



**RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
ZOOTECHNIKA I RYBACTWO**

ROZPRAWA DOKTORSKA

**w formie zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów
naukowych w dyscyplinie zootechnika i rybactwo**

mgr inż. Sebastian Wlaźlak

Zastosowanie glinokrzemianów w odchowie kaczek rzeźnych

The use of aluminosilicates in broiler duck rearing

**DZIEDZINA NAUK ROLNICZYCH
DYSCYPLINA ZOOTECHNIKA I RYBACTWO**

PROMOTOR PRACY

dr hab. inż. Jakub Biesek, prof. PBŚ

Katedra Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydział Hodowli i Biologii Zwierząt

Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Bydgoszcz, 2025 r.

Źródło finansowania

Badania naukowe, których wyniki prezentowane są w tematycznie powiązanych ze sobą publikacjach będących podstawą niniejszej rozprawy doktorskiej zrealizowano w ramach projektu Sonata 17 pt.: „Badania multiomiczne układu pokarmowego i cech fenotypowych kaczek żywionych paszą z dodatkiem glinokrzemianów” (UMO-2021/43/D/NZ9/01756) finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Opłaty za przetwarzanie artykułów w trybie otwartego dostępu dofinansowano ze środków Ministra Nauki w ramach programu "Regionalna Inicjatywa Doskonałości" (RID/SP/0017/2024/01).

Podziękowania

Składam serdeczne podziękowania mojemu promotorowi Panu dr. hab. inż. Jakubowi Bieskowi, prof. PBŚ za nieocenione wsparcie oraz cenne uwagi merytoryczne podczas pisania niniejszej dysertacji doktorskiej, a także nieustanną pomoc i motywację do pogłębiania wiedzy i doskonalenia warsztatu naukowego.

Za wszelkie inspiracje do pracy naukowej i dydaktycznej oraz dotychczasową pomoc serdecznie dziękuję Panu prof. dr. hab. inż. Markowi Adamskiemu oraz Panu dr. hab. inż. Mirosławowi Banaszakowi, prof. PBŚ.

Dziękuję koleżankom i kolegom z Katedry Hodowli i Żywienia Zwierząt, Wydziału Hodowli i Biologii Zwierząt Politechniki Bydgoskiej za wszelką pomoc w pracach terenowych i laboratoryjnych w ramach realizacji prac badawczych do niniejszej dysertacji doktorskiej.

Serdecznie dziękuję mojej rodzinie za wiarę w moje możliwości i pomoc w realizacji drobiarskich pasji, które przyczyniły się do mojego rozwoju naukowego.

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp	9
2.	Wykaz artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej.....	13
3.	Uzasadnienie spójności tematycznej cyklu publikacji rozprawy doktorskiej.....	14
3.1.	Hipoteza badawcza, cel i zakres badań	15
3.2.	Materiały i metody badań.....	16
3.2.1.	Układ doświadczenia i warunki odchowu kaczek rzeźnych	16
3.2.2.	Skład chemiczny paszy	20
3.2.3.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	21
3.2.4.	Skład tuszek oraz cechy fizykochemiczne mięsa.....	21
3.2.5.	Wytrzymałość jelit i kości.....	23
3.2.6.	Analiza statystyczna.....	24
3.3.	Wyniki.....	25
3.3.1.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	25
3.3.2.	Wydajność rzeźna i cechy tuszek.....	25
3.3.3.	Cechy fizykochemiczne mięśni.....	26
3.3.4.	Wytrzymałość jelit i kości.....	28
3.4.	Dyskusja	29
3.4.1.	Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych	29
3.4.2.	Wydajność rzeźna i cechy tuszek.....	33
3.4.3.	Cechy fizykochemiczne mięśni.....	36
3.4.4.	Wytrzymałość jelit i kości.....	38
3.5.	Wnioski	40
3.6.	Literatura	41
4.	Streszczenie.....	53
5.	Abstract	54
6.	Załączniki.....	55
6.1.	Kopie artykułów naukowych stanowiących cykl publikacji rozprawy doktorskiej.	55
6.2.	Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej	55
6.3.	Oświadczenia współautorów artykułów naukowych	55

1. WSTĘP

Produkcję mięsa drobiowego w Polsce charakteryzuje dynamiczny rozwój. W 2023 r. wyniosła ona 2,970 mln ton tuszek, co stanowi 270% samo zapotrzebowania. Polska jest liderem w produkcji mięsa z kurcząt rzeźnych (2,603 mln ton tuszek w 2023 roku). Natomiast, w produkcji mięsa kaczego Polska jest trzecim producentem w Unii Europejskiej z wynikiem 68,9 tyś. ton tuszek (2023 r.), zaraz po Francji (133,6 tyś. ton) i Węgrzech (84,8 tyś. ton) (AVEC, 2024). Od wielu lat istotną rolę w kształtowaniu rynku mięsa kaczego na świecie odgrywają kraje Azji południowo-wschodniej, tj. Chiny, Wietnam, Indonezja oraz Malezja. Szacuje się, że w Azji utrzymywanych jest prawie 90% całkowitej populacji kaczek (Jalaludeen i Churchil, 2022). Jak wykazano w rocznym raporcie AVEC, światowa produkcja mięsa kaczego w 2022 roku wynosiła 6,0688 mln ton tuszek (AVEC, 2024).

Mięso kacze najczęściej pozyskiwane jest w Europie z ogólnoużytkowych kaczek w typie Pekin. Ponadto, w krajach takich jak Francja czy Włochy duże znaczenie mają kaczki piżmowe (nazywane również francuskimi) oraz mulard, czyli mieszańce międzygatunkowe kaczora piżmowego i kaczki Pekin (Kokoszyński i in., 2015). Kaczki rzeźne Cherry Valley są szeroko rozpowszechnionym mieszańcami towarowymi, pochodzącymi z angielskiej firmy Cherry Valley Farms. Mieszańce te charakteryzuje szybkie tempo wzrostu i duża masa ciała w szóstym tygodniu życia, wynosząca ponad 3 kg (Cousins, 2018; Galić i in., 2019).

Mięso kaczek stanowi wartościowy surowiec drobiarski, ze względu na charakterystyczne właściwości sensoryczne i odżywcze (Sumarmono, 2019). Uważane jest ono za mięso czerwone, ze względu na bardzo dużą zawartość czerwonych włókien mięśniowych (Onbaşilar i Yalçın, 2019). Wyróżnia je wysoka zawartość aminokwasów egzogennych, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA), korzystny udział kwasów omega 6 i omega 3 (Sumarmono, 2019), a także duża zawartość kwasu linolowego (C18:2 n-6) i linolenowego (C18:3 n-3) (Banaszak i in., 2020b). Tuszki kaczek charakteryzuje mniejsze umięśnienie oraz większa masa skóry z tłuszczem podskórnym w porównaniu do tuszek kurcząt rzeźnych, co również stanowi czynnik determinujący ich mniejszą popularność w porównaniu do kurcząt (Kokoszyński i in., 2020). W badaniach Bieska i in. (2021a) wykazano, że tuszki kaczek rzeźnych Cherry Valley SM3 medium charakteryzowało 13,27% udziału mięśni piersiowych, 14,69% mięśni nóg, 20,15% skóry z tłuszczem podskórnym oraz 0,81% tłuszczu sadełkowego po 42 dniach odchowu. Jak podają autorzy (Biesek i in., 2021a), procentowa zawartość białka w mięśniach piersiowych kaczek wynosiła 21,13%, a tłuszczu 3,35%. W mięśniach nóg wartości te kształtowały się odpowiednio na poziomie 19,49% i 5,69%.

Jednym z czynników środowiskowych, który kształtuje jakość mięsa jest żywienie. Do fizykochemicznych cech jakościowych mięsa drobiowego należą m. in. barwa, tekstura, zdolność utrzymania wody, a także skład chemiczny (Augustyńska-Prejsnar i in., 2018). Barwa mięsa stanowi kluczowy element przy wyborze danego produktu przez konsumentów, a skład mięsa świadczy o jego wartości odżywczej (Onbaşilar i Yalçın, 2019). Ponadto, zawartość tłuszczu oraz zdolność utrzymania wody mięsa determinuje jego właściwości sensoryczne, głównie smakowitość i soczystość (Barbut, 2024; Zhao i in., 2025).

Zrównoważona produkcja wymaga optymalizacji działań nie tylko w zakresie zwiększania potencjału genetycznego, ale także w obrębie żywienia, sposobu utrzymania oraz dobrostanu ptaków (Pingel i Germany, 2011). Intensyfikacja produkcji jest efektem rosnącego zapotrzebowania wśród konsumentów na wystarczające ilości surowca jakim jest mięso drobiowe. Dzięki dużemu zagęszczeniu obsady, ферmy wielkotowarowe mogą wyprodukować nawet kilkaset tysięcy ptaków rzeźnych w tym samym czasie. Jednocześnie, wiąże się to z koniecznością odpowiedniego zarządzania stadem, co pozwala na utrzymanie wysokiego dobrostanu ptaków i rentowności produkcji (Damaziak i in., 2025). W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań nad możliwością zastosowania różnych dodatków paszowych w żywieniu drobiu, w tym kaczek rzeźnych. Dotyczyły one możliwości zastosowania prebiotyków, probiotyków, synbiotyków, ziół, kwasów organicznych, enzymów czy naturalnych minerałów, które mogą stanowić wsparcie w efektywnej produkcji dobrej jakości surowców (Biesek i in., 2021a; Biyatmoko i in., 2021; Chen i in., 2018; Khattab i in., 2021; Mahmoud i in., 2020; Pirgozliev i in., 2019).

Glinokrzemiany to grupa szeroko rozpowszechnionych naturalnych minerałów składających się głównie z atomów glinu, krzemu oraz tlenu. Wśród nich można wyróżnić, m.in. bentonit, kaolin, zeolit (klinoptylolit), illit, montmorylonit czy haloizyt, które charakteryzuje zróżnicowana budowa, co wpływa na ich specyficzne właściwości (Nadziakiewicza i in., 2019). Wśród zeolitów występuje wiele mikroporowatych form. Klinoptylolit jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych. Właściwości adsorbujące i jonowymienne sprzyjają ich zastosowaniu w medycynie, ogrodnictwie, gospodarstwach domowych, przemyśle ciężkim, a także w rolnictwie (Mastinu i in., 2019). Ze względu na trójwymiarową strukturę zeolity nazywane są „sitami molekularnymi”, które potrafią w selektywny sposób zatrzymywać różne związki, w tym wodę i amoniak (Eroglu i in., 2017). Haloizyt to minerał ilasty należący do grupy kaolinów. W zależności od miejsca wydobycia może on występować w postaci rurkowej, sferoidalnej lub płytkowej (Massaro i in., 2020). Najbardziej rozpowszechnioną formą morfologiczną haloizytu jest postać długich i krótkich

oraz cienkich rurek (Joussein i in., 2005). Zarówno zeolity jak i minerały ilaste, pomimo różnic w swojej strukturze krystalicznej, mają szereg wspólnych właściwości, takich jak odwracalne uwodnienie i odwodnienie, dużą zdolność wymiany kationów oraz drobnoziarnistą formę (Bish, 2013).

Cechą wspólną glinokrzemianów jest wysoka zdolność do adsorpcji różnych substancji, co sprzyja ich zastosowaniu zarówno do paszy jak i ściółki w odchowie drobiu, jako dodatku zootechnicznego. Przekłada się to na zdolność ograniczania wilgotności ściółki, poprzez wchłanianie wody, a tym samym zmniejszania stężenia amoniaku w powietrzu w budynkach inwentarskich (Schneider i in., 2016; Nuernberg i in., 2016). Poza tym, zdaniem Raja i in. (2021), glinokrzemiany mają ochronne działanie na organizm ptaków, co stwierdzono w badaniach, gdzie żywiono drób paszą zanieczyszczoną mikotoksynami – aflatoksyną B1 czy ochratoksyną A.

Korzystny wpływ zastosowania zeolitu w paszy dla kurcząt rzeźnych potwierdzono poprzez analizy morfologiczne jelit oraz aktywność enzymów trawiennych. Dodatek minerału na poziomie 2% zwiększył wysokość kosmków jelitowych oraz głębokość krypt jelita czczego (Wawrzyniak i in., 2017). Podobne wnioski przedstawili Khambualai i in. (2009) w badaniach na kaczkach rzeźnych. Z drugiej strony, może mieć to wpływ na lepsze wykorzystanie paszy i zawartych w niej składników odżywczych, a tym samym większe przyrosty masy ciała (Shariatmadari, 2008; Pavlak i in., 2022). Katouli i in. (2010) stwierdzili istotnie większe tempo wzrostu 42-dniowych kurcząt rzeźnych Ross 308 żywionych mieszanką paszową z 1,5 i 3% dodatkiem kaolinu, bentonitu i zeolitu. Dodatek preparatu zawierającego zeolit, ekstrakt roślinny oraz wermikulit miał wpływ na większą masę ciała 9-tygodniowych kaczek Aigamo (Khambualai i in., 2009).

Inni autorzy potwierdzali zmiany w cechach tuszki oraz jakości mięsa drobiowego po zastosowaniu haloizytu do paszy na poziomie 0,5% oraz do ściółki torfowej na poziomie 0,500 g/m². Stwierdzono większą masę tuszek oraz wyższą zawartość białka w mięśniach piersiowych i mięśniach nóg (Banaszak i in., 2022). Mniejszą masę wątroby i żołądka mięśniowego wykazano po zastosowaniu 1% haloizytu w mieszance paszowej od 11. dnia odchovu kurcząt rzeźnych (Nadziakiewicz i in., 2023). Abdelrahman i in. (2023) stwierdzili zmiany w wysyceniu mięsa barwą czerwoną (a*) u kurcząt rzeźnych żywionych mieszanką paszową z dodatkiem zeolitu na poziomie od 5 do 20 g/kg paszy, a jasność mięsa (L*) zależała od wielkości cząsteczek minerałów, która wynosiła od 1 do 2 mm.

Dotychczasowe badania nad możliwością zastosowania wybranych glinokrzemianów w żywieniu kaczek rzeźnych przedstawiają zarówno pozytywny, jak i negatywnych wpływ minerałów na wybrane parametry produkcyjne czy fizykochemiczne właściwości mięsa (Biesek i in., 2021a). Ponadto, dostępna literatura wykazuje stosowanie różnych dawek i metod ich stosowania, przede wszystkim w odchowie kurcząt rzeźnych. Literatura naukowa dotycząca stosowania glinokrzemianów w żywieniu powszechnie użytkowanych mieszańców towarowych kaczek rzeźnych Cherry Valley nie jest powszechna, zatem podjęcie niniejszych badań wydaje się być uzasadnione.

2. WYKAZ ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCH CYKL PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

1. **Sebastian Właźlak**, Jakub Biesek, Mirosław Banaszak. 2024. Growth performance, meat quality, strength of jejunum and leg bones of both sexes Cherry Valley ducks fed with zeolite. *Scientific Reports*, Springer Nature, 14 (1), 3938. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54393-2>, 140 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 3,800.
2. **Sebastian Właźlak**, Mirosław Banaszak, Jakub Biesek. 2025. Halloysite supplemented in the diet, and sex of Cherry Valley ducks affects growth, carcass composition, meat quality, and jejunum and leg bone strength. *BMC Veterinary Research*, Springer Nature, 21, 307. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04764-2>, 140 pkt. MNiSW, *Impact Factor*: 2,300.

3. UZASADNIENIE SPÓJNOŚCI TEMATYCZNEJ CYKLU PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Rosnąca świadomość konsumentów dotycząca pozyskiwania dobrej jakości produktów drobiarskich wolnych od zagrożeń zdrowotnych wpływa na kształtowanie się trendów rynkowych. Wpisuje się to również w identyfikowalność produktu, która prowadzi do możliwości weryfikacji poszczególnych etapów produkcji surowców zgodnie z założeniami strategii „od pola do stołu”.

Wzrost popularności mięsa kaczego jest efektem coraz większej świadomości konsumenckiej na temat jego walorów sensorycznych i odżywczych. Obecnie użytkowane szybko rosnące mieszańce towarowe uzyskują odpowiednią masę ciała do uboju już w 6. tygodniu odchowu, co potwierdza intensywną poprawę tempa wzrostu na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. Kaczki rzeźne Cherry Valley wraz z mieszańcami Orvia zdominowały rynek krajowy, jak i zagraniczny. W związku z powyższym, w zaplanowanych badaniach zastosowano powszechnie używane komercyjne mieszańce towarowe. Potwierdza to spójność założeń metodycznych pod względem pochodzenia ptaków, a uzyskane wyniki mogą mieć odniesienie do produkcji o charakterze wielkotowarowym.

