng i in., 2017).

3.3.4. Podsumowanie i wnioski

Wyniki uzyskane w badaniach przedstawionych w prezentowanym cyklu publikacji pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

- profil kwasów tłuszczowych, szczególnie poziom i wzajemne proporcje kwasów z grup omega-3 i omega-6, tłuszczu śródmięśniowego i międzymięśniowego szczurów był najkorzystniejszy w przypadku grupy suplementowanej estrami etylowymi oleju lnianego;
- wyniki uzyskane w publikacji 2 wskazują, że konwersja kwasu alfa-linolenowego dostarczonego do organizmu w wyniku suplementacji estrami etylowymi oleju lnianego jest wyższa w porównaniu do surowego oleju;
- wyniki uzyskane w publikacji 3 świadczą, że suplementacja diety krów i owiec mlecznych estrami etylowymi oleju lnianego korzystnie modyfikuje profil kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka tych gatunków zwierząt, udział kwasów nasyconych zmniejszył się przy równoczesnym wzroście kwasów nienasyconych, obniżone zostały wskaźniki lipidowe, tj. indeks aterogenny i trombogenny;
- wyniki przedstawione w publikacji 4 również potwierdzają korzystne zmiany profilu kwasów tłuszczowych tłuszczu polędwicy i szynki, szczególnie korzystne z punktu widzenia konsumenta obniżenie udziału kwasów tłuszczowych omega-6, a tym samym korzystną modyfikację stosunku kwasów omega-6 do omega-3.

Piśmiennictwo:

- Abedi, E.; Sahari, M.A. Long-chain polyunsaturated fatty acid sources and evaluation of their nutritional and functional properties. *Food Sci. Nutr.* 2014, 2, 443-463.
- Bays, H. Clinical overview of Omacor: A concentrated formulation of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Am. J. Cardiol.* 2006, 98, 71i-76i.

- Bekhit, A.E.D.A.; Shavandi, A.; Jodjaja, T.; Birch, J.; Teh, S.; Ahmed, I.A.M.A.; Al-Juhaimi, F.Y.; Saeedi, P.; Bekhit, A.A. Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatal. Agricult. Biotechnol.* 2018, 13, 129-152.
- Bessa, R.J.B.; Alves, S.P.; Santos-Silva, J. Constraints and potentials for the nutritional modulation of the fatty acid composition of ruminant meat. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2015, 117, 1325-1344.
- Bryhn, M.; Hansteen, H.; Schanche, T.; Aakre S.E. The bioavailability and pharmacodynamics of different concentrations of omega-3 acid ethyl esters. *Prostag. Leukotr. Ess.* 2006, 75, 19-24.
- Burdge, G.C.; Jones, A.E.; Wootton, S.A. Eicosapentaenoic and docosapentaenoic acids are the principal products of alpha-linolenic acid metabolism in young men. *Br. J. Nutr.* 2002, 88, 355-363.
- Candyrine, S.; Jahromi, M.; Ebrahimi, M.; Chen, W.L.; Rezaei, S.; Goh, Y.M.; Abdullah, N.; Liang, J.B. Oil supplementation improved growth and diet digestibility in goats and sheep fed fattening diet. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 2019, 32, 533-540.
- Cheng, C.; Zhang, X.; Xia, M.; Liu, Z.; Wei, H.; Deng, Z.; Wang, C.; Jiang, S.; Peng, J. Effect of oregano essential oil and benzoic acid supplementation to a low-protein diet on meat quality, fatty acid composition, and lipid stability of longissimus thoracis muscle in pigs. *Lipids Health Dis.* 2017, 16, 164.
- Chikwanhaa, O.C.; Vahmanib, P.; Muchenjec, V.; Duganb, M.E.R.; Mapiyea, C. Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. *Food Res. Internat.* 2018, 104, 25-38.
- Chilliard, Y.; Martin, C.; Rouel, J.; Doreau, M. Milk fatty acids in dairy cows fed whole crude linseed, extruded linseed, or linseed oil, and their relationship with methane output. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 5199-5211.
- Czech, A.; Stachyra, K.; Ognik, K.; Klebaniuk, R. Skład i właściwości nasion Inu. [w:] *Zastosowanie Inu i inuliny w żywieniu i żywności*, (red. A. Czech i R. Klebaniuk), Lublin 2012.
- Daun, J.K.; Bather, V.J.; Chornick, T.L.; Duguid, S. Structure, composition, and variety development of flaxseed. W: *Thompson, L.C.; Cunnane, S.C.: Flaxseed in human nutrition*. 2 ed. Champaign, IL:AOCS Press, 2003, 1-40.
- Demirbas, A. Production of biodiesel fuels from linseed oil using methanol and ethanol in non-catalytic SCF conditions. *Biomass Bioen.* 2009, 33(1), 113-118.
- Dixit, S.; Kanakraj, S.; Rehman, A. Linseed oil as a potential resource for bio-diesel: A review. *Renewable Sustain. Energy Rev.* 2012, 16(7), 4415-4421.
- Draycott, S.A.V.; Elmes, M.J.; Muhlhausler, B.S.; Langley-Evans, S. Omega-6: Omega-3 fatty acid ratio and total fat content of the maternal diet alter offspring growth and fat deposition in the rat. *Nutrients.* 2020, 12, 2505.
- Elimam, H.; Ramadan, B.K. Comparative study of the possible prophylactic and curative effects of flaxseed oil on the lipid profile and antioxidant status of hyperlipidaemic rats. *J. Appl. Pharm.* 2018, 10, 257.
- Fedorova, I.; Hussein, N.; Baumann, M.H.; Di Martino, C.; Salem, N., Jr. An n-3 fatty acid deficiency impairs rat spatial learning in the Barnes maze. *Behav. Neurosci.*, 2009, 123(1), 196-205.
- Fievez, V.; Vlaeminck, B.; Jenkins, T.; Enjalbert, F.; Doreau, M. Assessing rumen biohydrogenation and its manipulation in vivo, in vitro and in situ. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2007, 109, 740-756.
- Flowers, G.; Ibrahim, S.A.; AbuGhazaleh, A.A. Milk Fatty Acid Composition of Grazing Dairy Cows When Supplemented with Linseed Oil. *J. Dairy Sci.* 2008, 91, 722-730.
- Freeman, M.; Hibbeln, J.; Wisner, K.; Davis, J.M.; Mischoulon, D.; Peet, M.; Keck, P.E.; Marangell, L.B.; Richardson, A.J.; Lake, J.; Stoll, A.L. Omega-3 fatty acids: evidence basis for treatment and future research in psychiatry. *J. Clinical Psych.* 2006, 67(12), 1954-1967.
- Gebreyowhans, S.; Lu, J.; Zhang, S.; Pang, X.; Lv, J. Dietary enrichment of milk and dairy products with n-3 fatty acids: A review. *International Dairy J.* 2019, 97, 158-166.
- Grela, E.; Skomial, J. Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz dla świń: normy żywienia świń: praca zbiorowa; Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt im. Jana Kielanowskiego Polskiej Akademii Nauk, 2014.
- Harris, W.S. N-3 fatty acids and serum lipoproteins: human studies. *Am. J. Clinical Nutr.* 1997, 65(suppl), 1645S-54S.

- Hasler, C.M.; Kundrat, S.; Wool, D. Functional foods and cardiovascular disease. *Curr. Atheroscler. Rep.* 2000, 2, 467-475.
- Heller, K.; Andruszewska, A.; Wielgusz, K. The cultivation of linseed by ecological methods. *J. Res. Appl. in Agric. Eng.* 2010, 55(3), 112-116.
- Horman, T.; Fernandes, M.F.; Tache, M.C.; Hucik, B.; Mutch, D.M.; Leri, F. Dietary n-6/n-3 Ratio Influences Brain Fatty Acid Composition in Adult Rats. *Nutrients* 2020, 12, 1847.
- Ilich, J.Z.; Kelly, O.J.; Kim, Y.; Spicer, M.T. Low-grade chronic inflammation perpetuated by modern diet as a promoter of obesity and osteoporosis. *Arh. Hig. Rada Toksikol.* 2014, 65, 139-148.
- Javouhey-Donzel, A.; Guenot, L.; Maupoll, V.; Rochette, L.; Rocquelin, G. Rat vitamin E status and heart lipid peroxidation: effect of dietary α -linolenic acid and marine n-3 fatty acids. *Lipids.* 1993, 28, 651-655.
- Kerr, B.J.; Kellner, T.A.; Shurson, G.C. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2015, 6, 30.
- Khoshniat, M.T.; Towhidi, A.; Rezayazdi, K.; Zhandi, M.; Rostami, F.; Davachi, N.D.; Khalooee, F.; Kastelic, J. Dietary omega-3 fatty acids from linseed oil improve quality of post-thaw but not fresh sperm in Holstein bulls. *Cryobiology.* 2020, 93, 102-108.
- Lindner, A.; Bankson, D.D.; Stehman-Breen, C.; Mahuren, J.D.; Coburn, S.P. Vitamin B6 metabolism and homocysteine in end-stage renal disease and chronic renal insufficiency. *Am. J. Kidney Dis.* 2002, 39(1), 134-145.
- Linko, E. Ethyl esters of linseed-oil fatty acids. Effect on serum lipids in atherosclerosis. *Ann. Med. Intern. Fenniae.* 1957, 46, 129-136.
- Łukaszewicz, M.; Szopa, J.; Krasowska, A. Susceptibility of lipids from different flax cultivars to peroxidation and its lowering by added antioxidants. *Food Chem.* 2004, 88, 225-231.
- Myhre, A.M.; Carlsen, M.H.; Bøhn, S.K.; Wold, H.L.; Laake, P.; Blomhoff, R. Water-miscible, emulsified, and solid forms of retinol supplements are more toxic than oil-based preparations. *Am. J. Clin. Nutr.* 2003, 78, 1152-1159.
- Nakamura, M.T.; Nara, T.Y. Structure, function, and dietary regulation of delta6, delta5, and delta9 desaturases. *Annu. Rev. Nutr.* 2004, 24, 345-376.
- Nantapo, C.W.T.; Muchenje, V.; Nkukwana, T.T.; Hugo, A.; Descalzo, A.; Grigioni, G.; Hoffman, L.C. Socio-economic dynamics and innovative technologies affecting health-related lipid content in diets: Implications on global food and nutrition security. *Food Res. Internat.* 2015, 76, 896-905.
- Nettleton, J.A. Omega-3 fatty acids: comparison of plant and seafood sources in human nutrition. *J. Am. Dietetic Ass.* 1991, 91, 331-337.
- Neuringer, M.; Connor, W.E.; Lin, D.S.; Barstad, L.; Luck, S. Biochemical and functional effects of prenatal and postnatal omega 3 fatty acid deficiency on retina and brain in rhesus monkeys. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1986, 83(11), 4021-4025.
- Niedźwiedz-Siegien, I. Cyanogenic glucosides in *Linum usitatissimum*. *Phytochem.* 1998, 49, 59-63.
- Nordoy, A.; Barstad, L.; Connor, W.E.; Hatcher, L. Absorption of the n-3 eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids as ethyl esters and triglycerides in humans. *Am. J. Clinical Nutr.* 1991, 53, 1185-1190.
- Nudda, A.; Battacone, G.; Neto, O.B.; Cannas, A.; Helena, A.; Francesconi, D.; Pulina, G. Feeding strategies to design the fatty acid profile of sheep milk and cheese: Invited review. *Revista Bras. Zoot.* 2014, 43, 445-456.
- Oliveira, M X.S.; Palma, A.S.V.; Reis, B.R.; Franco, C.S.R.; Marconi, A.P.S.; Shiozaki, F.A. et al. Inclusion of soybean and linseed oils in the diet of lactating dairy cows makes the milk fatty acid profile nutritionally healthier for the human diet. *PLoS ONE.* 2021, 16(2), e0246357.
- Oomah, B.D.; Mazza, G. Flaxseed Proteins - A Review. *Food Chem.* 1993, 48, 109-114.
- Oomah, B.D.; Mazza, G.; Kenaschuk, E.O. Cyanogenic compounds in flaxseed. *J. Agric. Food Chem.* 1992, 40, 1346-1348.