Zeolit (klinoptylolit) i haloizyt to naturalne minerały z grupy krzemianów. Haloizyt należy do grupy minerałów ilastych, jednakże pomimo różnic w strukturze względem zeolitu, oba glinokrzemiany wykazują podobne właściwości. Mają swoje zastosowanie w medycynie, farmakologii, przemyśle, ogrodnictwie, rolnictwie, a także produkcji drobiarskiej. Dotychczas, wiele badań koncentrowało się na możliwości zastosowania wybranych glinokrzemianów jako środka poprawiającego jakość ściółki oraz dodatku paszowego w żywieniu kurcząt rzeźnych. W związku z powyższym podjęto badania nad możliwością zastosowania dwóch naturalnych minerałów wydobywanych w kopalniach Europy środkowo-wschodniej (w tym w Polsce) jako dodatku do paszy w żywieniu kaczek rzeźnych.

Zbadano wpływ 1% dodatku zeolitu i haloizytu na parametry produkcyjne (przeżywalność, masę ciała, przyrosty masy ciała, spożycie paszy, współczynnik zużycia paszy oraz europejski wskaźnik efektywności produkcji), jakościowe mięsa (m. in. barwa, zdolność utrzymania wody i skład chemiczny) oraz wytrzymałościowe kości nóg i jelita czczego. Szczegółowa analiza uzyskanych wyników umożliwiła ocenę efektów ich zastosowania, a także pozwoliła zweryfikować potencjalne ich oddziaływanie na mieszańce towarowe kaczek rzeźnych tego samego pochodzenia w kontekście cech fenotypowych.

3.1. HIPOTEZA BADAWCZA, CEL I ZAKRES BADAŃ

W **hipotezie badawczej** założono, iż zastosowanie 1% dodatku zeolitu lub haloizytu w mieszance paszowej pełnoporcjowej dla kaczek rzeźnych Cherry Valley obojga płci ma wpływ na wyniki produkcyjne, cechy tuszek, jakość mięsa i cechy fizyczne kości nóg oraz jelita czczego.

Weryfikację hipotezy badawczej dokonano poprzez realizację następującego **celu badań**:

Celem badań była analiza wyników produkcyjnych, cech tuszek, właściwości fizykochemicznych mięsa i fizycznych kości udowych oraz piszczelowych, a także jelita czczego samców i samic kaczek rzeźnych Cherry Valley żywionych mieszanką paszową pełnoporcjową z 1% dodatkiem glinokrzemianów: zeolitu (**doświadczenie 1**) i haloizytu (**doświadczenie 2**).

3.2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Badania wykonano zgodnie z obowiązującymi wymogami prawnymi, uwzględniając Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/63/UE z dnia 22 września 2010 r. w sprawie ochrony zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych oraz Ustawę z dnia 15 stycznia 2015 r. o ochronie zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych (z późniejszymi zmianami) oraz wytyczne ARRIVE 2.0 (Percie du Sert i in., 2020).

3.2.1. Układ doświadczenia i warunki odchowu kaczek rzeźnych

Badania zostały przeprowadzone w 2023 roku w gospodarstwie rolnym na terenie województwa kujawsko-pomorskiego. W obu doświadczeniach do odchowu przeznaczono łącznie 400 piskląt jednodniowych mieszańców towarowych kaczek Cherry Valley (SM3 medium), w tym 200 samców (M) oraz 200 samic (F). Ptaki zakupiono w Zakładzie Wylęgu Drobiu Wodnego w województwie wielkopolskim (Tulce, Polska). W każdym z doświadczeń wyróżniono dwie grupy – kontrolną (C) i doświadczalną (Z/H). W każdej z grup wydzielono podgrupy – samce i samice. Ptaki z każdej podgrupy utrzymywano w pięciu powtórzeniach po 10 sztuk. W **doświadczeniu 1.** wyróżniono grupę kontrolną samców – C×M i samic – C×F oraz grupę doświadczalną samców – Z×M i samic – Z×F (w publikacji 1 zastosowano zapis: CM, CF, ZM i ZF, **Figura 1**), a w **doświadczeniu 2.** grupę kontrolną samców – C×M i samic – C×F oraz grupę doświadczalną samców – H×M i samic – H×F (**Figura 2**). W grupach kontrolnych (C×M, C×F), w obu doświadczeniach, stosowano standardową mieszankę paszową pełnoporcjową, a w grupach doświadczalnych (Z×M, Z×F, H×M, H×F) do mieszanki paszowej dodano 1% dodatek zeolitu (**Z – doświadczenie 1**) lub haloizytu (**H – doświadczenie 2**).

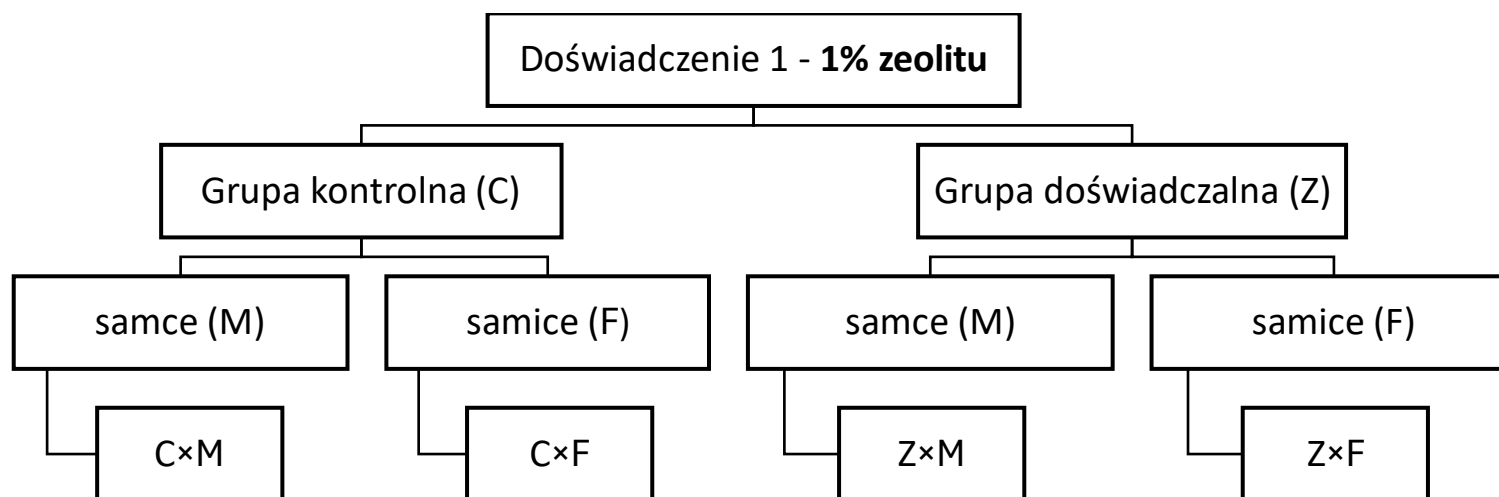


Figura 1. Podział grup w doświadczeniu 1

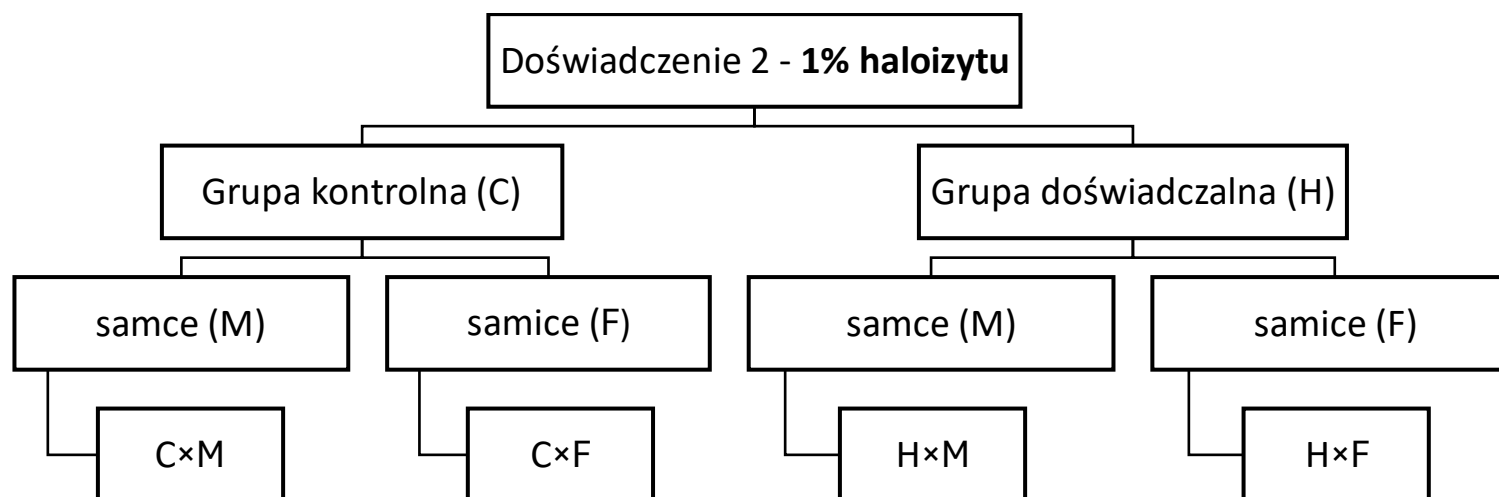


Figura 2. Podział grup w doświadczeniu 2

Odchów trwał 42 dni. Warunki środowiskowe w budynku inwentarskim dostosowano do minimalnych wymogów dotyczących utrzymania kaczek (Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi, 2010). W pierwszym dniu temperatura powietrza w kaczniku wynosiła 26 °C. W pomieszczeniu umieszczono także dodatkowe źródło ciepła w postaci lamp grzewczych, które zapewniały temperaturę 30 °C. Następnie stopniowo zmniejszano ją aż do wartości 18 °C w czwartym tygodniu odchowu. Wilgotność względna powietrza mieściła się w zakresie 60-70% przez cały okres odchowu, a wymiana powietrza nie przekraczała 1 m³/s. Powierzchnia kojców pozwalała na utrzymanie 10 ptaków przy założeniu maksymalnej masy na koniec odchowu, wynoszącej do 17 kg/1m². Jako ściółkę zastosowano słomę pszenną. Stężenia szkodliwych gazów tj. dwutlenku węgla (CO₂), amoniaku (NH₃) i siarkowodoru (H₂S) nie przekraczały dopuszczalnych norm, odpowiednio: 3000 ppm, 25 ppm i 5 ppm.

Odchów podzielono na dwa okresy żywieniowe. W pierwszym okresie, od 1. do 28. dnia życia ptaków zastosowano mieszankę paszową pełnoporcjową typu starter. W drugim okresie, od 29. do 42. dnia odchowu, ptaki żywiono paszą typu grower. Pasza miała formę kruszonki (De Heus, Łęczyca, Polska). Zgodnie z deklaracją producenta zawierała następujący skład, który był zgodny z zaleceniami żywieniowymi pasz dla drobiu (Smulikowska i Rutkowski, 2018). Paszę i wodę podawano *ad libitum*.

- Komponenty paszowe (starter): kukurydza, pszenżyto, pszenica, otręby pszenne, jęczmień, śruta poekstrakcyjna sojowa, owies zwyczajny, wywar gorzelniczy zbożowy suszony, bobik, śruta poekstrakcyjna rzepakowa, śruta poekstrakcyjna słonecznikowa z obłuszczonych nasion słonecznika, węglan wapnia, oleje i tłuszcze roślinne, winaza, chlorek sodu, fosforan dwuwapniowy.
- Składniki analityczne (starter): białko surowe – 19,5%, tłuszcz surowy – 3,9%, włókno surowe – 4,2%, lizyna – 0,93%, metionina – 0,42%, treonina – 0,72%, wapń – 0,85%, fosfor – 0,69%, sód – 0,17%, witamina A – 1000 j. m., witamina D₃ – 3000 j. m., witamina E – 25 j. m.
- Komponenty paszowe (grower): kukurydza, otręby pszenne, jęczmień, wywar gorzelniczy zbożowy suszony, śruta poekstrakcyjna rzepakowa, śruta poekstrakcyjna słonecznikowa z obłuszczonych nasion słonecznika, owies zwyczajny, węglan wapnia, bobik, pszenica, śruta poekstrakcyjna sojowa, winaza, oleje i tłuszcze roślinne, chlorek sodu.
- Składniki analityczne (grower): białko surowe – 17,1%, tłuszcz surowy – 3,7%, włókno surowe – 4,5%, lizyna – 0,87%, metionina – 0,37%, treonina – 0,61%, wapń – 0,81%,

fosfor – 0,66%, sód – 0,16%, witamina A – 10000 j. m., witamina D₃ – 3000 j. m., witamina E – 25 j. m.

W grupach doświadczalnych przez cały okres odchowu do paszy starter i grower dodano 1% dodatku zeolitu (doświadczenie 1) oraz 1% dodatku haloizytu (doświadczenie 2) w formie sypkiej (**Fotografia 1**). Zeolit pochodził z firmy specjalizującej się wydobywaniem tego minerału z kopalni znajdującej się na wschodzie Słowacji (VSK PRO-ZEO s.r.o., Južná trieda, Słowacja). Zgodnie z deklaracją dostawcy zeolit charakteryzowała powierzchnia właściwa na poziomie 30-60 m²/g, gęstość nasypowa 1,60-1,80 kg/m³ oraz ciężar właściwy w zakresie 2,20-2,44 kg/m³. Ponadto składał się z następujących związków:

- SiO₂ (tlenek krzemu IV) - 65,00 – 71,30%,
- Al₂O₃ (tlenek glinu) - 11,50 – 13,10%,
- CaO (tlenek wapnia) - 2,70 – 5,20%,
- K₂O (tlenek potasu) - 2,20 – 3,40%,
- Fe₂O₃ (tlenek żelaza) - 0,70 – 1,90%,
- MgO (tlenek magnezu) - 0,60 – 1,20%,
- Na₂O (tlenek sodu) - 0,20 – 1,30%,
- TiO₂ (tlenek tytanu) - 0,10 – 0,30%,
- Si/Al (siarka/glin) - 4,80 – 5,40%.

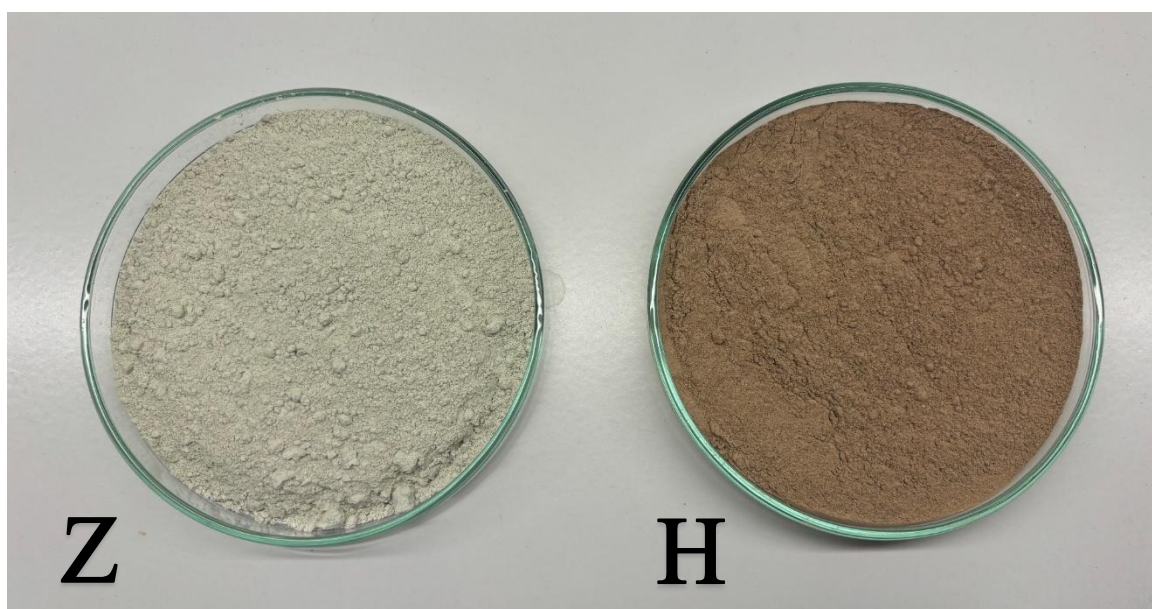
Zeolit zawierał 6 grup minerałów:

- klinoptylolit - 84%,
- krystobalit - 8%,
- glinka miki - 4%,
- plagioklasy - 3 – 4%,
- rutyl - 0,10 – 0,30%,
- kwarc - ilości śladowe.