- Park, J.M.; Jeong, M.; Kim, E.H.; Han, Y.M.; Kwon, S.H.; Hahm, K.B. Omega-3 polyunsaturated fatty acids intake to regulate helicobacter pylori-associated gastric diseases as nonantimicrobial dietary approach. *BioMed. Res. Int.* 2014, 7123631-11.
- Patent PL211325. Sposób wytwarzania estrów etylowych lub metylowych wyższych kwasów tłuszczowych oraz instalacja do realizacji tego sposobu. 2012
- Peng, Y.; Ren, H.; Tao, H.; He, C.; Li, P.; Wan, J.B.; Su, H. Metabolomics study of the anti-inflammatory effects of endogenous omega-3 polyunsaturated fatty acids. *RSC Adv.* 2019, 9, 41903.
- Rupp, H.; Wagner, D.; Rupp T. Risk satisfaction by the “EPA+DHA level” and “EPA/AA ratio” focus an anti-inflammatory and antiarrhythmogenic effects of long-chain omega-3 fatty acids. *Herz.* 2004, 29, 673-685.
- Shadyro, O.I.; Sosnovskaya, A.A.; Edimecheva, I.P. Flaxseed oil stabilization using natural and synthetic antioxidants. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2017, 119, 1700079.
- Simopoulos, A.P. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: Nutritional implications for chronic diseases. *Biomed. Pharm.* 2006, 60, 502-507.
- Simopoulos, A.P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed. Pharmacother.* 2002, 56(8), 365-379.
- Siscovick, D.S.; Raghunathan, T.E.; King, I.; Weinmann, S.; Wicklund, K.G.; Albright, J.; Bovbjerg, V.; Arbogast, P.; Smith, H.; Kushi, L.H.; et al. Dietary intake and cell membrane levels of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and the risk of primary cardiac arrest. *JAMA*, 1995, 274(17), 1363-1367.
- Sokoła-Wysoczańska, E.; Wysoczański, T.; Wagner, J.; Czyż, K.; Bodkowski, R.; Lochyński, S.; Patkowska-Sokoła, B. Polyunsaturated Fatty Acids and Their Potential Therapeutic Role in Cardiovascular System Disorders - A Review. *Nutrients.* 2018, 10, 1561.
- Speer, K.; Upton, D.; Semple, S.; McKune, A. Systemic low-grade inflammation in post-traumatic stress disorder: A systematic review. *J. Inflamm. Res.* 2018, 11, 111-121.
- Stoffel, W.; Holz, B.; Jenke, B.; Binczek, E.; Günter, R.H.; Kiss, C.; Karakesisoglou, I.; Thevis, M.; Weber, A.A.; Arnhold, S.; et al. $\Delta 6$ -Desaturase (FADS2) deficiency unveils the role of $\omega 3$ - and $\omega 6$ -polyunsaturated fatty acids. *EMBO J.* 2008, 27, 2281-2292.
- Stroud, C.K.; Nara, T.Y.; Roqueta-Rivera, M.; Radlowski, E.C.; Lawrence, P.; Zhang, Y.; Cho, B.H.; Segre, M.; Hess, R.A.; Brenna, J.T.; et al. Disruption of FADS2 gene in mice impairs male reproduction and causes dermal and intestinal ulceration. *J. Lipid Res.* 2009, 50, 1870-1880.
- Talahalli, R.R.; Vallikannan, B.; Sambaiah, K.; Lokesh, B.R. Lower efficacy in the utilization of dietary ALA as compared to preformed EPA + DHA on long chain n-3 PUFA levels in rats. *Lipids.* 2010, 45, 799-808.
- Thompson, L.U. Potential health benefits and problems associated with antinutrients in food. *Food Res. Internat.* 1993, 26, 131-149.
- Urlić, M.; Urlić, I.; Urlić, H.; Mašek, T.; Benzon, B.; Vitlov Uljević, M.; Vukojević, K.; Filipović, N. Effects of Different n6/n3 PUFAs Dietary Ratio on Cardiac Diabetic Neuropathy. *Nutrients.* 2020, 12, 2761.
- Ward, W.E.; Yuan, Y.V.; Cheung, A.M.; Thompson, L.U. Exposure to flaxseed and its purified lignin reduces bone strength in young but not older male rats. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A.* 2001, 63(1), 53-65.
- Wiesenfeld, P.W.; Babu, U.S.; Collins, T.F.X.; Sprando, R.; O'Donnel, M.W.; Flynn, T.J.; Black, T.; Olejnik, N. Flaxseed increased α -linolenic and eicosapentaenoic acid and decreased arachidonic acid in serum and tissues of rat dams and offspring. *Food Chem. Toxicol.* 2003, 41, 841-855.
- Wold, R.S.; Lopez, S.T.; Yau, C.I.; Butler, L.M.; Pareo-Tubbeh, S.I.; Waters, D.L.; Garry, P.J.; Baumgartner, R.N. Increasing trends in elderly person's use of nonvitamin, nonmineral dietary supplements and concurrent use of medications. *J. Am. Dietary Ass.* 2005, 105, 54-63.
- Wood, J.D.; Enser, M.; Fisher, A.V.; Nute, G.R.; Sheard, P.R.; Richardson, R.I.; Whittington, F.M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 2008, 78, 343-358.
- Wysoczański, T.; Sokoła-Wysoczańska, E.; Pękala, J.; Lochyński, S.; Czyż, K.; Bodkowski, R.; Herbingier, G.; Patkowska-Sokoła, B.; Librowski, T. Omega-3 fatty acids and their role in Central Nervous System - a review. *Current Med. Chem.* 2016, 23 (8), 816-831.

Yashodhara, B.M.; Umakanth, S.; Pappachan, J.M.; Bhat, S.K.; Kamath, R.; Choo, B.H. Omega-3 fatty acids: A comprehensive review of their role in health and disease. *Postgrad Med. J.* 2009, 85, 84-90.

Zárate, R.; el Jaber-Vazdekis, N.; Tejera, N.; Pérez, J.A.; Rodríguez, C. Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clin. Trans. Med.* 2017, 6, 25.

4. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI LUB INSTYTUCJI NAUKOWEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

W okresie od 1 czerwca do 14 września 2017 roku odbyłam semestralny staż naukowy Institucie Edukacyjno-Badawczym Medycyny Weterynaryjnej, Jakości i Bezpieczeństwa Produktów Zwierzęcych Narodowego Uniwersytetu Przyrodniczego Ukrainy w Kijowie (*Education and Research Institute of Veterinary Medicine, Quality and Safety of Animal Products at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv*). Podczas stażu uczestniczyłam w pracach dotyczących oceny produktów pochodzenia zwierzęcego pod względem ich jakości i zawartości związków biologicznie czynnych. Badania obejmowały analizę laboratoryjną mleka i mięsa owczego, próby izolacji związków biologicznie czynnych z tych surowców, ze szczególnym uwzględnieniem profilu kwasów tłuszczowych. Dodatkową korzyścią z odbytego stażu była możliwość zapoznania się z produkcją zwierzęcą i spożywczą na Ukrainie, a także z metodami badawczymi i naukowymi oraz dydaktycznymi na Uczelni w Kijowie.

W ostatnim okresie coraz większą uwagę przykładą się do jakości żywienia zwierząt, prawidłowe zbilansowanie energii i białka w dawkach pokarmowych nie jest już bowiem wystarczającym warunkiem prawidłowego żywienia zwierząt gospodarskich. Coraz większego znaczenia nabiera stosowanie odpowiednich dodatków paszowych i to już nie tylko składników mineralnych i witamin ale również różnego rodzaju biologicznie aktywnych substancji, które oprócz korzystnego działania na organizm zwierząt poprawiają także jakość produktów pochodzenia zwierzęcego. Przykładem takich związków, o bardzo korzystnym prozdrowotnym działaniu na organizm człowieka oraz coraz częściej stosowanych w żywieniu zwierząt są sprzężone dieny kwasu linolowego (CLA), wielonienasycone kwasy z rodziny omega-3 (ALA, EPA, DHA), czy L-karnityna. W ramach badań dotyczących produktów pochodzenia zwierzęcego i wpływu dodatków paszowych na ich wartość biologiczną realizowałam prace m.in. we współpracy z Politechniką Wrocławską (prof. dr hab. Stanisław Lochyński, dr Jolanta Wagner), Instytutem Chemii Przemysłowej im. I. Mościckiego w Warszawie (dr inż. Wiesława Walisiewicz-Niedbalska, dr Hanna Gwardiak), Uniwersytetem Wrocławskim (dr Andrzej Vogt), Morskim Instytutem Rybackim - Państwowym Instytutem Badawczym w Gdyni (prof. dr hab. Zygmunt Usydus) oraz Uniwersytetem El Oued z Algierii (prof. Nili Mohammed Seghir).

Badania z tego zakresu realizowane były w ramach projektów badawczych, w których byłam współwykonawcą: projekt unijny „BIOŻYWNOSĆ – innowacyjne, funkcjonalne produkty pochodzenia zwierzęcego” koordynowanym przez Instytut Genetyki i Hodowli Zwierząt Polskiej Akademii Nauk w Jastrzębcu, zadanie pt. „Zwiększenie w mleku krowim zawartości aktywnych biologicznie kwasów tłuszczowych o działaniu prozdrowotnym CLA, EPA i DHA” (Załącznik 4, pkt. II.9.5); projekt „L-karnityna biologicznie aktywny stereoizomer o właściwościach prozdrowotnych – badania nad wpływem różnych czynników na kształtowanie się zawartości tego związku w mięsie i mleku przeżuwaczy oraz możliwości zwiększania jej udziału w tych produktach” (Załącznik 4, pkt. II.9.4); „Chemia i technologia preparatów olejowych, zawierających sprzężone izomery kwasu linolowego, jako dodatku do pasz obniżających zawartość tłuszczu w produktach pochodzenia zwierzęcego” (Załącznik 4, pkt. II.9.1) oraz w ramach badań statutowych Instytutu Hodowli Zwierząt.

Wyniki badań przedstawione zostały w pracach 1, 6, 8, 32, 35 (Załącznik 4, pkt. II.4.A), pracy 6 (Załącznik 4, pkt. II.4.B), pracy 11 (Załącznik 4, pkt. II.4.C), a także zaprezentowane zostały na licznych konferencjach naukowych. Ponadto badania z tego zakresu, których byłam współautorem, zostały wyróżnione nagrodami na międzynarodowych targach wynalazków i innowacji:

- Patkowska-Sokoła B., Bodkowski R., Walisiewicz-Niedbalska W., Dobrzański Z., **Zygadlik K.** - Srebrny medal na Międzynarodowej Wystawie Wynalazczości „Salon International des Inventions 2009 Geneve” za „Complément alimentaire riche en isomères bioactifs pour réduire l’adiposité chez les animaux de ferme. Geneva 1-5.04.2009;
- Patkowska-Sokoła B., Bodkowski R., Dobrzański Z., **Zygadlik K.** - Special Prize from President Korea Promotion Association to Wrocław University of Environmental and Life Science from Poland for commending excellent efforts to create invention(s) exhibited at 37th International Exhibition of Inventions, New Techniques and Products of Geneva April 1-5.04.2009;
- Patkowska-Sokoła B., Bodkowski R., Walisiewicz-Niedbalska W., Dobrzański Z., **Zygadlik K.** - Srebrny medal na III Międzynarodowej Wystawie Wynalazków i Innowacji IWIS 2009 za “Dodatek paszowy bogaty w bioaktywne izomery kwasu linolowego (CLA), jako czynnik zmniejszający otłuszczenie u zwierząt hodowlanych”. Warszawa 03.06.2009.

Kolejny nurt badań obejmował zagadnienia dotyczące suplementów diety zawierających bioaktywne związki i możliwości ich wykorzystania w prewencji chorób cywilizacyjnych. We współczesnym społeczeństwie wzrasta zainteresowanie żywnością jako jednym ze sposobów zachowania dobrego stanu zdrowia. Niewłaściwe odżywianie jest

bowiem jedną z głównych przyczyn wzrostu zagrożenia związanego z występowaniem oraz rozwojem niektórych chorób „cywilizacyjnych”, w tym głównie chorób układu krążenia, takich jak: miażdżyca, choroba wieńcowa, zawał serca, udar mózgu oraz choroby nowotworowe. Z drugiej strony występujące w produktach spożywczych aktywne biologiczne związki mogą wykazywać korzystne działanie prozdrowotne. Badania z tego zakresu realizowano w ramach badawczych projektów rozwojowych, w których uczestniczyłam jako wykonawca: „Technologia pozyskiwania bioaktywnych tłuszczów i peptydów oraz ich pochodnych jako składników aktywnych komponentów żywności funkcjonalnej i nutraceutyków” (Załącznik 4, pkt. II.9.6); „Opracowanie kompozycji naturalnego bioaktywnego kompleksu lipidowego (BKL) bogatego w biologicznie czynne kwasy tłuszczowe z rodziny w- 3 (DHA i EPA) oraz w- 7 (izomer kwasu linolowego 9c,11t i 10t, c12 i kwasu oleinowego t11)” (Załącznik 4, pkt. II.9.2); oraz „Opracowanie i przygotowanie do wdrożenia wysokozaawansowanej technologii uzyskiwania estrów kwasów tłuszczowych typu Omega (Ω -3, Ω -6, Ω -9) – nutraceutyków na potrzeby przemysłu farmaceutycznego i spożywczego” (Załącznik 4; pkt. II.9.7).

Badania w powyższym zakresie prowadzone były we współpracy z Instytutem Chemii Przemysłowej im. I. Mościckiego w Warszawie (dr inż. Wiesława Walisiewicz-Niedbalska, dr Hanna Gwardiak), Uniwersytetem Wrocławskim (dr Andrzej Vogt), Morskim Instytutem Rybackim - Państwowym Instytutem Badawczym w Gdyni (prof. dr hab. Zygmunt Usydus) Instytutem Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej im. I. Mossakowskiego PAN w Warszawie (prof. dr hab. Andrzej Lipkowski, prof. dr hab. Ewa Kompanowska-Jeziarska, dr Krzysztof Olszyński), Instytutem Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN we Wrocławiu (prof. dr hab. Joanna Wietrzyk, dr Beata Filip-Psurska).

Wynikiem wyżej wspomnianych badań są publikacje 15, 16, 17, 21 (Załącznik 4, pkt. II.4.A), prace 8, 9 (Załącznik 4, pkt. II.4.C), liczne doniesienia konferencyjne oraz dwa patenty (Załącznik 4, pkt. III.3). Badania z tego zakresu zostały ponadto wyróżnione międzynarodowymi nagrodami:

- Patkowska-Sokoła B., Walisiewicz-Niedbalska W., Bodkowski R., **Czyż K.** - Złoty medal za wynalazek „Anticancer natural preparation of plant origin, CLnA-AA” na 42 Międzynarodowej Wystawie Wynalazków "Geneva inventions", Genewa, 2 - 6 kwietnia 2014;
- Patkowska-Sokoła B., Walisiewicz-Niedbalska W., Bodkowski R., **Czyż K.** - Nagroda specjalna Przewodniczącego Irańskiego Instytutu Wynalazczości i Badań (FIRI) za wynalazek „Anticancer natural preparation of plant origin, CLnA-AA”, Genewa, 2 - 6 kwietnia 2014;

- Patkowska-Sokoła B., Walisiewicz-Niebalska W., Bodkowski R., **Czyż K.** - Złoty medal za wynalazek „Anticancer natural preparation of plant origin, CLnA-AA” na 17 Międzynarodowym Salonie Wynalazków i Innowacyjnych Technologii "Archimedes 2014", Moskwa, 1 - 4 kwietnia 2014;
- Patkowska-Sokoła B., Walisiewicz-Niebalska W., Bodkowski R., **Czyż K.** - Nagroda specjalna Mołdawskiej Agencji Własności Intelektualnej za wynalazek „Anticancer natural preparation of plant origin, CLnA-AA”, Moskwa, 1 - 4 kwietnia 2014;
- Vogt A., Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., **Czyż K.**, Patkowska-Sokoła B. - Srebrny medal za wynalazek „OmegaRegen® bio-esters – the only essential fatty acid omega-3 (ALA) in the purest form” na 42 Międzynarodowej Wystawie Wynalazków "Geneva inventions", Genewa, 2 - 6 kwietnia 2014;
- Vogt A., Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., **Czyż K.**, Patkowska-Sokoła B. - Złoty medal za wynalazek „OmegaRegen® bio-esters – the only essential fatty acid omega-3 (ALA) in the purest form” na 17 Międzynarodowym Salonie Wynalazków i Innowacyjnych Technologii "Archimedes 2014", Moskwa, 1 - 4 kwietnia 2014;
- Vogt A., Sokoła-Wysoczańska E., Wysoczański T., **Czyż K.**, Patkowska-Sokoła B. - Srebrny medal za wynalazek „OmegaRegen® bio-esters – the only essential fatty acid omega-3 (ALA) in the purest form” na XXV Międzynarodowej Wystawie Inwencji, Innowacji i Technologii ITEX 2014, Kuala Lumpur, Malezja, 8 - 10 maja 2014.

Kolejny nurt badań realizowanych we współpracy z innymi jednostkami naukowymi dotyczył dotyków biobójczych i dezynfekcyjnych do ściółki w pomieszczeniach inwentarskich.

Kwestie związane z ograniczaniem emisji do środowiska szkodliwych substancji powstających w rolnictwie, w tym w produkcji zwierzęcej, są ciągle jednymi z najistotniejszych problemów dotyczących ochrony środowiska. Różnego rodzaju przepisy prawne, dyrektywy czy porozumienia międzynarodowe wprowadzają coraz większe ograniczenia mające na celu redukcję zanieczyszczeń pochodzących z hodowli zwierząt, co pociąga za sobą konieczność poszukiwania nowych, skutecznych i bezpiecznych sposobów walki z tym problemem. Jednym z największych źródeł emisji gazów odorotwórczych do otoczenia jest produkcja zwierzęca. Najbardziej widoczne efekty w zmniejszaniu emisji substancji szkodliwych (zwłaszcza amoniaku) uzyskuje się poprzez dodawanie do ściółki preparatów chemicznych, mineralnych lub mikrobiologicznych neutralizujących wydzielanie amoniaku i innych gazów a także wykazujących działanie bakteriobójcze i dezodoryzujące. Wciąż poszukuje się uniwersalnych preparatów, które mogłyby w ściółce (z odchodami

zwierząt) ograniczyć rozwój mikroflory i emisję gazów, głównie amoniaku, a jednocześnie byłyby nieszkodliwe dla zwierząt i środowiska. Ważne jest też, aby poprawiały wartość nawozową obornika, pomiotu itp., które są ważnym źródłem nawożenia organicznego, odgrywającego coraz większą rolę w gospodarce nawozowej (szczególnie w gospodarstwach ekologicznych i ogrodnictwie), zgodnie z zasadami rolnictwa zrównoważonego.