Haloizyt pochodził z jednej z największych kopalni tego minerału w Europie i na świecie zlokalizowanej w południowo-zachodniej części Polski (Dunino, Krotoszyce, Polska). Charakteryzowały go następujące właściwości fizyczne: powierzchnia właściwa: 65 – 86 m²/kg, gęstość nasypowa 0,70 – 0,85 g/cm³. Skład chemiczny haloizytu z kopalni Dunino został opisany w publikacji Filice i in. (2021):

- Si (krzem) - 18,60%,

- Al (glin) - 16,62%,
- O (tlen) - 45,15%,
- Fe (żelazo) - 14,62%,
- Ti (tytan) - 1,96%,
- Ca (wapń) - 0,74%,
- K (potas) - 0,68%,
- Na (sód) - 0,54%,
- P, Mn, Mg, Cr (fosfor, mangan, magnez, chrom) - 0,1 – 0,5%,
- Ni, Zn, As, Zr, Co, V, S, Cu (nikiel, cynk, arsen, cyrkon, kobalt, wanad, siarka, miedź) – 0,01 – 0,10%,
- Y, Sr, Rb (itr, stront, rubid) - <0,01%.



Fotografia 1. Zeolit (Z) i haloizyt (H) (fot. S. Właźlak)

3.2.2. Skład chemiczny paszy

Pasze stosowane w doświadczeniach 1 i 2 analizowano pod względem składu chemicznego. Z pasz starter i grower (kontrolnej i doświadczalnej) pobrano po 5 prób do badań laboratoryjnych o masie 500 g (po 20 prób na jedno doświadczenie, razem 40). Wszystkie metody analiz były zgodne z zaleceniami dokumentacji Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Oceniano następujące składniki w paszy:

- sucha masa - PN-ISO 6496:2002,

- białko surowe - PN-ISO 5983-1:2006,
- popiół surowy - Rozporządzenie Komisji (WE) nr 152/2009 z dnia 27 stycznia 2009 r.,
- włókno surowe - PN-ISO 6865:2002,
- tłuszcz surowy - PN-EN ISO 6492:2005,
- neutralne włókno detergentowe (NDF) - PN-EN ISO 16472:2007,
- kwaśne włókno detergentowe (ADF) - PN-EN ISO 13906:2009,
- lignina kwaśno – detergentowa (ADL) - PN-EN ISO 13906:2009,
- skrobia - PN-R-64785:1994.

3.2.3. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

Wykonano pomiary masy ciała ptaków (BW) w 1., 28. i 42. dniu odchowu (Radwag, Radom, Polska). Codziennie rejestrowano upadki, a także spożycie paszy (FI) w każdej grupie. Na podstawie zebranych danych obliczono przeżywalność, przyrosty masy ciała (BWG), współczynnik zużycia paszy na 1 kg przyrostu masy ciała (FCR) dla poszczególnych okresów żywieniowych oraz dla całego okresu odchowu. Ponadto, obliczono europejski wskaźnik efektywności produkcji (EPEF).

$$BWG = \text{masa końcowa (g)} - \text{masa początkowa (g)}$$

$$FCR = \frac{\text{spożycie paszy (g)}}{\text{przyrost masy ciała (g)}}$$

$$EPEF = \frac{\text{przeżywalność (\%)} \times BW \text{ (kg)}}{\text{wiek (dni)} \times FCR \left(\frac{\text{kg paszy}}{\text{kg przyrostu}} \right)} \times 100$$

3.2.4. Skład tuszek oraz cechy fizykochemiczne mięsa

Po 42 dniach odchowu z każdego kojca wybrano po 2 ptaki (10 ptaków z każdej grupy) o masie ciała zbliżonej do średniej masy ciała ptaków w danym kojcu. Kaczki uśmiercono w celu poboru tuszek i prób do dalszych badań. Tuszki oparzano w wodzie o temperaturze 60-70 °C przez 5 sekund oraz oskubano za pomocą skubarki mechanicznej (Soda Plus, Krępice, Polska). Następnie tuszki zanurzono w wosku przeznaczonym do kontaktu z żywnością (Polwax, Jasło, Polska), co umożliwiło usunięcie pozostałości piór. Łapy odcięto w stawie

skokowym, a tuszki wypatroszono. Wyodrębniono podroby jadalne: żołądek mięśniowy, wątrobę i serce. Pobrano fragment jelita czczego o długości 10 cm (punkt odniesienia stanowił uchylek Meckel'a), a następnie umieszczono w roztworze soli fizjologicznej i zamrożono w temperaturze -18 °C (Gorenje, Valenje, Słowenia). Tuszki schłodzono w temperaturze 4 °C (Hendi, Poznań, Polska) (Biesek i in., 2022a).

Tuszki i podroby zważono (Radwag, Radom, Polska). Analizowano pH₂₄ mięśni piersiowych za pomocą pH-metru (Elmetron, Zabrze, Polska). Przed wykonaniem pomiaru wykonano kalibrację w roztworach wzorcowych o znanym pH – 4,00, 7,00, 9,00. Użyto elektrody sztyletowej, przeznaczonej do pomiaru pH mięsa. Pomiaru dokonano w prawym mięśniu piersiowym od zewnętrznej strony. Wykonano dysekcję tuszek poprzez wyodrębnienie następujących elementów: szyi, skóry z szyi, mięśni piersiowych, odkostnionych mięśni nóg, tłuszczu sadełkowego, skóry z tłuszczem podskórnym, skrzydeł oraz pozostałości tuszki (korpus i kości nóg). Elementy tuszki zważono indywidualnie (Radwag, Radom, Polska), a następnie obliczono ich relatywną masę w 100 g tuszki (procentowy udział w tuszce). Kość piszczelową i udową z prawej nogi każdego ptaka zamrożono (Valenje, Gorenje, Słowenia) do przeprowadzenia dalszych analiz wytrzymałości (Kowalska i in., 2020). Obliczono wydajność rzeźną z i bez podrobów ze wzoru:

$$\text{wydajność rzeźna} = \frac{\text{masa tuszki (g)}}{\text{masa ciała przed ubojem (g)}} \times 100$$

$$\text{wydajność rzeźna z podrobami} = \frac{\text{masa tuszki z podrobami (g)}}{\text{masa ciała przed ubojem (g)}} \times 100$$

Pomiary barwy mięśni piersiowych (*pectoralis major*) i mięśni nóg wykonano od wewnętrznej strony przy użyciu kolorymetru. Oceniono parametr L* - jasność, a* - wysycenie barwą czerwoną, b* - wysycenie barwą żółtą (Konica Minolta, Tokio, Japonia). Urządzenie kalibrowano na białej płytce kalibracyjnej.

Z każdej tuszki przeznaczono po jednym mięśniu piersiowym do analiz wycieku swobodnego. Mięśnie zważono (Radwag, Radom, Polska) i pojedynczo umieszczono w worku strunowym o wymiarach 150×200 mm, który był ponacinany w dolnej części w celu swobodnego wycieku wody. Tak przygotowane próby umieszczono w większym worku strunowym (150×250 mm), a następnie zawieszono w chłodni w temperaturze 4 °C na 24 godziny (Banaszak i in., 2022). Po tym czasie mięśnie ponownie zważono i obliczono wyciek swobodny ze wzoru:

$$\text{Wyciek swobodny} = 100 - \left(\frac{M2}{M1}\right) \times 100$$

gdzie, M2 – masa końcowa, M1 – masa początkowa.

Mięśnie piersiowe i mięśnie nóg z każdej grupy zmielono w wilku do mięsa (Hendi, Poznań, Polska). W celu wykonania pomiaru wodochłonności (WHC) ze zmielonych prób odważono (Radwag, Radom, Polska) po 10 prób o masie 0,300 g ($\pm 0,005$ g). Umieszczono je między dwoma kawałkami bibuły Whatmanna pod odważnikiem o masie 2 kg na 5 minut. Po tym czasie próby wyjęto i ponownie zważono (Radwag, Radom, Polska) (Adamski i in., 2016). Obliczono WHC z następującego wzoru:

$$WHC = 100 - \left(\frac{M2}{M1}\right) \times 100$$

gdzie, M2 – masa próby po 5 minutach, M1 – początkowa masa próby

Wyniki dotyczące wycieku swobodnego i wodochłonności zaprezentowano jako ilość utraconej wody z mięsa. Analizowano zawartość białka, tłuszczu śródmięśniowego, kolagenu, soli oraz wody przy użyciu aparatury FoodScan (Foss, Hillerød, Dania) metodą spektrofotometrii z użyciem bliskiej podczerwieni (NIT) (PN-A-82109:2010).

3.2.5. Wytrzymałość jelit i kości

Wcześniej przygotowane próby jelita czczego i kości nóg rozmrożono w temperaturze 4 °C przez 24 godziny. Analizy wykonano przy użyciu urządzenia Instron 3345 (Instron, Buckinghamshire, Wielka Brytania) wraz z oprogramowaniem Bluehill 3. Każdą kość piszczelową i udową dokładnie oczyszczono z pozostałości mięśni szkieletowych oraz zważono (Radwag, Radom, Polska). Kości układano na przystosowanej przystawce Instron Bend Fixture 10 mm oraz zmierzono maksymalną siłę niezbędną do pęknięcia (N). Prędkość przesuwu ramienia ustawiono na 250 mm/min (Kuźniacka i in., 2017). Jelito czcze oceniano poprzez analizę wytrzymałości na rozciąganie za pomocą przystawki Instron Pneumatic Grip 2 kN. Długość każdej z prób wynosiła 10 cm. Przeciwnie końce jelita umieszczono między uchwytami kleszczowymi i rozciągano do momentu pęknięcia. Szybkość analizy wynosiła 500 mm/min zgodnie z badaniami Budnika (2017).

3.2.6. Analiza statystyczna

Dane liczbowe analizowano w programie statystycznym Statistica, wersja 13.3.0 (TIBCO Software, Kraków, Polska, 2017). Obliczono wartości średnie oraz standardowy błąd średniej (SEM) dla każdej cechy badanej. Wykonano analizę rozkładu normalnego oraz homogeniczności grup za pomocą testów Kolomogorwa-Smirnova i testu Levene'a. Dla efektów głównych (wpływ dodatku glinokrzemianu lub płci) zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji, natomiast interakcje między czynnikami analizowano przy użyciu dwuczynnikowej analizy wariancji.

Dla jednoczynnikowej analizy wariancji, którą weryfikowano wpływ efektu głównego, tj. dodatku zeolitu/haloizytu lub płci kaczek na badane cechy, zastosowano model statystyczny:

$$Y_{Z/H/S} = \mu + C_{Z/H/Ds} + e_{Z/H/S}$$

gdzie, $Y_{Z/H/S}$ – zmienna zależna (zeolit lub haloizyt/płeć), μ – średnia, $C_{Z/H}$ – zeolit lub haloizyt, D_s – płeć, $e_{Z/H/S}$ – błąd reszkowy (zeolit lub haloizyt/płeć)

Dla dwuczynnikowej analizy wariancji, którą weryfikowano wpływ interakcji cech grupujących, tj. dodatku zeolitu/haloizytu i płci kaczek na badane cechy, zastosowano model statystyczny:

$$Y_{Z/H/S} = \mu + C_{Z/H} + D_s + CD_{ZS/HS} + e_{Z/H/S}$$

gdzie, $Y_{Z/H/S}$ – zmienna zależna (zeolit lub haloizyt/płeć), μ – średnia, $C_{Z/H}$ – zeolit lub haloizyt, D_s – płeć, $CD_{ZS/HS}$ – interakcja między zeolitem lub haloizytem a płcią, $e_{Z/H/S}$ – błąd reszkowy (zeolit lub haloizyt/płeć).

Statystycznie istotne różnice weryfikowano za pomocą testu Tukey'a z prawdopodobieństwem $P \leq 0,05$. W przypadku wytrzymałości na rozciąganie jelita czczego (publikacja 2) przeprowadzono dodatkową analizę, stosując bardziej czuły statystycznie test NIR (najmniejsza istotna różnica Fishera — LSD) niż test Tukey'a.

Dodatkowo, w doświadczeniu 2., obliczono współczynnik korelacji Pearsona (r) między jakościowymi cechami fizykochemicznymi mięśni piersiowych i nóg, przy założeniu prawdopodobieństwa na poziomie $\leq 0,05$. Przyjęto następujące poziomy interpretacyjne siły związku liniowego między zmiennymi: $< 0,2$ – brak korelacji między zmiennymi; $0,2$ – $0,4$ – słaba korelacja; $0,4$ – $0,7$ – umiarkowana korelacja; $0,7$ – $0,9$ – dość silna korelacja; $> 0,9$ – bardzo silna korelacja (Stanisz, 2006).

3.3. WYNIKI

3.3.1. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

Analizując dane zestawione w **tabeli 1 (doświadczenie 1.)** stwierdzono istotnie większą masę ciała samców żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem zeolitu, w porównaniu do samców w grupie kontrolnej w 28. ($P=0,048$) i 42. ($P=0,041$) dniu odchowu. Przyrosty masy ciała były również istotnie większe w grupie $Z \times M$, w porównaniu do grupy $C \times M$, biorąc pod uwagę cały okres odchowu ($P=0,040$). Obydwie grupy doświadczalne charakteryzował mniejszy współczynnik wykorzystania paszy od 29. do 42. dnia odchowu ($P=0,034$).

Natomiast, samice z grupy kontrolnej (**tabela 2, doświadczenie 2.**), charakteryzowała istotnie większa masa ciała w 28. dniu, a także przyrosty masy ciała (w okresie od 1. do 28. dnia) w porównaniu do samców i samic żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu ($P=0,005$). Ptaki z grupy doświadczalnej miały istotnie mniejszą masę ciała w 28. ($P=0,001$) i 42. ($P=0,049$) dniu życia w porównaniu do grup kontrolnych. Przyrosty masy ciała w grupach doświadczalnych były istotnie mniejsze w pierwszym okresie żywieniowym ($P=0,001$) i przez cały okres odchowu ($P=0,048$). Istotnie mniejszy współczynnik wykorzystania paszy do 28. dnia stwierdzono w grupach kontrolnych ($P=0,003$). Natomiast, większy współczynnik wykorzystania paszy wykazano u samców żywionych haloizytem w porównaniu do samców z grupy kontrolnej ($P=0,024$).

3.3.2. Wydajność rzeźna i cechy tuszek

Wydajność rzeźna kaczek rzeźnych (**tabela 2, doświadczenie 1.**) była podobna we wszystkich grupach i wynosiła od 65,04 do 67,29 g/100 g masy ciała przed ubojem (bez podrobów) oraz od 70,88 do 72,60 g/100 g masy ciała przed ubojem (z podrobami) ($P>0,05$). Istotnie większą relatywną masę wątroby wykazano w grupie $Z \times M$ w porównaniu do grupy $Z \times F$ i $C \times F$ ($P<0,001$). Żołądek mięśniowy kaczek z grupy $C \times M$ był istotnie cięższy w porównaniu do kaczek z grupy $C \times F$ i $Z \times M$ ($P=0,001$). Ptaki z grupy $Z \times F$ charakteryzowała istotnie większa masa szyi w porównaniu do grupy $Z \times M$ i $C \times F$ ($P<0,001$). Jednocześnie, w tej samej grupie wykazano istotnie najmniejszą masę mięśni piersiowych ($P=0,045$). W grupie, gdzie zastosowano zeolit w żywieniu samców, wykazano istotnie większą masę skóry z tłuszczem podskórnym w porównaniu do samców z grupy kontrolnej ($P=0,039$). Analiza składu tuszek samic wykazała istotnie mniejszą masę wątroby oraz pozostałości tuszki w porównaniu do samców ($P<0,001$ i $P=0,036$).