W związku z powyższym, celem projektu pt. „Opracowanie technologii nowej generacji preparatów biobójczych (na bazie nanosrebra i sorbentów mineralnych) oraz ich wykorzystanie do sanityzacji pomieszczeń inwentarskich” (Załącznik 4, pkt. II.9.3), w którym byłam wykonawcą było opracowanie technologii wytwarzania preparatu nanotechnologiczno-mineralnego o konsystencji stałej, na bazie nanozwiązków srebra (w postaci zawiesiny wodnej lub alkoholowej) oraz sorbentów mineralnych, który będzie mógł znaleźć zastosowanie do sanityzacji pomieszczeń dla zwierząt gospodarskich utrzymywanych systemem ściółkowym. W pierwszym etapie badania prowadzono w skali laboratoryjnej, a następnie opracowany na tej podstawie preparat zastosowano w brojlerni, kurniku oraz owczarni.

Badania prowadzone były we współpracy z Politechniką Krakowską (prof. dr hab. Zygmunt Kowalski, dr hab. Agnieszka Sobczak-Kupiec).

Efektom badań z tego zakresu była moja rozprawa doktorska pt. „Wpływ nanosrebra na kształtowanie się warunków zoohigienicznych w brojlerni oraz transfer srebra i pierwiastków antagonistycznych (Se, Cu, Zn) do organizmu kurcząt”, rozdziały w monografiach 3, 7 (Załącznik 4, pkt. II.2), publikacje 3, 4, 7, 9, 11, 13 (Załącznik 4, pkt. II.4.A), liczne doniesienia konferencyjne, a także zgłoszenie patentowe (Załącznik 4, pkt. III.3).

Pozostała działalność naukowo-badawcza:

Kolejnym tematem badawczym realizowanym w zespole badawczym, którego jestem członkiem jest mikrobiologia układu pokarmowego zwierząt gospodarskich, w szczególności przeżuwaczy. Mikrobiom zasiedlający układ pokarmowy zarówno człowieka jak i zwierząt zależy od środowiska, diety, wieku, stanu zdrowia, ale również czynników genetycznych i biologicznych. Składa się on głównie z bakterii, a następnie pierwotniaków, archeonów i grzybów. Badania mikrobiomu przeżuwaczy, czyli jednego z najbardziej skomplikowanych, skupiają się głównie na określeniu ich składu, czyli taksonomii. Dopiero od niedawna zaczęto skupiać się na czynnikach wpływających zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio na jego skład.

Na skład mikrobiomu mają wpływ nie tylko czynniki zewnętrzne, ale również czynniki genetyczne. Najlepiej, choć nadal w niewystarczającym stopniu, poznano je w przypadku człowieka. Jeżeli chodzi o przeżuwacze, ale i ogólnie zwierzęta gospodarskie, nie przeprowadzono wielu badań dotyczących wpływu rasy na skład mikrobiologiczny układu pokarmowego. W przypadku przeżuwaczy można również przypuszczać, że ze względu na tworzenie ras (w zależności od celu jaki człowiek chciał otrzymać i środowiska w jakim miały bytować), doszło również do „powstania” mikrobiomu charakterystycznego dla danej rasy zwierząt. Mimo tego, że gatunki przeżuwaczy mają podobny poziom głównych gromad bakteryjnych (*Firmicutes* oraz *Bacteroidetes*), występują różnice pod względem rasowym. Dodatkowo zwierzęta utrzymywane w różnych regionach kraju czy świata, ze względu na środowisko i aklimatyzację do niego, mogą inaczej reagować na zmiany w mikrobiomie układu pokarmowego, dlatego w badaniach i prowadzonych analizach warto też skupiać się zarówno na rodzimych rasach jak i pochodzących z poza kraju. Badania prowadzone w naszej jednostce obejmują analizę mikrobiomu kału zwierząt pod kątem różnic międzygatunkowych oraz pomiędzy osobnikami w obrębie gatunku, w zależności od środowiska czy stanu fizjologicznego.

Wynikiem badań prowadzonych w tym zakresie są publikacje 36, 39, 40, 41, 42 (Załącznik 4, pkt. II.4.A) oraz doniesienia konferencyjne.

Kolejnym nurtem badawczym, który realizuję jest charakterystyka chemiczna i fizyko-mechaniczna okrywy włosowej od różnych gatunków zwierząt. Wiedza na temat okrywy włosowej ssaków pogłębia się wskutek szybkiego rozwoju nauki oraz coraz doskonalszych technik badawczych. Włókna włosowe zwierząt znajdują zastosowanie m.in. przy diagnozowaniu schorzeń, niedoborów mineralnych, mogą pełnić funkcje bioindykatora. Poznanie szczegółowej budowy morfologicznej, histologicznej oraz właściwości włókien włosowych poszczególnych gatunków i ras zwierząt pozwala na coraz szersze zastosowanie włosów np. w identyfikacji gatunków. Cechami, które najczęściej brane są pod uwagę przy identyfikacji włosa i określaniu jego przynależności gatunkowej jest budowa histologiczna, a głównie wzór łusek kutikuli, budowa rdzenia oraz kształt przekroju poprzecznego włosa, które to cechy są najbardziej charakterystyczne dla danego gatunku lub przynajmniej rodzaju zwierząt. Pierwiastkowe badanie włosa pozwala z kolei na określenie stopnia wysycenia organizmu w niezbędne składniki mineralne oraz na stwierdzenie obecności pierwiastków toksycznych. Badanie włosów pozwala na wgląd w procesy biochemiczne na długi czas przed ujawnieniem się procesów chorobowych, gdyż pierwiastki systematycznie wbudowują się

w strukturę sierści w trakcie jej wzrostu, co pozwala na uzyskanie informacji niedostępnych na podstawie badania np. krwi czy moczu. Łatwość pobierania oraz przechowywania włosów ssaków powodują, że badania włókien włosowych przeprowadzane są na coraz większą skalę i wciąż poszukuje się nowych możliwości ich wykorzystania.