W **doświadczeniu 2. (tabela 3)**, podobnie jak w **doświadczeniu 1.**, nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w wydajności rzeźnej tuszek analizując wpływ haloizytu, płci oraz interakcję obu czynników ($P>0,05$). Kaczki z grup C×M i C×F miały istotnie mniejszą masę wątroby w porównaniu do ptaków z grupy H×M ($P=0,018$). Istotnie większą masę żołądka wykazano w grupach C×M i H×M w porównaniu do samic z grupy kontrolnej ($P=0,044$). Tuszki ptaków z grupy H×M charakteryzowała istotnie mniejsza masa mięśni piersiowych i całkowita masa mięśni w porównaniu do tuszek kaczek z grup C×F i H×F ($P=0,009$ i $P=0,049$). W tuskach samic z grupy doświadczalnej stwierdzono istotnie większą masę tłuszczu sadelkowego w porównaniu do samców z grupy doświadczalnej ($P=0,004$), a większą masę pozostałości tuszki wykazano u samców żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu w porównaniu do samic z grupy kontrolnej ($P=0,049$). Masa wątroby była istotnie większa w obu grupach po zastosowaniu haloizytu ($P=0,020$). Samce charakteryzowała istotnie większa masa żołądka ($P=0,004$) i pozostałości tuszki ($P=0,013$), a samice większa masa mięśni piersiowych ($P=0,005$), całkowita masa mięśni ($P=0,015$) oraz tłuszczu sadelkowego ($P=0,007$).

3.3.3. Cechy fizykochemiczne mięśni

W **doświadczeniu 1. (tabela 3)** mięśnie piersiowe samic żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem zeolitu charakteryzowało istotnie niższe pH_{24} w porównaniu do samic grupy kontrolnej ($P=0,029$). Istotnie większą jasność (L^*) mięśni stwierdzono w grupach C×M i Z×F w porównaniu do C×F ($P=0,003$). Mięśnie piersiowe kaczek z grupy Z×M charakteryzowała istotnie mniejsza wodochłonność, wyrażona większą utratą wody, w porównaniu do mięśni piersiowych kaczek z grupy C×F ($P=0,024$). Istotnie większą zawartość soli wykazano w grupach C×F i Z×F w porównaniu do C×M i Z×M ($P<0,001$), tłuszczu śródmięśniowego w grupie Z×F w porównaniu do C×M i Z×M ($P=0,002$), a wody w C×M i Z×M w porównaniu do C×F i Z×F ($P<0,001$). W mięśniach ptaków żywionych paszą z dodatkiem zeolitu wykazano istotnie mniejsze pH ($P=0,014$) oraz istotnie większą wartość wodochłonności ($P=0,004$) mięśni piersiowych. W mięśniach piersiowych ptaków z grupy Z×M wykazano wyższą zawartość białka, w porównaniu do grupy Z×F ($P=0,032$). Istotnie mniejszą zawartość soli oraz tłuszczu śródmięśniowego ($P<0,001$ i $P=0,002$) wykazano w mięśniach samców, a wody w mięśniach samic ($P<0,001$).

Istotnie większą utratę wody (mniejszą wodochłonność) w mięśniach nóg stwierdzono w grupach C×F, Z×M i Z×F w porównaniu do C×M ($P=0,003$). Mięśnie nóg kaczek z grupy Z×M charakteryzowała istotnie większa zawartość białka w porównaniu do pozostałych grup

($P < 0,001$). W grupie Z×M wykazano istotnie większą zawartość soli w porównaniu do grup Z×F i C×F ($P = 0,002$), a tłuszczu śródmięśniowego w grupie Z×F w porównaniu do pozostałych grup ($P < 0,001$). Istotnie mniejszą zawartość wody w mięśniach nóg stwierdzono w grupach C×F, Z×M i Z×F w porównaniu do C×M ($P < 0,001$). W grupach, gdzie zastosowano zeolit, stwierdzono mniejszą zawartość wody ($P < 0,001$) oraz większą zawartość białka ($P < 0,001$) w mięśniach nóg. Uwzględniając płeć, mięśnie nóg samic charakteryzowała mniejsza zdolność utrzymania wody ($P = 0,011$), zawartość soli ($P = 0,002$) i wody ($P < 0,001$) oraz większa zawartość tłuszczu śródmięśniowego ($P = 0,001$) w porównaniu do mięśni nóg samców.

Natomiast, w **doświadczeniu 2. (tabela 4)** istotnie mniejszą zawartość białka w mięśniach piersiowych stwierdzono w grupie H×M w porównaniu do pozostałych grup ($P < 0,001$), a zawartość soli w grupie C×M porównaniu do C×F i H×F ($P = 0,006$). Mięśnie piersiowe kaczek z grupy H×M charakteryzowała istotnie większa zawartość kolagenu i tłuszczu śródmięśniowego w porównaniu do pozostałych grup ($P < 0,001$). Statystycznie istotnie mniejszą zawartość wody stwierdzono w grupie C×M niż w pozostałych grupach ($P < 0,001$). W mięśniach piersiowych ptaków, które żywiono mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu, wykazano istotnie mniejszą zawartość białka ($P = 0,037$) oraz większą zawartość kolagenu ($P < 0,001$), tłuszczu śródmięśniowego ($P < 0,001$) i wody ($P = 0,009$). Mięśnie piersiowe samców charakteryzowała mniejsza zawartość białka ($P = 0,011$) i soli ($P = 0,009$) oraz większa zawartość tłuszczu śródmięśniowego ($P < 0,001$) w porównaniu do samic.

Dodatkowo, wykazano (**tabela 5, doświadczenie 2.**) statystycznie istotną ujemną bardzo silną korelację ($-0,88$; $P < 0,001$) dla jasności (L^*) i wysycenia barwą czerwoną (a^*) mięśni piersiowych. Ujemną słabą korelację wykazano dla wycieku swobodnego i zawartości białka ($-0,39$; $P = 0,013$) oraz zawartości białka i wody ($-0,45$; $P = 0,003$). Natomiast ujemną umiarkowaną korelację stwierdzono dla zawartości białka i kolagenu ($-0,55$; $P < 0,001$) oraz tłuszczu śródmięśniowego ($-0,56$; $P < 0,001$). Zawartość kolagenu była dodatnio słabo skorelowana z zawartością soli, zaś z tłuszczem śródmięśniowym i wodą dodatnio umiarkowanie skorelowana przy poziomie istotności odpowiednio $P = 0,018$, $P < 0,001$, $P < 0,001$.

Mięśnie nóg kaczek z grupy H×M (**tabela 6, doświadczenie 2.**) charakteryzowało istotnie mniejsze wysycenie barwą czerwoną ($P = 0,012$) i żółtą ($P = 0,040$) w porównaniu do mięśni kaczek z grupy C×M. Istotnie większą zawartość białka wykazano w mięśniach nóg z grupy C×F w porównaniu do pozostałych grup ($P = 0,002$), kolagenu w grupie H×F w porównaniu do C×M ($P = 0,041$), a soli w grupie H×F w porównaniu do grup C×M oraz H×M

($P < 0,001$). Istotnie mniejszą zawartość tłuszczu śródmięśniowego stwierdzono w grupach C×F, H×M i H×F ($P < 0,001$). Mięśnie nóg kaczek żywionych haloizytem charakteryzowało istotnie mniejsze wysycenie barwą czerwoną ($P = 0,003$) i żółtą ($P = 0,031$). U samców wykazano istotnie większą zawartość tłuszczu śródmięśniowego ($P < 0,001$) oraz mniejszą zawartość kolagenu ($P = 0,007$) i soli ($P < 0,001$) w porównaniu do samic.

Stwierdzono (**tabela 7, doświadczenie 2.**) ujemną, statystycznie istotną, słabą korelację między zawartością kolagenu a tłuszczu śródmięśniowego ($-0,37$) i ujemną umiarkowaną korelację z jasnością (L^*) ($-0,41$) oraz zawartością białka a zawartością tłuszczu śródmięśniowego ($-0,44$) w mięśniach nóg. Natomiast dodatnia umiarkowana korelacja charakteryzowała wysycenie barwą czerwoną i żółtą ($0,62$), a także zawartość białka i wody ($0,53$). Podobnie dodatnią, ale słabą korelację ($0,36$) wykazano dla jasności i wysycenia barwą żółtą ($P = 0,022$), zdolności utrzymania wody i zawartości białka ($0,34$) na poziomie $P = 0,031$ oraz zawartości kolagenu i soli $0,38$ ($P = 0,015$).

3.3.4. Wytrzymałość jelit i kości

Statystycznie istotnie większą wytrzymałość kości piszczelowej (**tabela 4, doświadczenie 1.**) na pękanie stwierdzono u samców w grupie kontrolnej (C×M) oraz samic w grupie doświadczalnej (Z×F) w porównaniu do samców żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem zeolitu (Z×M) ($P = 0,048$). Nie stwierdzono różnic w wytrzymałości jelita czczego oraz kości udowej między grupami ($P > 0,05$).

Natomiast w **doświadczeniu 2. (tabela 8)** jelita czcze samic z grupy kontrolnej (C×F) charakteryzowała istotnie większa wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu do samców z grupy kontrolnej (C×M) ($P = 0,025$). Zastosowanie mieszanek paszowych z dodatkiem haloizytu wpłynęło na zwiększenie wytrzymałości jelit czczych na rozciąganie w obu grupach ($P = 0,023$). Uwzględniając wytrzymałość kości piszczelowej i udowej nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między grupami ($P > 0,05$).

3.4. DYSKUSJA

3.4.1. Wyniki produkcyjne kaczek rzeźnych

W **doświadczeniu 1.** wykazano większą masę ciała samców żywionych mieszankami paszowymi z 1% dodatkiem zeolitu w 28. i 42. dniu odchowu w porównaniu do samców w grupie kontrolnej. Podobne tendencje stwierdzono w przypadku całkowitych przyrostów masy ciała. Zastosowanie zeolitu wpłynęło korzystnie na współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała kaczek tylko w okresie żywienia mieszanką paszową pełnoporcjową typu grower. Nie stwierdzono istotnych różnic między grupami w wartości tego parametru, biorąc pod uwagę cały okres odchowu.

W badaniach Bieska i in. (2021a) oceniano wpływ zastosowania dodatku zeolitu do paszy na poziomie 4% przez cały okres odchowu dwóch mieszańców towarowych kaczek rzeźnych Orvia i Cherry Valley. W grupach doświadczalnych wykazano istotnie mniejszą masę ciała ptaków, zarówno po 42 ($P=0,011$) i 49 ($P=0,005$) dniach odchowu. Jednakże, istotnie większe spożycie paszy po sześciu tygodniach odchowu oraz mniejszy współczynnik wykorzystania paszy po siedmiu tygodniach odchowu charakteryzował kaczki z grup kontrolnych, gdzie zadawano standardową mieszankę paszową pełnoporcjową. Należy zwrócić uwagę, iż w badaniach własnych zastosowano czterokrotnie mniejszą dawkę minerału (**doświadczenie 1.**). Mogło to pozytywnie wpłynąć na masę ciała (wzrost o 247,55 g) i przyrosty masy ciała (wzrost o 247,99 g) porównując ptaki z grupy Z×M i C×M. Brak istotnych różnic w wynikach produkcyjnych takich jak: masa ciała, przyrosty masy ciała i spożycie paszy wykazali Chung i Choi (2019) po sześciu tygodniach odchowu kaczek rzeźnych w typie Pekin żywionych mieszanką paszową z 2% dodatkiem bentonitu i illitu ($P>0,05$). Jednakże, współczynnik wykorzystania paszy na 1 kg przyrostu masy ciała był istotnie większy (1,75 kg/kg) w grupie kontrolnej oraz doświadczalnej, w której użyto illitu w porównaniu do grupy, gdzie zastosowano bentonit, a współczynnik wynosił 1,72 kg/kg ($P=0,0338$).

Sumantri i in. (2019) stwierdzili największą masę ciała ośmiomiesięcznych kaczek nieśnych Alabio (1469,00 g) żywionych paszą z 2% dodatkiem zeolitu w porównaniu do grupy kontrolnej, żywionej paszą zanieczyszczoną aflatoksyną B1 (70 ppb) oraz 2% dodatkiem zeolitu i aflatoksyną B1 (70 ppb). Ponadto, cytowani autorzy podkreślili ochronną funkcję zeolitu, ze względu na ograniczenie negatywnego wpływu obecności aflatoksyny B1. Zwartość jej na poziomie 70 ppb w paszy miała wpływ na istotnie mniejszą masę ciała ptaków ($P<0,05$). Ochronny efekt tajskiego bentonitu na organizm kaczek rzeźnych Cherry Valley w związku ze szkodliwym działaniem aflatoksyny i fumonizyny stwierdzili Tengjaroenkul i in. (2016).

Istotnie większą masę ciała i przyrosty masy ciała kurcząt rzeźnych Ross 308, w odchowie których zastosowano różne dawki dwóch naturalnych minerałów z grupy glinokrzemianów w paszy i ściółce wykazano w badaniach Banaszaka i in. (2021). Dodatkowo, istotnie najmniejszy współczynnik wykorzystania paszy (1,53 kg/kg) stwierdzono w grupie, w której zastosowano 325 g zeolitu oraz haloizytu do ściółki oraz od 0,5 do 2% dodatku glinokrzemianów w paszy, co mogło wynikać m.in. z potencjalnie bardziej efektywnego przyswajania składników pokarmowych. Podobnie, lepszą strawność białka surowego między 14. a 16. oraz 35. a 37. dniem odchovu potwierdzili Zhou i in. (2014) w badaniach na kurczętach rzeźnych żywionych mieszanką paszową z dodatkiem attapulgitu i zeolitu na poziomie 2%.

Niektóre minerały z grupy glinokrzemianów korzystnie wpływają na cechy morfologiczne jelita czczego. Zdaniem Banaszaka i in. (2020a) zastosowanie 1% dodatku haloizytu do mieszanki paszowej oraz do ściółki w ilości 700 g/m² przez cały okres odchovu kurcząt rzeźnych miało wpływ na wzrost wysokości i zwiększoną powierzchnię kosmków jelitowych. Istotnie mniejsza szerokość kosmków jelitowych charakteryzowała ptaki w grupie, gdzie zastosowano zeolit ($P < 0,05$). Inne wyniki przedstawili Wawrzyniak i in. (2017). Cytowani autorzy zarekomendowali zastosowanie 2% dodatku zeolitu do mieszanki paszowej dla kurcząt ze względu na większą wysokość, obwód i powierzchnię przekroju kosmków, a także głębokość krypt środkowej części jelita czczego.

Ważny aspekt stanowi również istotny wzrost wydzielania enzymu żołądkowego – pepsyny oraz enzymów trzustkowych takich jak trypsyna i lipaza (Wawrzyniak i in., 2017). Czynnikiem stymulującym wydzielanie enzymów trawiennych mogą być zmiany wartości pH i składu jonowego płynów żołądkowo-jelitowych, które wynikają z właściwości jonowymiennych glinokrzemianów (Zhou i in., 2014). Biesek i in. (2022b) nie wykazali wpływu zastosowania różnych dawek glinokrzemianów w paszy i ściółce w odchowie kurcząt rzeźnych na relatywną długość dwunastnicy, jelita czczego, krętego, ślepego i okrężnicy. Większość składników odżywczych z paszy jest wchłaniana w jelicie cienkim, a jego charakterystyka w dużym stopniu może wpływać na wyniki produkcyjne. Dlatego też, szerokość, wysokość czy powierzchnia kosmków jelita czczego stanowi potencjalnie kluczowy aspekt w uzyskaniu dużych przyrostów masy ciała ptaków (Chaiyasing i in., 2024). W związku z powyższym, korzystny wpływ zeolitu na cechy morfologiczne jelita czczego oraz wydzielanie enzymów trawiennych mógłby wyjaśniać lepsze przyrosty masy ciała samców grupy doświadczalnej w badaniach własnych (**doświadczenie 1.**).

Minerały z grupy glinokrzemianów mogą stanowić dodatek zootechniczny, który działa wspomagająco na wzrost, co potwierdzono w badaniach nad zmianami stężenia wybranych hormonów we krwi kurcząt. Istotnie wyższe stężenie hormonu wzrostu wykazano w grupach, w których ptaki żywiono mieszanką paszową z dodatkiem kaolinu i zeolitu w dawce 30 g/kg paszy (Safaeikatouli i in., 2011). Al-musawy i in. (2023) zalecili zastosowanie 2% dodatku zeolitu w mieszance paszowej dla kurcząt rzeźnych Ross 308, ze względu na niższe stężenie aminotransferazy alaninowej (ALT) we krwi ptaków w porównaniu do zastosowania dodatku na poziomie 3%, której wyższy poziom może wskazywać na uszkodzenia tkanek.

W niektórych badaniach wykazano korzystny wpływ zastosowania dodatku glinokrzemianów do paszy na immunomodulację układu odpornościowego oraz na kształtowanie odpowiedzi immunologicznej drobiu. Jarosz i in. (2017) sugerowali zastosowanie 2% dodatku zeolitu w paszy dla kurcząt rzeźnych z uwagi na najlepsze przyrosty masy ciała, zwiększone stężenie cytokin oraz ekspresję limfocytów T, wpływających pozytywnie na status zdrowotny ptaków. Istotnym wydaje się być wystąpienie reakcji zapalnej w jelitach ptaków, gdzie zastosowano 3% dodatek minerału, co mogło sprzyjać wystąpieniu infekcji. Wyniki badań prezentowane przez Jarosza i in. (2017) potwierdziły późniejsze badania Grądzkiego i in. (2020). Autorzy również wykazali, że mniejszy dodatek zeolitu w paszy, na poziomie 2%, sprzyja lepszej zdrowotności, produktywności oraz odporności ptaków, a zwiększenie dodatku minerału do 3% może przyczyniać się do powstawania stanów zapalnych w jelitach. Dunisławska i in. (2022) stwierdzili poprawę bariery jelitowej oraz zwiększoną ekspresję genów interleukin i interferonów u kurcząt rzeźnych, gdzie zastosowano 0,5% dodatek zeolitu w mieszance paszowej oraz 650 g do ściółki w postaci peletu ze słomy. Świadczy to potencjalnie o właściwościach immunomodulujących tego minerału. Podobne wyniki przedstawili Wang i in. (2019), analizując możliwość zastosowania pałygorskitu, innego minerału z grupy krzemianów, w formie dodatku na poziomie 5, 10, 15 lub 20 g/kg paszy w odchowie kaczek rzeźnych Cherry Valley.

W związku z wszechstronnymi właściwościami omawianych minerałów, glinokrzemiany mogłyby być potencjalnie uznane za dodatki mające działanie prozdrowotne. Qu i in. (2019) wykazali istotnie większe średnie dzienne przyrosty masy ciała kurcząt brojlerów Abor Acres żywionych mieszanką paszową z dodatkiem zeolitu na poziomie 10 g/kg paszy (52,58 g/dzień) oraz w grupie, gdzie zastosowano chlorotetracyklinę (52,80 g/dzień) w porównaniu do grupy kontrolnej (49,73 g/dzień). Korzystne zmiany po zastosowaniu minerału stwierdzono w przypadku stanu oksydacyjnego jelit, ich integralności oraz liczności genów oporności na antybiotyki. Zdaniem Le Gall-David'a i in. (2016) zeolit z dodatkiem miedzi miał działanie

prebiotyczne na organizm kurcząt rzeźnych Ross PM3. Wynikało to ze zmniejszania różnorodności mikrobioty jelitowej ptaków wraz z jednoczesnym wsparciem wzrostu korzystnych szczepów drobnoustrojów takich jak *Lactobacillus johnsonii* oraz *Lactobacillus reuteri* – przedstawicieli bakterii probiotycznych. Wsparcie korzystnej mikrobioty możliwe jest również po zastosowaniu zeolitu połączonego z nanocząsteczkami srebra (Bolandi i in., 2021). Prasai i in. (2016) wykazali istotnie mniejszą zawartość bakterii patogennych, takich jak *Campylobacter jejuni*, *Helicobacter pulloru*, *Gallibacterium anatis* czy *Clostridium aldenese* w jelitach kur nieśnych Bond Brown żywionych 4% dodatkiem bentonitu, zeolitu i biowęgla do mieszanki paszowej. Potwierdzono tym samym wysoką zdolność minerałów zmieszanych z biowęgłem m. in. do redukcji występowania zakażeń przewodu pokarmowego.

Powyższe mechanizmy nie były analizowane w przeprowadzonych doświadczeniach, jednakże mają na celu weryfikację potencjalnych efektów działania różnych minerałów w aspekcie utrzymania dobrego statusu zdrowotnego stada, co, zgodnie z literaturą, wpływa na wyniki produkcyjne, będące podstawą efektywnej produkcji.

W **doświadczeniu 2.**, gdzie zastosowano 1% dodatek haloizytu do mieszanki paszowej, wykazano istotnie mniejszą masę ciała ptaków w 28. i 42. dniu odchowu, a także przyrosty masy ciała w pierwszym okresie żywieniowym oraz przez cały okres odchowu. Istotnie większy współczynnik wykorzystania paszy wykazano tylko do 28. dnia odchowu w grupach żywionych mieszanką paszową z dodatkiem minerału. Zdaniem Chunga (2018) zastosowanie 1% dodatku mieszaniny bentonitu i illitu do paszy nie wpłynęło na wyniki produkcyjne kaczek Pekin po 38 dniach odchowu ($P>0,05$). Ponadto, w badaniach Choi (2018) przedstawiono brak korzystnego wpływu dodatku illitu na poziomie 1 lub 1,5% w żywieniu kaczek w typie Pekin na wzrost oraz wskaźniki ekonomiczne produkcji. W grupie doświadczalnej, w której ptaki żywiono mieszanką paszową z 1% dodatku illitu, stwierdzono istotnie większy współczynnik wykorzystania paszy (1,85 g/g) w porównaniu do grupy kontrolnej (1,82 g/g) i z 1,5% dodatkiem minerału (1,80 g/g), co częściowo koresponduje z wynikami własnymi z **doświadczenia 2.**

Z kolei Nadziakiewicz i in. (2021) nie stwierdzili istotnych różnic w przyrostach masy ciała i wartości współczynnika wykorzystania paszy w 42-dniowym okresie odchowu kurcząt rzeźnych żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu. Jednakże, w cytowanych badaniach, ważny aspekt stanowiło większe wykorzystanie białka paszowego przez ptaki, co poprawiło warunki środowiskowe w budynku inwentarskim. Podobnie, Banaszak i in. (2022) nie stwierdzili istotnych zmian w masie ciała, ich przyrostach, spożyciu paszy oraz współczynnika wykorzystania paszy kurcząt rzeźnych Ross 308, które żywiono mieszanką

paszową z 0,5% dodatkiem haloizytu oraz dodatkiem tego minerału do ściółki torfowej na poziomie 0,500 kg/m².

Zróżnicowane dane przedstawione między badaniami cytowanymi i własnymi, nad możliwością zastosowania glinokrzemianów w żywieniu różnych gatunków drobiu, mogą być związane z różnorodnym pochodzeniem minerałów, co determinuje ich skład chemiczny, a także specyficzne właściwości (Murray i in. 2006; Brigatti i in. 2013). Zarówno zeolity jak i minerały ilaste, do których należy haloizyt charakteryzuje duża pojemność wymiany kationów, odwracalne uwodnienie i odwodnienie oraz drobnoziarnistość. Jednakże, zeolity mają budowę szkieletową (trójwymiarową), a haloizyt nanorurkową, co może wpływać na różnice w strukturach krystalicznych (Bish, 2013; Atyaksheva i Kasyanov, 2021).

Minerały ilaste mają wysoką zdolność wchłaniania wody, co może przyczyniać się do zwiększenia lepkości treści jelitowej. Tym samym spowalniają jej przechodzenie przez dolny odcinek przewodu pokarmowego (Damato i in., 2022). Zdaniem Le Gall-David'a i in. (2016) zmiany te mogą ograniczać efektywne działanie enzymów trawiennych oraz strawność składników odżywczych. Ponadto, Park i in. (2019) zwrócili uwagę na możliwość zmniejszenia zawartości tlenu w jelitach w wyniku fermentacji drobnoustrojów, podczas wydłużenia czasu przebywania treści w jelitach. Mogłoby to świadczyć o antyżywniowych właściwościach haloizytu w żywieniu kaczek rzeźnych i uzasadniać mniejszą masę ciała i przyrosty masy ciała kaczek po jego zastosowaniu (**doświadczenie 2.**). Jednakże, w wielu badaniach opisywano pozytywne efekty spowolnienia pasażu jelitowego poprzez wydłużenie czasu działania enzymów trawiennych. Tym samym, miało to wpływ na poprawę przyrostów masy ciała i wykorzystania składników pokarmowych z paszy (Wawrzyniak i in., 2017; Yalçın i in., 2017; Ouhida i in., 2000), co koresponduje z wynikami produkcyjnymi kaczek rzeźnych z **doświadczenia 1.**, gdzie zastosowano 1% dodatek zeolitu.

3.4.2. Wydajność rzeźna i cechy tuszek

W **doświadczeniu 1.** wydajność rzeźna nie różniła się statystycznie istotnie między grupami. Wykazano istotnie największą masę wątroby w grupie Z×M oraz żołądka mięśniowego w grupie C×M. Tuszki samic żywionych z dodatkiem zeolitu (Z×F) charakteryzowała istotnie większa masa szyi w porównaniu do grupy Z×M i C×F. W **doświadczeniu 2.** wykazano istotnie większą masę wątroby kaczek w grupach doświadczalnych w porównaniu do kontrolnych.

Biesek i in. (2021a) nie stwierdzili istotnych różnic w masie szyi, pozostałości tuszki, wątroby i mielca u siedmioletnich kaczek rzeźnych różnego pochodzenia. Banaszak i in.

(2020a) również wykazali, podobnie, brak istotnych różnic dla masy pozostałości tuszki, podrobów oraz mięśni piersiowych i mięśni nóg kurcząt rzeźnych Ross 308, gdzie zastosowano glinokrzemiany do paszy i ściółki. Wiele badań potwierdziło wysoką zdolność minerałów w ograniczaniu negatywnego wpływu toksycznych związków, w tym tych obecnych w paszach. Główną uwagę zwraca się na mikotoksyny takie jak: aflatoksyna, ochratoksyna, zaralenenon czy fumonizyny. Ochronne działanie na organizm ptaków żywionych dodatkiem mikotoksyn w paszy potwierdzono poprzez zastosowanie różnych minerałów krzemianowych takich jak: bentonit (Bhatti i in., 2017; Ghazalah i in., 2021; Pappas i in., 2014), zeolit (Al-Waheeb i in., 2022; Raj i in., 2021; Sumantri i in., 2019) czy haloizyt (Kulok i in., 2005). W związku z powyższym glinokrzemianom przypisuje się zdolność wiązania toksycznych substancji w przewodzie pokarmowym, co przekłada się na funkcję detoksykacyjną (Nadziakiewicz i in., 2023). Potencjalnie występuje mniejsza konieczność przekształcania toksycznych związków w substancje neutralne dla organizmu ptaków przez wątrobę. W badaniach własnych nie stosowano, ani nie badano zawartości, potencjalnie występujących alfatoksyn w paszy dla kaczek, jednakże opisane mechanizmy mogą sugerować ochronne działanie minerałów na wątrobę ptaków, co prawdopodobnie miało wpływ na jej masę (**doświadczenie 2.**).

W badaniach Pavlaka i in. (2022) wykazano większą masę tłuszczu sadełkowego oraz trzustki kurcząt rzeźnych żywionych mieszanką paszową z dodatkiem zeolitu na poziomie 0,25 i 0,5% ($P < 0,05$). Cytowani autorzy sugerowali, że zmiany te mogą wynikać z lepszej strawności składników odżywczych z paszy po zastosowaniu minerału, a potencjalna zdolność zeolitu do stymulacji wydzielania enzymów trawiennych mogła przyczynić się do większej masy trzustki. Brak wpływu zeolitu w dawkach na poziomie 5, 10, 15 lub 20 g/kg paszy i wielkościach cząsteczek (1 i 2 mm) na masę mięśni piersiowych, żołądka mięśniowego i wątroby potwierdzili Abdelrahman i in. (2023). Podobne wyniki przedstawili Tatar i in. (2012), stosując 2% i 4% dodatku zeolitu oraz perlitu w żywieniu kurcząt rzeźnych przez 42 dni odchowu.

Glinokrzemiany zawierają w swoim składzie makro- i mikroelementy, które mogą korzystnie wpływać na większe przyrosty masy ciała, a tym samym większą masę mięśni piersiowych kurcząt (AlMaswari i in., 2023). Również Al-Beitawi i in. (2017) zwrócili uwagę na potencjalny wpływ jonów Na^+ , K^+ oraz Ca^{2+} w zwiększaniu masy ciała i organów po zastosowaniu 1,5% dodatku minerałów ilastych w żywieniu drobiu rzeźnego. Mogłoby to potwierdzać wyniki dotyczące większej masy mięśni piersiowych porównując grupę C×M i Z×M (**doświadczenie 1.**), a także większej masy wątroby ptaków z grup doświadczalnych w porównaniu do kontrolnych w **doświadczeniu 2.**

Zdolność do spowalniania przepływu treści jelitowej oraz tymczasowego wiązania składników odżywczych przez minerały krzemianowe może sprzyjać efektywniejszemu trawieniu i wchłanianiu składników pokarmowych, w tym białka z paszy. Zbyt duża ilość wybranych składników pokarmowych, które nie zostaną wykorzystane przez organizm mogą być odkładane w postaci tłuszczu sadełkowego (Pavlak i in., 2023).

Analizując cechy rzeźne samców z **doświadczenia 1.** wykazano istotnie większą masę wątroby, a z **doświadczenia 2.** żołądka mięśniowego w porównaniu do samic. Ponadto, samice z **doświadczenia 2.** charakteryzowała istotnie większa masa mięśni piersiowych, całkowita masa mięśni oraz tłuszczu sadełkowego. W obu doświadczeniach w tuszkach samców stwierdzono większą masę pozostałości. Wasilewski i in. (2015) również wykazali większą masę żołądka samców kaczek Pekin SM3 Heavy po siedmiu tygodniach odchowu ($P \leq 0,05$). Cytowani autorzy wykazali również brak zmian w masie oraz procentowym udziale wątroby i serca. Zdaniem Adamskiego i in. (2011) istotnie większa masa i procentowy udział skóry z tłuszczem podskórnym charakteryzował tuszki samic, a większa masa pozostałości tuszki samców, co potwierdzono w doświadczeniu na kaczkach Pekin P55 po 49. dniach odchowu.

W badaniach Kowalskiej i in. (2020) w tuszkach samic kaczek Cherry Valley po 8. tygodniach odchowu stwierdzono istotnie większą masę tłuszczu sadełkowego (σ^2 21,55 g; ϕ 28,33 g), a u samców większą masę żołądka mięśniowego (σ^2 110,17 g; ϕ 96,46 g) i wątroby (σ^2 80,70 g; ϕ 66,80 g). Koreponduje to z wynikami badań własnych, gdzie relatywna masa tych elementów u samców wynosiła odpowiednio 0,49 g/100 g tuszki z podrobami, 4,53 g/100 g tuszki (**doświadczenie 2.**) oraz 3,68 g/100 g tuszki z podrobami (**doświadczenie 1.**), a u samic 0,69 g/100 g, 4,06 g /100 g (**doświadczenie 2.**) oraz 3,10 g/100 g tuszki z podrobami (**doświadczenie 1.**). Steczny i in. (2017) wykazali większą masę mięśni piersiowych i mięśni nóg u samców kaczek w porównaniu do samic. Autorzy sugerowali, iż zmiany te powiązane były z większą masą żołądków u samców, co mogło sprzyjać lepszemu trawieniu i wchłanianiu składników odżywczych z paszy, a tym samym większym przyrostom masy mięśniowej. Jednakże, w **doświadczeniu 2.** większa masa żołądków u samców nie przełożyła się na większą masę mięśni piersiowych i całkowitą masę mięśni. Podobnie, porównując wyniki z grupy Z×M i Z×F (**doświadczenie 1.**), większa masa mięśni piersiowych wystąpiła w grupie, gdzie wykazano mniejszy żołądek. Istotnie większa zawartość tłuszczu sadełkowego w tuszkach samic (**doświadczenie 2.**), zgodnie ze stwierdzeniami przedstawionymi przez Kaewtapee'a i in. (2018), mogła być efektem różnic w wydzielaniu hormonów w zależności od płci. Cytowani autorzy analizowali wyniki produkcyjne oraz jakość mięsa 49-dniowych kaczek rzeźnych Cherry Valley obojga płci i uzasadnili, iż jajnik samic wydziela estrogen, który odpowiada za

syntezę lipoprotein żółtka, a lipidy obecne we krwi nie są wykorzystywane do produkcji jaj u kaczek rzeźnych, zatem odkładają się w postaci tłuszczu sadełkowego.

Niemniej jednak, powoływanie się na funkcjonowanie układu rozrodczego u tak młodych ptaków nie jest w pełni uzasadnione (Rondelli i in., 2003). W badaniach Benyi i in. (2015) zasugerowano, że odkładanie się tłuszczu w tuszkach samic kurcząt rzeźnych rozpoczyna się w szóstym tygodniu życia w porównaniu do samców, w przypadku których procesy związane z odkładaniem tłuszczu rozpoczynają się w ósmym tygodniu życia. Ponadto, zmiany te mogą być efektem różnic w metabolizmie oraz zapotrzebowaniu na poszczególne składniki pokarmowe (Tůmová i Teimouri, 2010).