Przy ocenianiu okrywy włosowej możliwe jest także zastosowanie badania cech elektrycznych, które umożliwia wykrycie zmian na poziomie molekularnym i jest mniej czasochłonne w porównaniu do tradycyjnych metod. Ze względu na to, że badanie to pozwala na wykrycie niewielkich zmian, może ono znaleźć swoje zastosowanie w ocenie okrywy włosowej. Ocena cech elektrycznych skór i okrywy włosowej określa poziom oporności włókien (impedancja i/lub rezystancja). W badaniu tym najczęściej wykorzystywane są właściwości związane z zachowaniem materiału jako dielektryka (takimi materiałami są np. wełna, jedwab, bawełna). Zastosowanie tego typu metody w ocenie zmian w okrywie włosowej nie jest powszechne, dlatego też uważam ten nurt badawczy za nowatorski i zasługujący na kontynuację.

Wynikiem badań prowadzonych w zakresie okrywy włosowej jest rozdział w monografii: 8 (Załącznik 4, pkt. II.2), publikacje 2, 10, 12, 25, 26, 28, 29, 37, 38 (Załącznik 4, pkt. II.4.A), prace: 1, 7, 8, 9, 12, 13, 14 (Załącznik 4, pkt. II.4.B), artykuły 1, 2, 5 (Załącznik 4, pkt. II.4.C) oraz liczne doniesienia konferencyjne.

5. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

5.1. OSIĄGNIĘCIA DYDAKTYCZNE

Jako pracownik zatrudniony na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego w Instytucie Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu realizuję zajęcia dydaktyczne, co stanowi ważny aspekt mojej pracy zawodowej. Poniżej przedstawiony został wykaz prowadzonych przeze mnie zajęć dydaktycznych na Wydziale Biologii i Hodowli Zwierząt:

1. *Technologia informacyjna* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie blended-learning dla studentów pierwszego roku studiów I stopnia, kierunek zootechnika, biologia, biologia człowieka, bezpieczeństwo żywności;
2. *Biologia psowatych udomowionych i dziko żyjących* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek zootechnika, biologia;
3. *Towaroznawstwo surowców i produktów pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek zootechnika;
4. *Ocena surowców pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek zootechnika;
5. *Proekologiczne metody chowu zwierząt gospodarskich i wolno żyjących* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/projektowych dla studentów studiów II stopnia, kierunek Zootechnika;
6. *Obrót surowcami pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów II stopnia, kierunek zootechnika;
7. *Ocena włosów i skóry ssaków* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów II stopnia, kierunek biologia;

8. *Regionalne produkty pochodzenia zwierzęcego* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/terenowych dla studentów studiów II stopnia, kierunek biologia, bezpieczeństwo żywności;
9. *Biologia włosów i skóry człowieka* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek biologia człowieka;
10. *Higiena produkcji* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności;
11. *Zagrożenia w produkcji* - przedmiot obligatoryjny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń audytoryjnych/laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności;
12. *Podstawy nanotechnologii* - przedmiot fakultatywny realizowany w formie wykładów oraz ćwiczeń laboratoryjnych dla studentów studiów I stopnia, kierunek bezpieczeństwo żywności.

Prowadzę także zajęcia indywidualne lub grupowe dla studentów zagranicznych, przyjeżdżających w ramach programu Erasmus + z przedmiotu „*Pro-ecological management of free-ranged and farm animals*”.

Byłam opiekunem 28 prac dyplomowych, w tym 16 prac inżynierskich (kierunek zootechnika i bezpieczeństwo żywności), dwóch prac licencjackich (kierunek biologia) oraz 10 prac magisterskich (kierunek zootechnika i biologia) realizowanych na Wydziale Biologii i Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Funkcję recenzenta prac dyplomowych pełniłam łącznie w 21 postępowaniach, w tym jednej pracy licencjackiej, 12 pracach inżynierskich oraz w ośmiu pracach magisterskich. Aktualnie opieką promotorską objęłam kolejnych trzech dyplomantów (dwie prace magisterskie, jedna praca inżynierska).

W każdym roku jestem członkiem komisji egzaminacyjnych (kierunki: zootechnika i bezpieczeństwo żywności).

W latach 2017 - 2020 pełniłam funkcję opiekuna roku na studiach I stopnia kierunku zootechnika. Od roku akademickiego 2020/2021 jestem opiekunem praktyk na kierunku zootechnika - studia stacjonarne i niestacjonarne II stopnia.

W latach 2015 - 2019 pełniłam funkcję opiekuna Studenckiego Koła Naukowego Hodowców Owiec i Zwierząt Futerkowych „FutrOwce”.

Magistranci realizujący prace pod moją opieką trzykrotnie zdobywali nagrody w konkursie Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego na najlepszą pracę magisterską:

- 2017 - II nagroda w sekcji Zwierzęta Towarzyszące i Dzikie - mgr inż. Sandra Cyroń za pracę pt. „Wpływ muzyki na zachowanie psów”;
- 2020 - III nagroda w sekcji Chów i Hodowla Zwierząt Towarzyszących i Dzikich - mgr inż. Agata Wojdon za pracę pt. „Charakterystyka wybranych parametrów wełny alpak”;
- 2021 - I nagroda w sekcji Chów i Hodowla Zwierząt Towarzyszących i Dzikich - mgr inż. Karolina Staniszczyk za pracę pt. „Analiza praktyk w zakresie pielęgnacji okrywy włosowej psów rasy husky syberyjski”.

Dwójka moich magistrantów uzyskała fundusze na projekty badawcze w ramach konkursu „Młode umysły - Young Minds Project”, które realizowane są pod moją opieką:

- Pierwsza edycja 2020 - lic. Natalia Szeligowska: „Poziom stresu komórkowego a mikrobiologia układu pokarmowego przeżuwaczy na podstawie owiec”;
- Druga edycja 2021 - inż. Jakub Smoliński: „Wpływ tauryny i glistnika jaskółcze ziele (*Chelidonium majus L.*) na mikrobiom układu pokarmowego przeżuwaczy na przykładzie owcy olkuskiej”.

Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego:

Byłam promotorem pomocniczym w następujących rozprawach doktorskich:

- Dr inż. Anna Wyrostek: „Ocena okrywy włosowej i wybranych parametrów krwi psów z uwzględnieniem rasy, pory roku oraz dodatku wielonienasyconych kwasów tłuszczowych”, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, obrona: 23.10.2018, data nadania stopnia: 13.11.2018;
- Dr inż. Katarzyna Roman: „Wybrane cechy biologiczne i fizykochemiczne okrywy włosowej królików w zależności od pory roku, systemu utrzymania i dodatku wielonienasyconych kwasów tłuszczowych”, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, obrona: 6.11.2018, data nadania stopnia: 13.11.2018 (publiczna obrona pracy doktorskiej została wyróżniona);

- Dr inż. Paulina Cholewińska: „Ocena wpływu wybranych czynników na mikrobiom przeżuwaczy”, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, obrona: 22.10.2020, data nadania stopnia: 27.10.2020 (praca doktorska i publiczna obrona zostały wyróżnione).

Aktualnie pełnię rolę promotora pomocniczego w kolejnym przewodzie doktorskim:

- Mgr inż. Marta Iwaszkiewicz: „Wpływ ingerencji w okrywą włosową na zdrowie oraz funkcje układu immunologicznego nowonarodzonych zwierząt”, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

5.2. OSIĄGNIĘCIA ORGANIZACYJNE

Udział w pracach w kolegiach i komisjach wydziałowych oraz uczelnianych:

- Członek Rady Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt (2012 - 2014);
- Przewodnicząca zespołu ds. ankietyzacji studentów Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt (2016-2020);
- Członek zespołu ds. obchodów 65-lecia Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt (2016);
- Członek kierunkowej wydziałowej komisji ds. zapewnienia jakości kształcenia, kierunek bioinformatyka (2017 - 2019);
- Członek Rady Dyscypliny Zootechnika i Rybactwo (2020 - 2024);
- Członek Komisji Skrutacyjnej Rady Dyscypliny Zootechnika i Rybactwo (2020 - 2024).

Członkostwo w towarzystwach naukowych:

- Członek Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego, **skarbnik** Koła Wrocławskiego od 2012, **zastępca przewodniczącego** od 2016;
- Członek Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Rolnictwa (SITR), oddział Wrocław;
- Członek European Federation of Animal Science (EAAP) – Europejskiej Federacji Zootechnicznej.

Udział w pracach komitetów organizacyjnych:

- I Konferencja Doktorantów nt. „Genetyczne i środowiskowe uwarunkowania produkcji mleka i mięsa wołowego” połączona z Jubileuszem 70-lecia prof. dr hab. Aleksandra Dobickiego, Wrocław 18 - 19 września 2003;
- LXX Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego „Przyszłość nauki i edukacji zootechnicznej” połączony z Jubileuszem 70-lecia prof. dr hab. Ryszarda Ziemińskiego, Wrocław 20 - 22 września 2005;

- II Konferencja Doktorantów nt. „Genetyczne i środowiskowe uwarunkowania produkcji mleka i żywca wołowego”, Wrocław 20 - 22 września 2005;
- LXXVII Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego pt. „Zootechnika – przeszłość, teraźniejszość i przyszłość” połączony z Jubileuszem Pana Prof. dr hab., dr h.c. multi Tadeusza Szulca, Wrocław 10 - 12 września 2012 – *sekretarz komitetu organizacyjnego*;
- I Międzynarodowa Konferencja Naukowe „Kwasy tłuszczowe w łańcuchu żywności” połączona z Jubileuszem pracy naukowej i dydaktycznej prof. dr hab. Bożeny Patkowskiej-Sokoły, Wrocław 5 - 6 lipca 2018 - *przewodnicząca komitetu organizacyjnego*;
- Seminarium Owczarskie nt. „Stan i perspektywy rozwoju owczarstwa w Polsce” połączone z jubileuszem 10-lecia owczarni dydaktycznej w Stacji Badawczo-Dydaktycznej w Swojczycach, Wrocław 7 września 2021 - *przewodnicząca komitetu organizacyjnego*.

Za działalność organizacyjną otrzymałam następujące nagrody:

- Dyplom JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu za Organizację LXX Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego - 2006
- List Gratulacyjny Dziekana Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt za Organizację LXX Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego - 2006
- Nagroda Zespołowa JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu I stopnia w dziedzinie organizacyjnej za Organizację Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego - 2013
- Nagroda Zespołowa JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu II stopnia w dziedzinie organizacyjnej za Organizację I Międzynarodowej Konferencji Naukowej Kwasy tłuszczowe w łańcuchu żywności - 2019

Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych:

- Advances in Nutrition – 2 artykuły;
- Animals – 5 artykułów;
- Archives of Animal Breeding (Archiv fur Tierzucht) – 1 artykuł;
- Australian Journal of Veterinary Science – 1 artykuł;
- BioFactors – 1 artykuł;
- Biomolecules – 1 artykuł;
- International Journal of Environmental Research and Public Health – 2 artykuły;
- International Journal of Molecular Sciences – 4 artykuły;
- Mammalia – 1 artykuł;
- Marine Drugs – 1 artykuł;
- Medicina – 1 artykuł;

- Metabolites – 1 artykuł;
- Molecules – 1 artykuł;
- Nutrients – 7 artykułów;
- Acta Scientiarum Polonorum, Technologica Alimentarica – 2 artykuły;
- Przegląd Hodowlany – 1 artykuł;
- Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego – 1 artykuł;
- Wiadomości Zootechniczne – 2 artykuły.

5.3. OSIĄGNIĘCIA POPULARYZATORSKIE

- Udział w Dniach Otwartych organizowanych przez Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt UPWr;
- Udział w pokazach małych przeżuwaczy dla dzieci z przedszkoli i szkół podstawowych;
- Liczne spotkania z hodowcami owiec i kóz na terenie Dolnego Śląska;
- Wywiad dla Polskiego Radia dotyczący wielkanocnej symboliki owiec;
- Wykład w ramach Uniwersytetu Trzeciego Wieku UPWr: „Futra naturalne i sztuczne - fakty i mity” - 21.02.2019.

Wrocław, 14.10.2021



dr inż. Katarzyna Czyż