3.4.3. Cechy fizykochemiczne mięśni

W doświadczeniu 1. istotnie mniejszą wartość pH mierzoną po 24 godzinach od uboju, wykazano w grupie Z×F w porównaniu do C×F. W grupach doświadczalnych stwierdzono istotnie mniejszą wartość pH mięsa w porównaniu do grup kontrolnych. Jednakże, mięśnie piersiowe kaczek żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu charakteryzowało wyższe pH mierzone po 24 godzinach od uboju w porównaniu do grupy kontrolnej (**doświadczenie 2.**). Koresponduje to z wynikami badań Hcini i in. (2018). Jak podają autorzy, istotnie wyższe pH charakteryzowało samce indyków rzeźnych, które żywiono mieszanką paszową z 2% dodatkiem zeolitu (pH = 5,94) w porównaniu do grupy kontrolnej (pH = 5,80). Pomimo istotnych różnic w wartości pH między grupami, poziom kwasowości był odpowiedni dla mięsa dobrej jakości – mięsa bez wad m. in. PSE. Ponadto, zmiany w wartości pH mogą wskazywać na różnice w tempie zachodzenia procesu glikolizy oraz obecności glikogenu w mięśniach na różnym poziomie (Nadziakiewicz i in., 2023; Onk i in., 2019; Wójcik i in., 2011). Zatem, sugeruje się, że wartość pH może być zróżnicowana ze względów osobniczych w okresie okołoubojowym.

Istotnie większą jasność (L^*) mięśni piersiowych stwierdzono w grupie C×M i Z×F w porównaniu do grupy C×F (**doświadczenie 1.**). Z drugiej strony, w **doświadczeniu 2.** wykazano istotnie mniejsze wysycenie barwą czerwoną i żółtą mięśni nóg kaczek z grup doświadczalnych. W przeciwieństwie do badań własnych, Hcini i in. (2018) wykazali brak różnic w parametrach barwy mięsa indyków rzeźnych żywionych mieszanką paszową z 1 i 2% dodatkiem zeolitu. Barwa mięsa zależy głównie od mioglobiny, jednakże duży wpływ na zaczerwienienie mięśni może mieć stres przedubojowy (Viana i in., 2017; Makarski i in., 2020), co wskazuje na niwelowanie negatywnych skutków stresu oksydacyjnego. Zdaniem Chenga i in. (2016) niektóre glinokrzemiany mają zdolność do wiązania barwników z paszy, co może

przekładać się na procesy oksydacji, które zachodzą w mięśniach i determinują ich barwę. W związku z tym sugeruje się, że zdolności adsorpcji barwników mogły determinować zmiany barwy mięsa kaczek w **doświadczeniu 2**.

Yang i in. (2016) stwierdzili istotnie mniejszą zawartość dialdehydu malonowego (MDA) w mięśniach nóg kurcząt rzeźnych Abor Acres, w odchowie których zastosowano pałygorskit z dodatkiem cynku. MDA stanowi marker stresu oksydacyjnego, a jego mniejsza zawartość potwierdzałaby ochronne działanie minerałów na tempo zachodzenia procesów oksydacyjnych. Zwiększone zdolności przeciwutleniające mięśni mogą wpływać na lepszą integrację błon komórkowych, a tym samym większą zdolność utrzymania wody, co nie koresponduje z wynikami z **doświadczenia 1.**, gdzie wykazano istotnie większą utratę wody z mięśni piersiowych kaczek żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem zeolitu. Zdaniem Qiao i in. (2001), mięso charakteryzujące się wyższym pH ma większą zdolność do zatrzymywania wody w przestrzeniach międzymięśniowych, co świadczy o jego właściwościach funkcjonalnych. W **doświadczeniu 1.**, takie zależności stwierdzono w mięśniach piersiowych kaczek, gdzie wartość pH w grupach doświadczalnych była istotnie mniejsza (5,84 i 5,83), jednocześnie wykazując większą utratę wody wyrażoną poprzez WHC (35,97% i 34,94%) w porównaniu do grup kontrolnych, gdzie wartość pH wyniosła 5,87 i 5,95, a WHC 32,68% oraz 31,29%.

W mięśniach piersiowych samców z grupy Z×M wykazano istotnie większą zawartość białka w porównaniu do grupy Z×F. Kaczki żywione mieszanką paszową z dodatkiem zeolitu wyróżniała większa zawartość białka i mniejsza zawartość wody w mięśniach nóg kaczek (**doświadczenie 1.**). Z kolei, u kaczek żywionych z dodatkiem haloizytu wykazano mniejszą zawartość białka w mięśniach nóg oraz większą zawartość tłuszczu śródmięśniowego, kolagenu i wody w porównaniu do grup kontrolnych (**doświadczenie 2.**).

Larina i in. (2020) wykazali istotnie większą zawartość białka w mięsie pozyskanym od gęsi rasy Lindovskaya, żywionych mieszanką paszową z 1% i 0,5% dodatkiem nanostrukturalnego zeolitu, na poziomie 18,9% i 18,3% oraz brak różnic w zawartości tłuszczu między grupami. Safaei i in. (2014) stwierdzili, że zeolit i bentonit nie miały wpływu na wybrane składniki chemiczne mięsa (woda, białko). Skład chemiczny mięsa, w tym zawartość białka zależy od składu paszy, ale przede wszystkim od potencjału genetycznego mieszańców towarowych (Marcu i in., 2013; Maharjan i in., 2021). Większa zawartość białka w mięśniach kaczek żywionych mieszanką paszową z dodatkiem zeolitu mogła wynikać z potencjalnie korzystnego wpływu zeolitu na przewód pokarmowy, co zwiększyło przyswajalność składników pokarmowych z paszy. Z drugiej strony, mniejsza zawartość tych związków

w mięsie kaczek pozyskanych z doświadczenia 2., może wynikać z charakterystycznej budowy i zdolności wchłaniania wody, które mogą negatywnie wpływać na trawienie składników pokarmowych, co opisano w niniejszej rozprawie (**rozdział 3.4.1**).

Zdaniem Saez i in. (2009), procesy związane z powstawaniem tłuszczu zachodzą głównie w wątrobie, a zawartość tłuszczu śródmięśniowego może być zależna od aktywności adipocytów – komórek tkanki tłuszczowej. W związku z tym, sugeruje się, że istotnie większa masa wątroby może być powiązana ze wzrostem zawartości tłuszczu śródmięśniowego (**doświadczenie 2.**).

W mięśniach piersiowych samców żywionych zeolitem stwierdzono większą zawartość białka i wody, a mniejszą zawartość soli i tłuszczu śródmięśniowego (**doświadczenie 1.**). W **doświadczeniu 2.** mięśnie piersiowe samców charakteryzowała mniejsza zawartość białka i soli, a większa tłuszczu śródmięśniowego. Zdaniem Kokoszyńskiego i in. (2021) mięśnie piersiowe samców kaczek Pekin i piżmowych charakteryzowała istotnie większa zawartość białka ($P=0,001$) i mniejsza zawartość tłuszczu śródmięśniowego ($P=0,001$) w porównaniu do samic, co nie koresponduje z wynikami **doświadczenia 2.** Istotnie większą zawartość białka w mięśniach piersiowych samic kaczek Pekin P55 po 49 dniach odchowu potwierdzono w badaniach Adamskiego i in. (2011). Ujemne, statystycznie istotne korelacje dla białka i tłuszczu śródmięśniowego w mięśniach piersiowych i nóg potwierdziły, iż większej zawartości białka towarzyszy mniejsza zawartość tłuszczu. W mięśniach nóg samców wykazano istotnie większą zawartość soli i wody, a mniejszą tłuszczu śródmięśniowego (**doświadczenie 1.**). Z kolei, mięśnie nóg samców żywionych mieszanką paszową z dodatkiem haloizytu charakteryzowała istotnie większa zawartość tłuszczu śródmięśniowego, a mniejsza kolagenu i soli. Wyniki obu doświadczeń częściowo korespondują z badaniami Bieska i in. (2021b), w których autorzy potwierdzili istotnie większą zawartość kolagenu (1,24%), soli (0,51%) i tłuszczu (5,43%) oraz mniejszą wody (74,42%) u samic kaczek Pekin Cherry Valley w porównaniu do samców, gdzie wartości tych parametrów kształtowały się odpowiednio na poziomie 1,09%, 0,48%, 4,21%, 75,10%.

3.4.4. Wytrzymałość jelit i kości

Samce z grupy kontrolnej oraz samice z grupy doświadczalnej charakteryzowała istotnie większa wytrzymałość kości piszczelowych w porównaniu do samców z grupy doświadczalnej (**doświadczenie 1.**). W badaniach Bieska i in. (2021a) nie wykazano istotnego wpływu zastosowania zeolitu u kaczek rzeźnych różnego pochodzenia (Cherry Valley i Orvia) na parametry wytrzymałości kości nóg oraz jelita czczego. Podobne wyniki zaprezentowali

Nadziakiewicz i in. (2023), gdzie wytrzymałość kości piszczelowych i udowych kurcząt rzeźnych Ross 308 żywionych mieszanką paszową z dodatkiem haloizytu nie różniła się istotnie między grupami. Zdaniem Safaeikatouli i in. (2012) mniejsza wartość wskaźnika wytrzymałości kości piszczelowej kurcząt żywionych paszą z 3% dodatkiem bentonitu oraz 3% dodatkiem zeolitu wskazuje na wysoki poziom mineralizacji kości, co mogło być efektem zastosowania minerałów. Ponadto, wyniki potwierdziły istotnie większe stężenie wapnia we krwi, a także procentową zawartość wapnia w kościach piszczelowych w grupie, gdzie zastosowano 3% dodatek zeolitu w porównaniu do grupy kontrolnej ($P < 0,05$). Jednakże, wytrzymałość kości samców z grupy Z×M była istotnie mniejsza w porównaniu do C×M, a samice nie różniła się istotnie między grupami, zatem można stwierdzić, że powyższe mechanizmy działania zeolitu nie determinowały wytrzymałości kości w badaniach własnych. Z drugiej strony, mogłyby wyjaśniać większą masę kości w grupie H×F (11,72 g) w porównaniu do grupy C×F (10,03 g), co wykazano w **doświadczeniu 2**.

Wytrzymałość jelit na rozciąganie stanowi wskaźnik stanowiący ważny aspekt dla higieny i szeroko rozumianego biobezpieczeństwa w trakcie obróbki technologicznej tuszek i mięsa. W czasie patroszenia, tuszki, które zostaną zanieczyszczone treścią jelitową (Bilgili i Hess, 1997), powinny zostać wyeliminowane z dalszego procesu przetwórczego, a to z kolei generuje straty ekonomiczne. Kolagen stanowi kluczową rolę w kształtowaniu wytrzymałości jelit na rozciąganie (Warren i Hamilton, 1980). Potencjalnie, może być to związane z lepszą wytrzymałością jelita czczego kaczek żywionych mieszanką paszową z dodatkiem haloizytu w **doświadczeniu 2**. Jednakże, wzrost zawartości kolagenu w ścianie śluzówki jelita zwiększa odległość między ścianą naczyń włosowatych, a błoną podstawną enterocytów. Zmiany te prowadzą do utrudnionego wchłaniania składników pokarmowych z paszy, a kolagen może stanowić fizyczną barierę wpływającą na ten proces. Mechanizmy te opisano w badaniach prowadzonych na tkankach ludzkich (Arutyunov i in., 2008). W związku z tym, sugeruje się, że większa wytrzymałość na rozciąganie jelit kaczek z grup doświadczalnych potencjalnie mogła wpływać na ograniczenie absorpcji związków odżywczych z paszy, co przełożyło się negatywnie na przyrosty kaczek.

3.5. WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników z obu doświadczeń można stwierdzić, że:

1. Zastosowanie 1% dodatku zeolitu do mieszanki paszowej pełnoporcjowej w odchowie kaczek rzeźnych nie wpływa negatywnie na wyniki produkcyjne wyrażone końcową masą ciała. Natomiast kaczory i kaczki o tym samym pochodzeniu żywione mieszanką paszową pełnoporcjową z 1% dodatkiem haloizytu uzyskują mniejszą masę ciała w porównaniu z kawkami żywionymi standardowymi mieszankami paszowymi pełnoporcjowymi.
2. Zarówno dodatek zeolitu i haloizytu do mieszanki paszowej pełnoporcjowej w odchowie kaczek rzeźnych nie wpływa negatywnie na wydajność rzeźną, umięśnienie i otluszczenie ptaków obojga płci. Jednakże, samice żywione mieszanką paszową z dodatkiem zeolitu wyróżnia najmniejsza masa mięśni piersiowych.
3. Zastosowanie glinokrzemianów, jako dodatku paszowego w odchowie kaczek Cherry Valley może wpłynąć na zdolność utrzymania wody w mięśniach piersiowych i nóg w przypadku zeolitu i zawartość białka oraz tłuszczu w mięśniach piersiowych w przypadku haloizytu.
4. Zarówno wytrzymałość kości, jak i jelita czczego u 42-dniowych kaczorów i kaczek nie uległa pogorszeniu po zakończonym odchowie, w czasie którego zastosowano mieszanki pełnoporcjowe z dodatkiem glinokrzemianów.

Wniosek dla praktyki:

Z uwagi na wyniki produkcyjne, wydajność i wartość rzeźną, umięśnienie oraz otluszczenie, a także cechy jakościowe mięsa, dla praktyki drobiarskiej można zalecić w odchowie kaczek rzeźnych zastosowanie 1% dodatku zeolitu do mieszanki paszowej pełnoporcjowej.

3.6. LITERATURA

- [1] Abdelrahman M.M., Al-Baadani H.H., Qaid M.M., Al-Garadi M.A., Suliman G.M., Alobre M.M., Al-Mufarrej S.I. 2023. Using natural zeolite as a feed additive in Broilers' diets for enhancing growth performance, carcass characteristics, and meat quality traits. *Life*, 13(7), 1548. <https://doi.org/10.3390/life13071548>
- [2] Adamski M., Kuźniacka J., Banaszak M., Wegner M. 2016. The analysis of meat traits of Sussex cockerels and capons (S11) at different ages. *Poult. Sci.* 95(1), 125-132. <https://doi.org/10.3382/ps/pev308>
- [3] Adamski M.P., Kowalczyk A.M., Łukaszewicz E.T., Korzeniowska M. 2011. Effects of sex and inclusion of dried distillers grains with solubles on slaughter yield and meat characteristics of Pekin ducks. *Br. Poult. Sci.* 52(6), 742-749. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.639745>
- [4] Al-Beitawi N.A., Momani Shaker M., El-Shuraydeh K.N., Bláha J. 2017. Effect of nanoclay minerals on growth performance, internal organs and blood biochemistry of broiler chickens compared to vaccines and antibiotics. *J. Appl. Anim. Res.* 45(1), 543-549. <https://doi.org/10.1080/09712119.2016.1221827>
- [5] AlMaswari S., Alkhader A., Alamery M., Hashim A., AlHasani M. 2023. The Effect of Zeolite and Organic Acids Supplement on the Performance, Carcass Traits and Blood Parameters of Broiler Chickens. *Yemeni Journal of Agriculture & Veterinary Sciences*, 4(1).
- [6] AL-musawy S.A.A.A., Mohammed M.F., Thamer M.K., AL-musawy A.A.A. 2023. Effect of adding Zeolite powder in broiler diet on performance, some physiological and biochemical traits. *Acta Biomed.* 94(2), e2023090.
- [7] Al-Waheeb M.J.K., Al-Shukri A.Y.A.N. 2022. Effect of adding zeolite to the diet containing mycotoxins on some Productive traits of broilers exposed to heat stress. *Int. J. Spec. Educ.* 37(3).
- [8] Arutyunov G.P., Kostyukevich O.I., Serov R.A., Rylova N.V., Bylova N.A. 2008. Collagen accumulation and dysfunctional mucosal barrier of the small intestine in patients with chronic heart failure. *Int. J. Cardiol.* 125, 240-245.
- [9] Atyaksheva L.F., Kasyanov I.A. 2021. Halloysite, natural aluminosilicate nanotubes: structural features and adsorption properties (a review). *Pet. Chem.* 61, 932-950.
- [10] Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z. 2018. Cechy kształtujące jakość mięsa drobiowego®. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, (2), 90-96.

- [11] AVEC Annual Report. 2024. Data dostępu: 04.05.2025 r. <https://avec-poultry.eu/resources/annual-reports/>.
- [12] Banaszak M., Biesek J., Adamski M. 2021. Growth performance and meat quality from broiler chickens reared with zeolite and halloysite in feed and straw pellet. Anim. Sci. J. 92(1), e13649. <https://doi.org/10.1111/asj.13649>
- [13] Banaszak M., Biesek J., Adamski M. 2022. Research Note: Growth and meat features of broiler chicken with the use of halloysite as a technological additive to feed and peat litter. Poult. Sci. 101(1), 101543. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101543>
- [14] Banaszak M., Biesek J., Bogucka J., Dankowiakowska A., Olszewski D., Bigorowski B., Grabowicz M., Adamski, M. 2020a. Impact of aluminosilicates on productivity, carcass traits, meat quality, and jejunum morphology of broiler chickens. Poult. Sci. 99(12), 7169-7177. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.073>
- [15] Banaszak M., Kuźniacka J., Biesek J., Maiorano G., Adamski M. 2020b. Meat quality traits and fatty acid composition of breast muscles from ducks fed with yellow lupin. Animal, 14(9), 1969-1975. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000610>
- [16] Barbut S. 2024. Measuring water holding capacity in poultry meat. Poult. Sci. 103(5), 103577. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103577>
- [17] Benyi K., Tshilate T.S., Netshipale A.J., Mahlako K.T. 2015. Effects of genotype and sex on the growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. Trop. Anim. Health Prod. 47, 1225-1231.
- [18] Bhatti S.A., Khan M.Z., Hassan Z.U., Saleemi M.K., Saqib M., Khatoon A., Akhter M. 2017. Comparative efficacy of Bentonite clay, activated charcoal and *Trichosporon mycotoxinivorans* in regulating the feed-to-tissue transfer of mycotoxins. J. Sci. Food Agric. 98(3), 884-890. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8533>
- [19] Biesek J., Banaszak M., Adamski M. 2021a. Ducks' growth, meat quality, bone strength, and jejunum strength depend on zeolite in feed and long-term factors. Animals, 11(4), 1015. <https://doi.org/10.3390/ani11041015>
- [20] Biesek J., Banaszak M., Grabowicz M., Właźlak S., Adamski M. 2022a. Production Efficiency and Utility Features of Broiler Ducks Fed with Feed Thinned with Wheat Grain. Animals, 12(23), 3427. <https://doi.org/10.3390/ani12233427>
- [21] Biesek J., Banaszak M., Kądziołka K., Właźlak S., Adamski M. 2022b. Growth of broiler chickens, and physical features of the digestive system, and leg bones after aluminosilicates used. Sci. Rep. 12(1), 20425. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25003-w>

- [22] Biesek J., Banaszak M., Kuźniacka J., Adamski M. 2021b. Characteristics of carcass and physicochemical traits of meat from male and female ducks fed a diet based on extruded soybean. *Poult. Sci.* 100(7), 101170. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101170>
- [23] Bilgili S.F., Hess J.B. 1997. Tensile strength of broiler intestines as influenced by age and feed withdrawal. *J. Appl. Poult. Res.* 6(3), 279-283.
- [24] Bish D.L. 2013. Parallels and distinctions between clay minerals and zeolites. *Developments in Clay Science*, 5, 783-800. Elsevier.
- [25] Biyatmoko D., Juhairiyah B.P., Santoso U., Rostini T. 2021. The phytobiotic effect of herbs as a growth promoter on the performance and digestibility of alabio meat ducks. *Lives. Res. Rural Dev.* 33(5), 1-11.
- [26] Bolandi N., Hashemi S.R., Davoodi D., Dastar B., Hassani S., Ashayerizadeh A. 2021. Performance, intestinal microbial population, immune and physiological responses of broiler chickens to diet with different levels of silver nanoparticles coated on zeolite. *Ital. J. Anim. Sci.* 20(1), 497-504. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1892546>
- [27] Brigatti M.F., Galan E., Theng B.K.G. 2013. Structure and mineralogy of clay minerals. *Developments in Clay Science*, 5, 21-81.
- [28] Budnik S. 2017. Wpływ chelatów Zn, Cu i Mn hydroksy analogu metioniny na wyniki produkcyjne i jakość mięsa kurcząt brojlerów. Rozprawa doktorska, UTP—Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz, Polska.
- [29] Chaityasing R., Srinontong P., Aengwanich W., Promsatit S., Cahyadi D.D., Wandee J. 2024. Effects of Different Feeding Frequencies on Broiler Chickens' Growth Performance and Intestinal Villus Development. *Trends Sci.* 21(2), 7353-7353. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7353>
- [30] Chen Y., Cheng Y., Wen C., Kang Y., Wang A., Zhou Y. 2018. Effects of dietary synbiotic supplementation as an alternative to antibiotic on the growth performance, carcass characteristics, meat quality, immunity, and oxidative status of cherry valley ducks. *J. Poult. Sci.* 55(3), 182-189. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0170128>
- [31] Cheng Y.F., Chen Y.P., Li X.H., Yang W.L., Wen C., Zhou Y.M. 2016. Effects of palygorskite inclusion on the growth performance, meat quality, antioxidant ability, and mineral element content of broilers. *Biol. Trace Elem. Res.* 173, 194-201.
- [32] Choi I.H. 2018. A study on duck growth performance and economic benefits on using illite as a feed additive-a field study. *J. Environ. Sci.* 27(9), 803-807. <https://doi.org/10.5322/JESI.2018.27.9.803>

- [33] Chung T.H. 2018. Evaluation of the effects of a combination of silicate minerals in duck diets on growth performance and litter quality. *J. Environ. Sci. Int.* 27(10), 933-936.
- [34] Chung Y.H., Choi I.H. 2019. Comparison of bentonite and illite on the growth performance and litter quality of duck. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 7(6), 522-525. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2019/7.6.522.525>
- [35] Cousins P. 2018. Golden standard of the "Cherry Valley" ducks. Value of productivity traits of the commercial livestock of Pekin "Cherry Valley" duck. *Zhivotnovodstvo Rossii*, 5, 16-18.
- [36] Damato A., Vianello F., Novelli E., Balzan S., Giancesella M., Giaretta E., Gabai G. 2022. Comprehensive review on the interactions of clay minerals with animal physiology and production. *Front. Vet. Sci.* 9, 889612. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.889612>
- [37] Damaziak K., Marchewka J., Wójcik W., Sztandarski P. 2025. Assessment of Welfare of Pekin Ducks Reared in Intensive Production System in Poland Using Transect Method. *Ann. Anim. Sci.* 25(1), 329-342.
- [38] Dunisławska A., Biesek J., Banaszak M., Siwek M., Adamski M. 2022. Effect of zeolite supplementation on gene expression in the intestinal mucosa in the context of immunosafety support in poultry. *Genes*, 13(5), 732. <https://doi.org/10.3390/genes13050732>
- [39] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/63/UE z dnia 22 września 2010 r. w sprawie ochrony zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych.
- [40] Eroglu N., Emekci M., Athanassiou C.G. 2017. Applications of natural zeolites on agriculture and food production. *J. Sci. Food and Agric.* 97(11), 3487-3499. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8312>
- [41] Filice S., Bongiorno C., Libertino S., Compagnini G., Gradon L., Iannazzo D., La Magna A., Scalese S. 2021. Structural characterization and adsorption properties of Dunino raw halloysite mineral for dye removal from water. *Materials*, 14(13), 3676. <https://doi.org/10.3390/ma14133676>
- [42] Galić A., Filipović D., Pliestić S., Janječić Z., Bedeković D., Kovačev I., Čopeć K., Koronc, Z. 2019. The comparison of quality characteristics of Pekin duck and Cherry Valley duck eggs from free-range raising system. *J. Cent. Eur. Agric.* 20(4), 1099-1110. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/20.4.2432>
- [43] Ghazalah A.A., Abd-Elsamee M.O., Moustafa K.E.M., Khattab M.A., Rehan A.E.A. 2021. Effect of nanosilica and bentonite as mycotoxins adsorbent agent in broiler chickens' diet on growth performance and hepatic histopathology. *Animals*, 11(7), 2129. <https://doi.org/10.3390/ani11072129>

- [44] Grądzki Z., Jarosz Ł., Stępień-Pyśniak D., Marek A. 2020. The effect of feed supplementation with Transcarpathian zeolite (clinoptilolite) on the concentrations of acute phase proteins and cytokines in the serum and hepatic tissue of chickens. *Poult. Sci.* 99(5), 2424-2437. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.003>
- [45] Hcini E., Ben Slima A., Kallel I., Zormati S., Traore A.I., Gdoura R. 2018. Does supplemental zeolite (clinoptilolite) affect growth performance, meat texture, oxidative stress and production of polyunsaturated fatty acid of Turkey poult? *Lipids Health Dis.* 17, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0820-7>
- [46] Jalaludeen A., Churchil R.R. 2022. Duck production: an overview. *Duck production and management strategies*, 1-55.
- [47] Jarosz Ł., Stępień-Pyśniak D., Grądzki Z., Kapica M., Gacek A. 2017. The effect of feed supplementation with Zakarpacki zeolite (clinoptilolite) on percentages of T and B lymphocytes and cytokine concentrations in poultry. *Poult. Sci.* 96(7), 2091-2097. <https://doi.org/10.3382/ps/pex030>
- [48] Joussein E., Petit S., Churchman J., Theng B., Righi D., Delvaux B.J.C.M. 2005. Halloysite clay minerals—a review. *Clay minerals*, 40(4), 383-426.
- [49] Kaewtapee C., Prahkarnkao K., Bunchasak C. 2018. Effect of sex on growth curve, production performance and carcass quality of Cherry Valley ducks. *J. Appl. Anim. Res.* 11, 9–18.
- [50] Katouli M.S., Boldaji F., Dastar B., Hassani S. 2010. Effect of different levels of kaolin, bentonite and zeolite on broilers performance. *J. Biol. Sci.* 10(1), 58-62.
- [51] Khambualai O., Ruttanavut J., Kitabatake M., Goto H., Erikawa T., Yamauchi K. 2009. Effects of dietary natural zeolite including plant extract on growth performance and intestinal histology in Aigamo ducks. *Br. Poult. Sci.* 50(1), 123-130. <https://doi.org/10.1080/00071660802662788>
- [52] Khattab A.A., El Basuini M.F., El-Ratel I.T., Fouda S.F. 2021. Dietary probiotics as a strategy for improving growth performance, intestinal efficacy, immunity, and antioxidant capacity of white Pekin ducks fed with different levels of CP. *Poult. Sci.* 100(3), 100898. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.067>
- [53] Kokoszyński D., Arpášová H., Hrnčar C., Żochowska-Kujawska J., Kotowicz M., Sobczak M. 2020. Carcass characteristics, chemical composition, physicochemical properties, texture, and microstructure of meat from spent Pekin ducks. *Poult. Sci.* 99(2), 1232-1240. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.09.003>

- [54] Kokoszyński D., Wasilewski R., Stęczny K., Bernacki Z., Kaczmarek K., Saleh M., Wasilewski, P.D., Biegniewska, M. 2015. Comparison of growth performance and meat traits in Pekin ducks from different genotypes. *European Poultry Science/Archiv für Geflügelkunde*, 79(110).
- [55] Kokoszyński D., Wilkanowska A., Saleh M., Fik M., Bigorowski B. 2021. Comparison of some meat and liver quality traits in Muscovy and Pekin ducks. *J. Appl. Anim. Res.* 49(1), 118-124. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1895173>
- [56] Kowalska E., Kucharska-Gaca J., Kuźniacka J., Biesek J., Banaszak M., Adamski M. 2020. Effects of legume-diet and sex of ducks on the growth performance, physicochemical traits of meat and fatty acid composition in fat. *Sci. Rep.* 10(1), 13465. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70508-x>
- [57] Kulok M., Kolacz R., Dobrzanski Z., Wolska I. 2005. The influence of halloysite on the content of bacteria, fungi and mycotoxins in feed mixtures. In *Proceedings of the XIIth International Society for Animal Hygiene Congress*, Warsaw, Poland, 2, 354-357.
- [58] Kuźniacka J., Banaszak M., Adamski M. 2017. The analysis of meat and bone traits of Plymouth Rock cockerels and capons (P55) at different age. *Poult. Sci.* 96, 3169–3175. <https://doi.org/10.3382/ps/pex140>
- [59] Larina Y., Ezhkov V., Fayzrakhmanov R., Ezhkova A. 2020. Meat productivity and quality of goose meat when using nanostructural zeolite in feeding. *BIO Web of Conferences*, 27, 00028.
- [60] Le Gall-David S., Meuric V., Benzoni G., Valière S., Guyonvarch A., Minet J., Bonnaure-Mallet M., Barloy-Hubler, F. 2016. Effect of zeolite on small intestine microbiota of broiler chickens: a case study. *FNS.* 8(1), 163-188.
- [61] Maharjan P., Martinez D.A., Weil J., Suesuttajit N., Umberson C., Mullenix G., Hilton K.M., Beitia A., Coon C.N. 2021. Physiological growth trend of current meat broilers and dietary protein and energy management approaches for sustainable broiler production. *Animal*, 15, 100284. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100284>
- [62] Mahmoud U.T., Hassan R., Amen O., Abdel-Raheem G., Al-Rammamneh D. 2020. Effect of Prebiotic on the Behavioural Patterns, Performance, Carcass Characteristics, Antibody Titer and Some Blood Parameters of Mule Ducks. *SVU-Int. J. Vet. Sci.* 3(1), 27-38.
- [63] Makarski M., Niemiec T., Łozicki A., Pietrzak D., Adamczak L., Chmiel M., Florowski T., Koczoń P. 2020. The effect of silica-calcite sedimentary rock contained in the chicken

- broiler diet on the overall quality of chicken muscles. *Open Chemistry*, 18(1), 215-225. <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0022>
- [64] Marcu A., Vacaru-Opriş I., Dumitrescu G., Marcu A., Petculescu C.L., Nicula M., Dronca D., Kelcirov B. 2013. Effect of diets with different energy and protein levels on breast muscle characteristics of broiler chickens. *Anim. Sci. Biotechnol*, 46(1), 1-7.
- [65] Massaro M., Noto R., Riela S. 2020. Past, present and future perspectives on halloysite clay minerals. *Molecules*, 25(20), 4863. <https://doi.org/10.3390/molecules25204863>
- [66] Mastinu A., Kumar A., Maccarinelli G., Bonini S.A., Premoli M., Aria F., Gianoncelli A., Memo M. 2019. Zeolite clinoptilolite: Therapeutic virtues of an ancient mineral. *Molecules*, 24(8), 1517. <https://doi.org/10.3390/molecules24081517>
- [67] Murray H.H. 2006. Structure and composition of the clay minerals and their physical and chemical properties. *Developments in Clay Science*, 2, 7-31.
- [68] Nadziakiewicz M., Lis M.W., Micek P. 2021. The effect of dietary halloysite supplementation on the performance of broiler chickens and broiler house environmental parameters. *Animals*, 11(7), 2040. <https://doi.org/10.3390/ani11072040>
- [69] Nadziakiewicz M., Micek P., Wojtysiak D. 2023. Effects of dietary halloysite supplementation on broiler chicken's blood parameters, carcass and meat quality, and bone characteristics: a preliminary study. *Ann. Anim. Sci.* 23(1), 129-139.
- [70] Nadziakiewicz M., Kehoe S., Micek P. 2019. Physico-chemical properties of clay minerals and their use as a health promoting feed additive. *Animals*, 9(10), 714. <https://doi.org/10.3390/ani9100714>
- [71] Nuernberg G.B., Moreira M.A., Ernani P.R., Almeida J.A., Maciel T.M. 2016. Efficiency of basalt zeolite and Cuban zeolite to adsorb ammonia released from poultry litter. *J. Environ. Manag.* 183, 667-672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.062>
- [72] Onbaşilar E.E., Yalçın S. 2018. Fattening performance and meat quality of Pekin ducks under different rearing systems. *World's Poult. Sci. J.* 74(1), 61-68.
- [73] Onk K., Yalcintan H., Sari M., Isik S.A., Yakan A., Ekiz B. 2019. Effects of genotype and sex on technological properties and fatty acid composition of duck meat. *Poult. Sci.* 98(1), 491-499. <https://doi.org/10.3382/ps/pey355>
- [74] Ouhida I., Perez J.F., Piedrafita J., Gasa J. 2000. The effects of sepiolite in broiler chicken diets of high, medium and low viscosity. Productive performance and nutritive value. *Anim. Feed Sci. Technol.* 85(3-4), 183-194. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00148-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00148-6)

- [75] Pappas A.C., Tsiplakou E., Georgiadou M., Anagnostopoulos C., Markoglou A.N., Liapis K., Zervas G. 2014. Bentonite binders in the presence of mycotoxins: Results of in vitro preliminary tests and an in vivo broiler trial. *Appl. Clay Sci.* 99, 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.06.009>
- [76] Park J., Knape K., Carey J. 2019. Effects of a Commercial Beta-Mannanase Product on the Performance, Intestinal pH, and Digesta Viscosity of Pekin Ducks. *J. Appl. Poult. Res.* 28, 447-453.
- [77] Pavlak M.S., Kaufmann C., Eyng C., Carvalho P.L., Pozza P.C., Vieites F.M., Rohloff Junior N., Avila A.S., Polese C., Nunes R.V. 2023. Zeolite and corn with different compositions in broiler chickens feeding. *Poult. Sci.* 102(4), 102494. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102494>
- [78] Pavlak M.S.D., Nunes R.V., Eyng C., Viott A.M., Vieira B.S., Kaufmann C., Rohloff N., Santos N.C.C., Campos F.P., Cirilo E.H. 2022. Impact of various dietary levels of zeolite on broiler performance, digestibility, and carcass traits. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 52(3), 400-408. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v52i3.15>
- [79] Percie du Sert N., Hurst V., Ahluwalia A., Alam S., Avey M.T., Baker M., Browne W.J., Clark A., Cuthill I.C., Dirnagl U., Emerson M., Garner P., Holgate S.T., Howells D.W., Karp N.A., Lazic S.E., Lidster K., MacCallum C.J., Macleod M., Pearl E.J., Petersen O.H., Rawle F., Reynolds P., Ronney K., Sena E.S., Silberberg S.D., Steckler T., Würbel H. 2020. The ARRIVE guidelines 2.0: Updated guidelines for reporting animal research. *BMC Vet. Res.* 16, 242. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02451-y>
- [80] Pingel H., Germany L. 2011. Waterfowl production for food security. *Lohmann Information*, 46(2), 32-42.
- [81] Pirgozliev V., Rose S.P., Ivanova S. 2019. Feed additives in poultry nutrition. *Bulg. J. Agric. Sci.* 25(1), 8-11.
- [82] PN-A-82109:2010 Oznaczanie białka, tłuszczu i wody w mięsie. Metoda spektrometrii transmisyjnej w bliskiej podczerwieni (NIT) z wykorzystaniem kalibracji na sztucznych sieciach neuronowych (ANN), Lublin, Polska.
- [83] PN-EN ISO 13906:2009 Pasze – oznaczanie zawartości włókna kwaśnodetergentowego (ADF) i ligniny kwaśnodetergentowej (ADL).
- [84] PN-EN ISO 16472:2007 Pasze – oznaczanie zawartości włókna obojętnodetergentowego po traktowaniu amylazą (aNDF).
- [85] PN-EN ISO 5983-1:2006 Pasze – oznaczanie zawartości azotu i obliczanie zawartości białka surowego – Część 1: Metoda Kjeldahla.

- [86] PN-EN ISO 6492:2005 Pasze – oznaczanie zawartości tłuszczu.
- [87] PN-ISO 6496:2002 Pasze – oznaczanie wilgotności i zawartości innych substancji lotnych.
- [88] PN-ISO 6865:2002 Pasze – oznaczanie zawartości włókna surowego – metoda z pośrednią filtracją.
- [89] PN-R-64785:1994 – Pasze. Oznaczanie zawartości skrobi metodą polarymetryczną.
- [90] Prasai T.P., Walsh K.B., Bhattarai S.P., Midmore D.J., Van T.T., Moore R.J., Stanley D. 2016. Biochar, bentonite and zeolite supplemented feeding of layer chickens alters intestinal microbiota and reduces campylobacter load. PLoS One, 11(4), e0154061. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154061>
- [91] Qiao M., Fletcher D.L., Smith D.P., Northcutt J.K. 2001. The effect of broiler breast meat color on pH, moisture, water-holding capacity, and emulsification capacity. Poult. Sci. 80(5), 676-680. <https://doi.org/10.1093/ps/80.5.676>
- [92] Qu H., Cheng Y., Chen Y., Li J., Zhao Y., Zhou Y. 2019. Effects of dietary zeolite supplementation as an antibiotic alternative on growth performance, intestinal integrity, and cecal antibiotic resistance genes abundances of broilers. Animals, 9(11), 909. <https://doi.org/10.3390/ani9110909>
- [93] Raj J., Vasiljević M., Tassis P., Farkaš H., Bošnjak-Neumüller J., Männer K. 2021. Effects of a modified clinoptilolite zeolite on growth performance, health status and detoxification of aflatoxin B1 and ochratoxin A in male broiler chickens. Br. Poult. Sci. 62(4), 601-610. <https://doi.org/10.1080/00071668.2021.1891522>
- [94] Rondelli S., Martinez O., Garcia P.T. 2003. Sex effect on productive parameters, carcass and body fat composition of two commercial broilers lines. Braz. J. Poult. Sci. 5, 169-173.
- [95] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 152/2009 z dnia 27 stycznia 2009 r. ustanawiające metody pobierania próbek i dokonywania analiz do celów urzędowej kontroli pasz.
- [96] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 czerwca 2010 r. w sprawie minimalnych warunków utrzymania gatunków zwierząt gospodarskich innych niż te, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej (Dziennik Ustaw, poz. 1966).
- [97] Saez G., Davail S., Gentes G., Hocquette J.F., Jourdan T., Degrace P., Baéza E. 2009. Gene expression and protein content in relation to intramuscular fat content in Muscovy and Pekin ducks. Poult. Sci. 88(11), 2382-2391. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00208>

- [98] Safaei M., Boldaji F., Dastar B., Hassani S., Mutalib M.S.A., Rezaei R. 2014. Effects of inclusion kaolin, bentonite and zeolite in dietary on chemical composition of broiler chickens meat. *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 9(1), 56-63.
- [99] Safaeikatouli M., Boldaji F., Dastar B., Hassani S. 2012. Growth response and tibia bone characteristics in broilers fed diets containing kaolin, bentonite and zeolite. *J. Anim. Feed Sci.* 21(2), 334-344. <https://doi.org/10.22358/jafs/66085/2012>
- [100] Safaeikatouli M., Jafariahangari Y., Baharlouei A. 2011. An evaluation on the effects of dietary kaolin and zeolite on broilers blood parameters, T4, TSH and growth hormones. *Pakistan J. Nutr.* 10(3), 233-237.
- [101] Schneider A.F., Almeida D.D., Yuri F.M., Zimmermann O.F., Gerber M.W., Gewehr C.E. 2016. Natural zeolites in diet or litter of broilers. *Br. Poult. Sci.* 57(2), 257-263.
- [102] Shariatmadari F. 2008. The application of zeolite in poultry production. *World's Poult. Sci. J.* 64(1), 76-84. <https://doi.org/10.1017/S0043933907001730>
- [103] Smulikowska S., Rutkowski A. 2018. Nutritional recommendations and nutritional value of poultry. feeds. In *Cooperative Work. Fifth Edition—Changed and Supplemented.* Polish Academy of Science, Institute of Physiology and Animal Nutrition, Jabłonna, Poland, 2019, 58–65 ISBN 978-83-951612-1-6.
- [104] Stanisław A. 2006. *Przystępny kurs statystyki: z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Statystyki podstawowe.* StatSoft Polska, Kraków.
- [105] Steczny K., Kokoszynski D., Bernacki Z., Wasilewski R., Saleh M. 2017. Growth performance, body measurements, carcass composition and some internal organ characteristics in young Pekin ducks. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 47, 399-406.
- [106] Sumantri I., Herliani H., Rajibi A.N., Edriantina R. 2019. Effects of zeolite inclusion in aflatoxin B1-contaminated diet on the performance of laying duck. *J. Indones. Trop. Anim. Agric.* 44(3), 277-285. <https://doi.org/10.14710/jitaa.44.3.277-285>
- [107] Sumarmono J. 2019. Duck production for food security. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 372 (1).
- [108] Tatar A., Boldaji F., Dastar B., Hassani S., Yalçın S. 2012. Effects of dietary supplementation with perlite and zeolite on performance, litter quality and carcass characteristics of broilers from 7-42 days of age. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.* 3(6), 1148-1154.
- [109] Tengjaroenkul B., Saksangawong C., Wongtangtintan S., Tengjaroenkul U., Ratanasinthuphong K., Srikacha N., Neeratanaphan L. 2016. Efficacy of Thai bentonite to

- ameliorate the adverse effects of aflatoxin and fumonisin contaminated diets in Cherry Valley ducks. *Livest. Res. Rural Dev.* 28(12).
- [110] TIBCO Software, 2017. Statistica ver. 13.3.0. Statsoft TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA, Kraków, Polska.
- [111] Tůmová E., Teimouri A.J.S.A.B. 2010. Fat deposition in the broiler chicken: a review. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 41(2), 121-128.
- [112] Ustawa z dnia 15 stycznia 2015 r. o ochronie zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych lub edukacyjnych.
- [113] Viana F.M., Canto A.C.V.C.S., Costa-Lima B.R.C., Salim A.P.A.A., Junior C.C. 2017. Color stability and lipid oxidation of broiler breast meat from animals raised on organic versus non-organic production systems. *Poult. Sci.* 96(3), 747-753. <https://doi.org/10.3382/ps/pew331>
- [114] Wang Y., Wang B., Liu Q., Fan C., Li J., Zhou Y., Zhuang S. 2019. Palygorskite supplementation improves growth performance, oxidative status, and intestinal barrier function in cherry valley ducks. *J. Poult. Sci.* 56(3), 186-194. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0180041>
- [115] Warren M.F., Hamilton P.B. 1980. Intestinal fragility during ochratoxycosis and aflatoxicosis in broiler chickens. *Appl. Environ. Microbiol.* 40, 641-645.
- [116] Wasilewski R., Kokoszyński D., Mieczkowska A., Bernacki Z., Górská A. 2015. Structure of the digestive system of ducks depending on sex and genetic background. *Acta Vet. Brno*, 84(2), 153-158.
- [117] Wawrzyniak A., Kapica M., Stępień-Pyśniak D., Szewerniak R., Olejarska A., Jarosz Ł. 2017. Effect of feeding transcarpathian zeolite on gastrointestinal morphology and function in broiler chickens. *Braz. J. Poult. Sci.* 19, 737-746. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0360>
- [118] Wójcik A., Pomianowski J.F., Sowińska J., Mituniewicz T., Witkowska D., Chorąży Ł., Piotrowska J. 2011. Wpływ obrotu przedubojowego kurcząt brojlerów na jakość technologiczną mięsa. *Inż. Ap. Chem.* 50(3), 85-86.
- [119] Yalçın S., Gebeş E.S., Şahin A., Duyum H.M., Escibano F., Ceylan A. 2017. Sepiolite as a feed supplement for broilers. *Appl. Clay Sci.* 148, 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.007>
- [120] Yang W.L., Chen Y.P., Cheng Y.F., Li X.H., Zhang R.Q., Wen C., Zhou Y.M. 2016. An evaluation of zinc bearing palygorskite inclusion on the growth performance, mineral

content, meat quality, and antioxidant status of broilers. *Poult. Sci.* 95(4), 878-885.

<https://doi.org/10.3382/ps/pev445>

- [121] Zhao P.Y., Ao X., Zhao W., Zhou L. 2025. Effects of different energy and protein levels on growth performance, carcass traits, and meat quality of Pekin ducks. *Front. Vet. Sci.* 12, 1438526. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1438526>
- [122] Zhou P., Tan Y.Q., Zhang L., Zhou Y.M., Gao F., Zhou G.H. 2014. Effects of dietary supplementation with the combination of zeolite and attapulgite on growth performance, nutrient digestibility, secretion of digestive enzymes and intestinal health in broiler chickens. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 27(9), 1311.

4. STRESZCZENIE

Zastosowanie glinokrzemianów w odchowie kaczek rzeźnych

mgr inż. Sebastian Właźlak

Słowa kluczowe: zeolit, haloizyt, kaczka, efektywność produkcji, jakość mięsa

Celem badań była analiza wyników produkcyjnych, cech tuszek, właściwości fizykochemicznych mięsa i fizycznych kości nóg oraz jelita czczego samców i samic kaczek rzeźnych Cherry Valley żywionych mieszanką paszową pełnoporcjową z 1% dodatkiem zeolitu (Z, D1) lub haloizytu (H, D2) w czasie 42-dniowego odchovu. W każdym z doświadczeń 200 sztuk 1-dniowych kacząt podzielono na 4 równoliczebne grupy (po 50 sztuk), w 5 powtórzeniach każda. Wyróżniono grupy kontrolne samców C×M (D1, D2), grupy kontrolne samic C×F (D1, D2), grupy doświadczalne samców Z×M i H×M oraz grupy doświadczalne samic Z×F i H×F. Analizowano przeżywalność, masę ciała, przyrosty masy, spożycie paszy, współczynnik wykorzystania paszy oraz europejski wskaźnik efektywności produkcji. Z każdej grupy oceniono skład 10 tuszek oraz cechy jakościowe mięsa. Wykonano analizy wytrzymałościowe kości udowych i piszczelowych, a także jelit czczych. Zastosowanie 1% dodatku zeolitu do paszy nie wpłynęło negatywnie na masę ciała kaczek, a w grupach doświadczalnych, gdzie zastosowano 1% dodatku haloizytu do paszy wykazano mniejszą masę ciała kaczek po 42 dniach odchovu. Większą masę mięśni piersiowych stwierdzono w grupie Z×M w porównaniu do C×M i Z×F (D1), a także w grupach H×F i C×F w porównaniu do H×M (D2). W mięśniach piersiowych kaczek żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem zeolitu stwierdzono większą utratę wody, a w mięśniach nóg większą zawartość białka i mniejszą zawartość wody w porównaniu do grup kontrolnych. W D2, mięśnie piersiowe kaczek żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu charakteryzowało wyższe pH, mniejsza zawartość białka i większa zawartość tłuszczu. W mięśniach nóg wykazano mniejsze wysycenie barwą czerwoną i żółtą w porównaniu do grup kontrolnych. Większą wytrzymałość kości piszczelowych wykazano w grupie Z×F w porównaniu do grupy Z×M. Jelita czcze kaczek żywionych mieszanką paszową z 1% dodatkiem haloizytu charakteryzowała większa wytrzymałość na rozciąganie. Uzyskane wyniki pozwoliły rekomendować zastosowanie 1% dodatku zeolitu do mieszanki paszowej pełnoporcjowej typu starter i grower dla kaczek rzeźnych Cherry Valley.

5. ABSTRACT

The use of aluminosilicates in broiler duck rearing

Sebastian Wlaźlak, M.Eng.

Key words: zeolite, halloysite, duck, production efficiency, meat quality

The study aimed to analyze the production results, carcass characteristics, physicochemical properties of meat, and physical properties of leg bones and jejunum of male and female Cherry Valley ducks fed a commercial diet with 1% zeolite (Z, E1) or halloysite (H, E2) during 42 days of rearing. In each experiment, 200 1-day-old ducklings were divided into 4 equal groups (50 each) in 5 replicates. Control groups of males C×M (E1, E2), control groups of females C×F (E1, E2), experimental groups of males Z×M and H×M, and experimental groups of females Z×F and H×F were distinguished. Viability, body weight, weight gain, feed intake, feed conversion ratio, and the European production efficiency factor were analyzed. The composition of 10 carcasses and the meat quality characteristics were assessed from each group. Strength analyses of femurs, tibiae, and jejuna were performed. Using a 1% zeolite supplement to feed did not negatively affect the body weight of the ducks. In the experimental groups where a 1% halloysite supplement was used to feed, a lower body weight of ducks was demonstrated after 42 days of rearing. A higher weight of breast muscles was found in the Z×M group compared to C×M and Z×F (E1), as well as in the H×F and C×F groups compared to H×M (E2). In the breast muscles of ducks fed with 1% zeolite supplement, a higher water loss was found, and in the leg muscles, a higher protein content, and a lower water content were found compared to the control groups. In E2, the breast muscles of ducks fed the feed mixture with 1% halloysite supplement were characterized by a higher pH, lower protein, and higher fat content. A lower redness and yellowness were demonstrated in the leg muscles compared to the control group. A higher strength of tibiae was shown in the Z×F group compared to the Z×M group. The jejuna of ducks fed a feed with 1% halloysite addition were characterized by higher tensile strength. The obtained results allowed to recommend a 1% zeolite addition to the commercial diet of starter and grower types for Cherry Valley broiler ducks.

6. ZAŁĄCZNIKI

6.1. KOPIE ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH STANOWIĄCYCH CYKL PUBLIKACJI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

6.2. OŚWIADCZENIE AUTORA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

6.3. OŚWIADCZENIA WSPÓŁAUTORÓW ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH

