

AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

DR INŻ. SEBASTIAN OPALIŃSKI

**UNIWERSYTET PRZYRODNICZY WE WROCŁAWIU
WYDZIAŁ BIOLOGII I HODOWLI ZWIERZĄT
KATEDRA HIGIENY ŚRODOWISKA I DOBROSTANU ZWIERZĄT**

WROCŁAW, PAŹDZIERNIK 2015

Spis treści

1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
3. Prace stanowiące szczególne osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) pod wspólnym tytułem: „Wykorzystanie glinokrzemianów w ograniczaniu uciążliwości zapachowej generowanej przez intensywną produkcję zwierzęcą”	4
4. Opis szczególnych osiągnięć naukowych pod tytułem: „Wykorzystanie glinokrzemianów w ograniczaniu uciążliwości zapachowej generowanej przez intensywną produkcję zwierzęcą”	5
4.1 Zastosowanie wybranych glinokrzemianów w ograniczaniu koncentracji amoniaku oraz innych związków uciążliwych zapachowo generowanych w pomieszczeniach inwentarskich.....	9
4.2 Ocena potencjalnych możliwości zagospodarowania wykorzystanych do aerofiltracji sorbentów pod kątem zagospodarowania ich w procesie produkcji klinkieru oraz jako nawozu mineralnego	12
4.3 Podsumowanie.....	14
5. Towarzyszące osiągnięcie naukowo-badawcze pod tytułem: "Wykorzystanie drożdży wzbogacanych biopierwiastkami w intensywnym chowie drobiu nieśnego"	15

1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Urodziłem się 23 kwietnia 1976 roku we Wrocławiu. W latach 1983-1991 uczęszczałem do Państwowej Podstawowej Szkoły Muzycznej i Państwowego Liceum Muzycznego im. Karola Szymanowskiego znajdujących się we Wrocławiu przy ulicy Łowieckiej. Podczas nauki w szkole muzycznej instrumentem wiodącym był fortepian, a dodatkowymi fagot i kontrabas. Od roku 1991 do 1995 byłem uczniem IX Liceum Ogólnokształcącego im. Juliusza Słowackiego we Wrocławiu, w klasie z poszerzonym językiem angielskim. Egzamin maturalny zdałem w 1995 r.

W latach 1995-2001 studiowałem na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej, kierunek Biotechnologia, specjalność Chemia środowiska. W roku 2001 uzyskałem dyplom magistra inżyniera chemii o specjalności Chemia środowiska. Podczas studiów uczestniczyłem w programie Socrates-Erasmus i wyjechałem na czteromiesięczne stypendium naukowe do Gandawy (Belgia), gdzie w Katholieke Hogeschool Sint-Lieven - Department KIHO realizowałem projekt badawczy pod kierunkiem prof. Guido Aerts'a.

W latach 2001-2005 byłem słuchaczem Studiów Doktoranckich na Wydziale Biologii i Hodowli Zwierząt Akademii Rolniczej we Wrocławiu. W dniu 26 czerwca 2006 roku obroniłem pracę doktorską pt. „Zastosowanie różnych sorbentów chemicznych do biofiltracji powietrza w pomieszczeniach laboratoryjnych i wivariach dla zwierząt” (promotor prof. dr hab. Zbigniew Dobrzański) i uzyskałem tytuł doktora nauk rolniczych w zakresie zootechniki.

2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 1 sierpnia 2006 r. do chwili obecnej jestem zatrudniony w Katedrze Higieny Środowiska i Dobrostanu Zwierząt Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu na stanowisku adiunkta.

Mój dorobek naukowy obejmuje 126 prac (łącznie z pracami stanowiącymi szczególne osiągnięcie naukowe), w tym 47 oryginalnych prac naukowych (29 w bazie *Journal Citation Reports*), 59 prac w materiałach z konferencji o zasięgu krajowym i międzynarodowym, 3 patenty, 5 zgłoszeń patentowych, 7 artykułów popularnonaukowych, 1 ekspertyzę oraz 4 rozdziały w monografiach. Sumaryczny Impact Factor wszystkich prac opublikowanych w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR wynosi 19.321, a suma punktów wg list Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego z roku wydania pracy wynosi 600. Całkowita liczba cytowań wszystkich prac w bazie *Web of Science* wynosi 88, a indeks Hirscha = 6.

3. **Prace stanowiące szczególne osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) pod wspólnym tytułem: „Wykorzystanie glinokrzemianów w ograniczaniu uciążliwości zapachowej generowanej przez intensywną produkcję zwierzęcą”**
- 3.1 **Opaliński S.**, Korczyński M., Kołacz R., Dobrzański Z., Żmuda K. 2009. Application of selected aluminosilicates for ammonia adsorption. [Zastosowanie wybranych glinokrzemianów jako adsorbentów amoniaku.] *Przemysł Chemiczny*, 88(5), 540-543. (I.B-1)¹
- 3.2 **Opaliński S.**, Korczyński M., Kołacz R., Dobrzański Z., Gbiorczyk W. 2010. Clinker production as a disposal method of aluminosilicate sorbents applied to air filtration. [Wykorzystanie pofiltracyjnych sorbentów glinokrzemianowych w procesie produkcji klinkieru.] *Przemysł Chemiczny*, 89(4), 505-508. (I.B-2)¹
- 3.3 **Opaliński S.**, Korczyński M., Szoltyś M., Kołacz R., Dobrzański Z., Gbiorczyk W. 2010. Application of mineral sorbents to filtration of air contaminated by odorous compounds. *Chemical Engineering Transactions*, 23, 2010, 369-374. (I.B-3)¹
- 3.4 **Opaliński S.**, Korczyński M., Dobrzański Z., Kołacz R., Durkalec M. 2011. Application of halloysite and bentonite as filtration bed to ammonia reduction. *Proc. of XV International Congress in Animal Hygiene ISAH-2011*, 03-07.07.2011, Vienna, Austria, 1167-1169. (I.B-4)¹
- 3.5 Durkalec M., **Opaliński S.**, Spiak Z., Korczyński M., Chojnacka K. 2011. Toxicity of composted aluminosilicate sorbents used for air filtration. [Ocena toksyczności przekompostowanych sorbentów glinokrzemianowych stosowanych do filtracji powietrza] *Przemysł Chemiczny*, 90(5), 742-746. (I.B-5)¹
- 3.6 **Opaliński S.**, Korczyński M., Szoltyś M., Dobrzański Z., Kołacz R. 2015. Application of aluminosilicates for mitigation of ammonia and volatile organic compound emissions from poultry manure. *Open Chemistry (poprzednio Central European Journal of Chemistry)*, 13, 967-973. (I.B-6)¹
- 3.7 Kijas J., **Opaliński S.**, Dobrzański Z., Kołacz R., Korczyński M. Patent nr PL - 214915 z dnia 30.09.2013r. na wynalazek „Aerofiltr, zwłaszcza do pomieszczeń inwentarskich”, zakres terytorialny patentu Polska, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej. (I.B-7)¹

¹ numeracja wg załącznika nr 4

4. Opis szczególnych osiągnięć naukowych pod tytułem: „Wykorzystanie glinokrzemianów w ograniczaniu uciążliwości zapachowej generowanej przez intensywną produkcję zwierzęcą”

Intensywna produkcja rolnicza, a zwłaszcza chów zwierząt gospodarskich, jest silnie związana z emisją związków odorotwórczych generowanych przede wszystkim wewnątrz budynków inwentarskich. Z reguły wysoka w tego typu obiektach koncentracja gazów złowonnych takich jak amoniak, siarkowodór czy lotne związki organiczne prowadzi do pogorszenia zdrowotności, a w konsekwencji produktywności zwierząt hodowlanych. Zadaniem pomieszczeń inwentarskich powinna być ochrona zwierząt przed niekorzystnymi czynnikami atmosferycznymi, a także zapewnienie im optymalnych warunków bytowania. Z tego względu problem poprawy warunków mikroklimatycznych, zwłaszcza w odniesieniu do szkodliwych domieszek gazowych, jest niezwykle istotny. Ponadto pojawiające się w powietrzu gazy złowonne oddziałują negatywnie również na ludzi, zarówno pracujących na fermach jak i mieszkających w ich pobliżu. Dlatego też prowadzone są intensywne poszukiwania metod ograniczania emisji substancji odorotwórczych z pomieszczeń inwentarskich i ferm hodowlanych, szczególnie w sytuacji gdy w wielu krajach, w tym w Polsce, brakuje uregulowań prawnych dotyczących tzw. uciążliwości zapachowej. W obecnej chwili, jedynym aktem prawnym, który reguluje dopuszczalną koncentrację związków zapachowych w pomieszczeniach inwentarskich jest Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z 2010 roku (Dz. U. 2010, nr 56, poz. 344), które odnosi się tylko do stężenia amoniaku i siarkowodoru w pomieszczeniach dla cieląt, świń i brojlerów. Od wielu lat prowadzone są intensywne prace nad stworzeniem tzw. ustawy antyodorowej, ale rezultatów tych działań nie widać a doniesienia medialne z ostatnich miesięcy, których źródłem jest Ministerstwo Środowiska wskazują, że ustawy długo nie będzie. Jednocześnie wiceminister resortu środowiska twierdzi, iż problem uciążliwości odorowej powinien w przyszłości rozwiązać kodeks dobrych praktyk, zawierający opis działań ograniczających powstawanie nieprzyjemnych zapachów.

Najczęściej kojarzonym z intensywną produkcją zwierzęcą gazem jest amoniak. Jego charakterystyczny i drażniący zapach jest wyczuwalny przez ludzi już przy stężeniu w powietrzu na poziomie około $0,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Kośmider i wsp., 2002). Głównym źródłem emisji amoniaku w budynkach inwentarskich są odchody zwierząt, tj. mocz, kał, gnojowica lub pomiot kurzy, a jego podwyższone koncentracje wywierają niekorzystny wpływ zarówno na ludzi jak i na zwierzęta. Ponadto dostający się do atmosfery amoniak przyczynia się do

eutrofizacji ekosystemów lądowych oraz wód powierzchniowych, a także powoduje niszczenie lasów oraz zanieczyszcza glebę i wodę (Bouwman i wsp., 1997; Hyde i wsp., 2003; Sutton i wsp., 1998).

Budynki inwentarskie, przyzmy z odchodami czy zbiorniki na gnojowicę są źródłem emisji wielu związków złoonych takich jak alkohole (oktanol), tiole (metanotiol, etanotiol), sulfidy (siarczek dimetylowy), aminy alifatyczne (trimetyloamina), fenole, ketony (pentanon), aldehydy (furfural), lotne kwasy tłuszczowe (Volatile Fatty Acids), estry, węglowodory aromatyczne jak toluen i ksylen czy też aromatyczne związki heterocykliczne jak indol i skatol, które również negatywnie wpływają na zdrowie ludzi i zwierząt (Kim i wsp., 2007; Mackie i wsp., 1998; Zahn i wsp., 1997). Przykładowo w powietrzu pomieszczeń dla trzody chlewnej zidentyfikowano ponad 300 związków chemicznych odpowiedzialnych nie tylko za nieprzyjemny zapach, ale także mających wpływ na komfort, zdrowie i wydajność produkcyjną zwierząt oraz komfort i zdrowie ludzi (Schiffman i wsp., 2001).

W dostępnej literaturze opisanych zostało wiele metod ograniczania emisji tzw. związków uciążliwych zapachowo, wśród których wyróżniamy metody żywieniowe, zoohigieniczne oraz metody oczyszczania na końcu procesu, tzw. "end of pipe treatment", czyli dotyczące gazów odlotowych wydostających się z pomieszczeń inwentarskich.

Metody żywieniowe polegają na modyfikacji składu paszy lub suplementacji dawki pokarmowej różnego rodzaju dodatkami paszowymi, w celu ograniczenia wydalania przez zwierzęta gospodarskie pierwiastków biogennych, głównie siarki i azotu. Przykładowo badania przeprowadzone przez Zhang i Kim (2014) udowodniły, iż dodatek do paszy dla brojlerów probiotyków zawierających *Lactobacillus acidophilus*, *Bacillus subtilis* i *Clostridium butyricum*, powodował istotny wzrost przyswajalności większości aminokwasów oraz spadek ilości *E.coli* i zawartości NH_3 w pomioście. Ponadto Chavez i wsp. (2004) odnotowali, iż dodanie do paszy dla kurcząt rzeźnych różnych form metioniny istotnie wpływało na skład jakościowy odorów emitowanych z odchodów. McAlpine i wsp. (2012) wykazali, że dodatek do paszy dla tuczników enzymu ksylanaza w ilości $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, powodował niższą emisję odorów o ponad $700 \text{ OuE}\cdot\text{m}^{-3}$, będącą efektem obniżenia koncentracji lotnych kwasów tłuszczowych i amoniaku w gnojowicy. Wpływ diety na emisję związków uciążliwych zapachowo w chowie świń badali również Hayes i wsp. (2004). Odnotowali oni, iż poziom surowego białka (od 130 do $220 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w paszy jest pozytywnie skorelowany z wielkością emisji związków złoonych (odpowiednio od 12 do $18 \text{ OuE}\cdot\text{s}^{-1}$ na

zwierzę), a zatem jego obniżenie jest ekonomicznie uzasadnioną metodą zmniejszenia uciążliwości zapachowej ze strony tego typu obiektów hodowlanych.

Główne metody zoohigieniczne ograniczania emisji związków złoonych dotyczą przede wszystkim utrzymania odpowiednich warunków mikroklimatycznych (temperatura i wilgotność powietrza) w pomieszczeniach inwentarskich. W tym celu zalecane jest stosowanie skutecznego systemu wentylacji i ogrzewania oraz regulacja zużycia wody, które przyczyniają się do ograniczenia koncentracji szkodliwych gazów w przestrzeni budynków inwentarskich (Ullman i wsp., 2004). Dodatkowo zastosowanie odpowiedniej ilości materiałów ściółkowych, tj. słoma, trociny, wióry czy mискant, powoduje utrzymanie optymalnej wilgotności ściółki. W ostatnim czasie obserwuje się szczególne zainteresowanie użyciem ściółkowych dodatków mineralnych, a prowadzone badania dotyczą głównie takich surowców glinokrzemianowych jak zeolit, bentonit, haloizyt, perlit czy też wermikulit. Posiadają one bardzo dużą pojemność sorpcyjną, będąc jednocześnie w większości tanie i łatwo dostępne. Charakteryzują się brakiem szkodliwego wpływu na zwierzęta i na środowisko, a ich obecność w odchodach przyczynia się często do poprawy wartości nawozowej. Nakaue i wsp. (1981) ocenili możliwość wykorzystania klinoptylolitu (grupa zeolitów) jako dodatku do ściółki podczas odchovu brojlerów. Stwierdzono obniżenie zawartości amoniaku w powietrzu na poziomie od 16 do 35% w zależności od fazy chowu, przy dawce minerału wynoszącej $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Ponadto testowane były również różnego rodzaju chemiczne środki odkażające ściółkę, zawierające w swoim składzie głównie kwasy organiczne (Ivanov, 2001) oraz sole kwasów nieorganicznych (Moore i wsp., 1996). Jednakże z uwagi na ich potencjalną toksyczność oraz stosunkowo krótki okres działania (wysokie koszty), nie znalazły one szerszego zastosowania.

W ostatnich latach wzrosła liczba badań dotyczących wykorzystania metod biologicznego oczyszczania gazów z użyciem biofiltrów będących stosunkowo tanim, prostym i bardzo skutecznym rozwiązaniem. Urządzenia tego typu wyposażone są w wentylator wysokociśnieniowy, komorę zraszania powietrza i najważniejszą część, czyli komorę biofiltracyjną zawierającą złożę będące mieszaniną takich składników jak np. trociny, torf, kompost lub słoma pszenna w odpowiednich proporcjach. Zasada działania polega przede wszystkim na adsorpcji gazów złoonych emitowanych z budynków inwentarskich na złożu biofiltracyjnym, gdzie są one metabolizowane przez bakterie występujące w komorze naturalnie lub wprowadzone do niej celowo. Tymczyna i wsp. (2003, 2004) użyli biofiltra, którego złożę składało się z torfu gruboziarnistego i włóknistego (po 30%), kompostu z oczyszczalni (10%), przefermentowanego nawozu końskiego (10%) i słomy

pszennej (20 %). Oczyszczaniu poddali powietrze wentylacyjne z hali wylęgu piskląt. Stopień redukcji wszystkich zanieczyszczeń zawierających siarkę, na przestrzeni 25 tygodni pracy urządzenia, wyniósł 51 % (maksymalnie 70 %), natomiast stopień redukcji większości badanych aldehydów i ketonów zawierał się w przedziale od 62-99%. Chen i wsp. (2009) wykorzystali do oczyszczania gazów odlotowych z pomieszczenia dla trzody chlewnej biofiltr, w którym jako złożo badane były 2 rodzaje trocin drzewnych. Uzyskali oni bardzo wysoki poziom redukcji koncentracji odorów (70,1-82,3%), siarkowodoru (81,8-88,6%) oraz amoniaku (43,4-74%). Wskazali również, iż kluczowym parametrem dla wydajności testowanego materiału była wilgotność trocin w komorze biofiltracyjnej (min. 60%).

Innym sposobem ograniczenia emisji związków złowonnych jest wykorzystanie skrubarów, czyli płuczek wodnych o różnej konstrukcji, które oprócz usuwania związków uciążliwych zapachowo redukują także koncentrację pyłów. Melse i Ogink (2005) przedstawili wyniki badań wielu autorów dotyczących wykorzystania płuczek kwaśnych do redukcji koncentracji związków odorowych emitowanych z pomieszczeń inwentarskich (trzoda chlewna, drób) na terenie Holandii. Średni poziom redukcji stężenia amoniaku wynosił od 90 do 99%, przy wartości pH roztworów filtrujących od 1,3 do 4,4 i maksymalnym przepływie powietrza od 4000 do nawet 75000 m³ · h⁻¹. Autorzy zwracają jednak uwagę, iż w przypadku pozostałych związków odorowych, efektywność ich usuwania była niższa i wahała się w zakresie od 29 do 34%. Wynikało to głównie z faktu, iż nie wszystkie związki złowonne są rozpuszczalne w roztworze znajdującym się w płuczce. Dodatkowo w efekcie działania skrubera powstaje duża ilość zawiesiny wodnej zawierającej również zanieczyszczenia stałe, co zmusza użytkownika do zastosowania kosztownych metod ich utylizacji.

Należy podkreślić, że efektem działania biofiltrów czy też skrubarów ze złożem płynnym jest ograniczenie emisji szkodliwych gazów do środowiska otaczającego fermę hodowlaną, natomiast problem oddziaływania gazów bezpośrednio na zwierzęta w miejscu ich bytowania pozostaje nierozwiązany. W tej sytuacji dużo lepszą metodą może okazać się zastosowanie filtrów zawierających złożo stałe, składające się z materiału o wysokiej pojemności sorpcyjnej, jak np. glinokrzemiany. Dodatkowo instalacje tego typu mogą być umieszczone wewnątrz pomieszczeń inwentarskich. Koelliker i wsp. (1980) do oczyszczania powietrza w pomieszczeniu dla kur niosek zastosowali skrubar wypełniony 6 warstwami klinoptylolitu (4.64 kg, granulacja 2.35-4.70 mm) uzyskując redukcję koncentracji amoniaku na poziomie od 15 to 45% mimo, iż czas kontaktu filtrowanego powietrza ze złożem wynosił tylko około 1 s. Dodatkowo odnotowano wpływ zastosowanej metody na redukcję stężenia

związków odorowych wewnątrz pomieszczenia. Ponadto autorzy zwrócili uwagę, iż testowana metoda nie generuje dodatkowego strumienia uciążliwych odpadów, gdyż zużyte złoże stałe, może zostać wykorzystane jako cenny nawóz.

Badania prezentowane jako szczególne osiągnięcie naukowe miały na celu ocenę potencjalnych możliwości wykorzystania sorbentów glinokrzemianowych do oczyszczania powietrza zawierającego wysokie koncentracje amoniaku oraz innych substancji złoonych wewnątrz budynków inwentarskich. Ponadto oceniono możliwości utylizacji wykorzystanych do aerofiltracji sorbentów pod kątem zagospodarowania ich w procesie produkcji klinkieru oraz jako nawozu mineralnego.

4.1 Zastosowanie wybranych glinokrzemianów w ograniczaniu koncentracji amoniaku oraz innych związków uciążliwych zapachowo generowanych w pomieszczeniach inwentarskich

W pierwszym etapie badań (3.1) oceniłem potencjalne możliwości wykorzystania sorbentów glinokrzemianowych w procesie oczyszczania powietrza zanieczyszczonego amoniakiem. W ściśle kontrolowanych warunkach laboratoryjnych (temperatura, prędkość przepływu) testom poddano następujące sorbenty glinokrzemianowe: bentonit surowy (BS), wermikulit ekspandowany (EV), haloizyt surowy (HS), haloizyt prażony (HP) oraz haloizyt aktywowany (HA). Określono również odczyn pH dla wodnych ekstraktów badanych sorbentów. Dodatkowo przy użyciu skaningowej mikroskopii elektronicznej wykonano zdjęcia testowanych glinokrzemianów oraz poddano je mikroanalizie rentgenowskiej w celu określenia składu pierwiastkowego. Na podstawie przeprowadzonych analiz ustalono, iż wszystkie badane sorbenty ograniczały koncentrację amoniaku w powietrzu, a ich zdolność do adsorpcji tego gazu zmniejszała się w kolejności HA>HS>HP>BS>EV. Średnia zawartość NH₃ w próbkach powietrza pobranych po filtracji z wykorzystaniem glinokrzemianów, mieściła się w zakresie od 203,3 do 2649,7 mg·kg⁻¹, co odpowiadało redukcji stężenia amoniaku, w porównaniu do grupy kontrolnej, na poziomie od 93,6 do 16,5%, odpowiednio dla haloizytu aktywowanego i wermikulitu ekspandowanego.

W kolejnym etapie badań efektywność wybranych glinokrzemianów w ograniczaniu koncentracji związków uciążliwych zapachowo została oceniona w większej skali tj. w warunkach zbliżonych do tych jakie panują w pomieszczeniach inwentarskich (3.3, 3.4 i 3.6). Badania przeprowadziłem na terenie Rolniczego Zakładu Doświadczalnego "Swojec" należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. W 3 zamkniętych komorach nawozowych (ZKN), ogrzewanych i wyposażonych w system ciągłego monitoringu

temperatury i wilgotności względnej powietrza (SCADA-PRO), umieszczono w plastikowych kuwetach (powierzchnia emisji około 8 m²) świeży obornik bydlęcy (3.3) lub pomiot drobiowy (3.4 i 3.6). Na środku każdej ZKN ustawiono urządzenie do aerofiltracji ODOR1 (3.7). W trakcie każdej serii pomiarowej w jednej z komór ZKN urządzenie ODOR1 pracowało bez wkładu filtracyjnego (komora kontrolna), podczas gdy w pozostałych dwóch ZKN wypełnione było badanymi sorbentami glinokrzemianowymi (komory badawcze). Wysokość warstwy sorbentu wynosiła 8 cm, a masa wykorzystanego jednorazowo w każdej serii badań złoża filtracyjnego wynosiła od 1,5 kg (wermikulit, EV) do 12 kg (pozostałe sorbenty), co wynikało z dużo niższej gęstości EV. Próbki powietrza pobierano przed i po 24-godzinnym okresie filtracji we wszystkich ZKN, metodą aspiracyjną (aspirator AMZ-1, 2 płuczki zawierające 0,01M H₂SO₄) w przypadku amoniaku oraz metodą SPME (Solid Phase MicroExtraction) w przypadku pozostałych związków odorowych. Koncentrację amoniaku oznaczono metodą spektrofotometryczną zgodnie z PN-71 Z-04041. Do określenia koncentracji wstępnie zidentyfikowanych związków złownych wykorzystano metodę chromatografii gazowej (GC-MS).

W wyniku badań, w trakcie których kuwety w komorach ZKN wypełnione były obornikiem bydlęcym (3.3) stwierdzono, iż wszystkie testowane sorbenty tj. haloizyt surowy (H), haloizyt prażony (HR), haloizyt aktywowany (HA), bentonit surowy (BS), bentonit prażony (BR) oraz wermikulit ekspandowany (EV), posiadały zdolność do redukcji zarówno koncentracji amoniaku jak i pozostałych wstępnie zidentyfikowanych związków złownych. W przypadku amoniaku najwyższą efektywnością charakteryzowały się BR i HA, redukcja na poziomie odpowiednio 68 i 77%, natomiast najniższy stopień redukcji stwierdzono dla EV (23%). Podobnie w odniesieniu do pozostałych wstępnie zidentyfikowanych 26 związków odorowych stwierdzono, że wszystkie badane sorbenty glinokrzemianowe powodowały obniżenie ich koncentracji. Stopień redukcji w odniesieniu do grupy kontrolnej (komora kontrolna ZKN) wynosił od 75 do 94%, odpowiednio dla haloizytu surowego (HS) i bentonitu prażonego (BP). Uzyskane rezultaty były bardzo satysfakcjonujące biorąc pod uwagę, iż czas kontaktu strumienia oczyszczanego powietrza ze złożem wynosił tylko około 0,12 s, natomiast koncentracja amoniaku przed rozpoczęciem procesu filtracji (startowa) była na poziomie od około 60 do 69 mg·m⁻¹.

W kolejnym etapie przeprowadzonych badań w komorach nawozowych umieszczono świeży pomiot drobiowy. Oceniono efektywność filtracji powietrza dla tych samych sorbentów glinokrzemianowych, które testowano w doświadczeniu z obornikiem bydlęcym.

W pierwszej części eksperymentu (3.6) proces filtracji powietrza w ZKN trwał 24 godziny. Koncentracja amoniaku w próbkach powietrza pobranych z komory kontrolnej była istotnie wyższa w porównaniu do próbek pobranych w ZKN, w których urządzenie ODOR1 było wypełnione testowanymi sorbentami. Najwyższą zdolnością do redukcji koncentracji NH_3 charakteryzował się haloizyt aktywowany (81%), a najniższą stwierdzono w przypadku haloizytu prażonego. W pobranych próbkach powietrza wstępnie zidentyfikowano 24 lotne związki. Zgodnie z danymi literaturowymi, ponad połowa z tych związków charakteryzuje się nieprzyjemnym zapachem a pięć z nich, tj. 2-butanon, 1,2-dimetylobenzen, 1,4-dichlorobenzen, fenol oraz 1-H-indol, jest uznanych za toksyczne dla ludzi. Otrzymane rezultaty badań wskazywały, że wszystkie testowane glinokrzemiany są efektywne w ograniczaniu koncentracji zidentyfikowanych związków złowonnych, a średni stopień redukcji zawierał się w przedziale od 56 do 84%, odpowiednio dla haloizytu surowego i bentonitu prażonego. Warto podkreślić, iż w przypadku najefektywniejszego z sorbentów, tj. bentonitu prażonego, stopień redukcji w odniesieniu do 7 wstępnie zidentyfikowanych związków złowonnych był powyżej 90%, a dla 1-H-indolu (zapach fekalny/obory), trisiarczku dimetylu (zapach cebulowy/rybny) oraz pirydyny (zapach ostry/zjełczały) nawet 100%. Zróżnicowana efektywność badanych glinokrzemianów była przede wszystkim rezultatem różnic w budowie ich struktury powierzchniowej. Materiał prażony ma powierzchnię bardziej rozwiniętą i dostępną dla potencjalnych zanieczyszczeń, przy tym nie adsorbuje cząsteczek wody, co zwiększa jego efektywność. Ponadto modyfikacja minerałów przez np. aktywację ich powierzchni przy pomocy kwasów, zmienia odczyn powierzchniowy glinokrzemianu, co prowadzi do wydajniejszego wiązania zanieczyszczeń o charakterze zasadowym. Dlatego też, najefektywniej działającym sorbentem w odniesieniu do amoniaku był haloizyt aktywowany, którego aktywację prowadzono w stężonym kwasie siarkowym.

W drugiej części eksperymentu z wykorzystaniem pomiotu drobiowego jako źródła związków złowonnych, oceniono wpływ 10 dniowej filtracji powietrza przez złożę umieszczone w urządzeniu ODOR1 na koncentrację amoniaku (3.4). Na podstawie wcześniej uzyskanych wyników do badań użyto dwóch najefektywniejszych glinokrzemianów - haloizytu aktywowanego (HA) oraz bentonitu prażonego (BR). Średni poziom redukcji stężenia amoniaku po pierwszej dobie filtracji wynosił 58,33 i 71,88%, odpowiednio dla BR i HA, w odniesieniu do próbek pobranych w komorze kontrolnej, gdzie stężenie NH_3 wynosiło około $54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Po okresie pięciu dni od rozpoczęcia doświadczenia, koncentracja amoniaku w ZKN kontrolnej utrzymywała się na podobnym poziomie jak w dniu rozpoczęcia testów, natomiast efektywność redukcji zmniejszyła się do poziomu 41,54% (BR) i 54,60%

(HA). Ostatniego dnia eksperymentu, koncentracja amoniaku we wszystkich komorach ZKN była na zbliżonym poziomie, a poziom redukcji dla ZKN, w którym złożem filtracyjnym był bentonit (BP) i haloizyt (HA), wynosił odpowiednio 7,38 i 14,88%. Z uzyskanych rezultatów wynika, że zarówno bentonit prażony jak i haloizyt aktywowany są skutecznymi sorbentami o dużym potencjale do wiązania amoniaku, a efektywność testowanych glinokrzemianów jest bardzo wysoka nawet przez okres kilku dni.

4.2 Ocena potencjalnych możliwości zagospodarowania wykorzystanych do aerofiltracji sorbentów pod kątem zagospodarowania ich w procesie produkcji klinkieru oraz jako nawozu mineralnego

Biorąc pod uwagę, że wykorzystanie sorbentów glinokrzemianowych do filtracji powietrza w pomieszczeniach inwentarskich będzie prowadziło do powstawania dużej ilości zużytych w procesie oczyszczania powietrza minerałów, zasadnym jest poszukiwanie taniej i bezpiecznej metody ich utylizacji. Należy podkreślić, iż przechowywanie glinokrzemianów po filtracji może prowadzić do uwolnienia zaadsorbowanych i dodatkowo skumulowanych na ich powierzchni związków złownnych, co doprowadzi do wtórnego zanieczyszczenia powietrza. Mamy tu do czynienia z często opisywanym zjawiskiem tzw. "problem shifting", czyli "przenoszeniem problemu" uciążliwości odorowej z jednego miejsca w inne (np. przyzma zużytych sorbentów).

Dlatego też w pierwszym etapie badań dotyczących utylizacji pofiltratów, oceniono możliwość wykorzystania haloizytu aktywowanego (HA) oraz bentonitu prażonego (BP), jako dodatku do granulowanego koncentratu żelaza, wykorzystywanego w zestawie surowcowym do wytwarzania klinkieru w piecu cementowym (3.2). Granulowany koncentrat żelaza powinien w swoim składzie zawierać pewne ilości wapnia, krzemu i glinu, odpowiednio skorelowane z zawartością żelaza, co jest warunkiem koniecznym do prawidłowego przebiegu procesu klinkieryzacji. Dlatego też w procesie jego produkcji stosuje się często odpady zawierające glinokrzemiany. Zakładając, że warunki termiczne w piecu cementowym (temp. fazy stałej 1450 °C, gazów 1600 °C) uniemożliwiają przedostanie się do atmosfery jakichkolwiek produktów szkodliwych, które mogłyby pochodzić z użytych do filtracji sorbentów, można uznać zaproponowaną metodą utylizacji pofiltratów za bezpieczną dla środowiska. Ponadto jeden piec jest w stanie przerobić miesięcznie około 400 Mg granulowanego koncentratu żelaza, składającego się w 30% z sorbentów pofiltracyjnych, a zwykle w cementowni funkcjonują 2 lub 3 piece do wypału klinkieru. Sorbenty glinokrzemianowe, haloizyt (HA) i bentonit (BP), zostały pobrane z urządzenia ODOR1, po

10 dniach nieprzerwanej filtracji powietrza i poddane analizie wielopierwiastkowej. W przygotowanej próbnej partii koncentratu żelaza, dotychczas stosowany, jako promotor granulacji, bentonit sodowy został w całości zastąpiony przez próbkę bentonit prażony. Natomiast, z uwagi na wysoką koncentrację Cr i Ni, haloizyt aktywowany wykorzystany do produkcji koncentratu Fe, został zmieszany z bentonitem sodowym w proporcji 1:1. Przeprowadzona analiza wielopierwiastkowa potwierdziła, że zarówno koncentrat zawierający BP jak i HA, spełniają wymagania stawiane przez cementownię. Dlatego też, można stwierdzić, że badane sorbenty mineralne, wykorzystane jako złożo filtracyjne w urządzeniu ODOR1, mogą zostać użyte jako substytuty dotychczas stosowanego bentonitu sodowego w produkcji granulatu żelaza, a zaproponowana metoda ich utylizacji jest bezpieczna dla środowiska.

Należy również podkreślić, iż wykorzystane do filtracji powietrza minerały, mogą znaleźć zastosowanie w produkcji rolniczej jako cenne źródło zaadsorbowanych z powietrza pierwiastków biogennych tj. siarka i azot. A zatem jednym ze sposobów utylizacji pofiltratów może być ich przekompostowanie z odpowiednim dodatkiem odpadów organicznych jak np. ściółka użyta w pomieszczeniach dla drobiu. W drugim etapie badań dotyczących metod zagospodarowania sorbentów po filtracji powietrza, oceniono potencjalną toksyczność przekompostowanych glinokrzemianów dla flory i fauny glebowej (3.5). Podobnie jak w pierwszym etapie doświadczeń nad zagospodarowaniem odpadów pofiltracyjnych, sorbenty glinokrzemianowe, haloizyt (HA) i bentonit (BP), zostały pobrane z urządzenia ODOR1, po 10 dniach nieprzerwanej filtracji powietrza. Następnie minerały zostały wymieszane z pomiotem kurzym zawierającym słomę oraz torfem kwaśnym (pH 3,5-4,5) w stosunku 7:2:1 i kompostowane przez okres 100 dni. Oceny toksyczności kompostów HA i BP dokonano dla dwóch stężeń kompostów w glebie referencyjnej (10 i 20% mas.) przy pomocy testu kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin Phytotoxkit oraz testu toksyczności ostrej na dżdżownicach *Eisenia fetida*. Stwierdzono, iż dodatek kompostu HA powodował zahamowanie kiełkowania roślin wszystkich gatunków testowych oraz wpływał negatywnie na wzrost korzenia. W przypadku kompostu zawierającego BP nie zaobserwowano negatywnego wpływu na kiełkowanie. Natomiast przekompostowany bentonit wpływał dodatnio na wczesny wzrost korzenia gorczyicy oraz rzeżuchy. Jednocześnie odnotowano negatywne działanie kompostu BP na wzrost korzenia w przypadku sorga. W glebie z dodatkiem kompostu zawierającego HA śmiertelność dżdżownic wynosiła 100% bez względu na zastosowane stężenie, co prawdopodobnie wiązało się obecnością pozostałości kwasu siarkowego, użytego do aktywacji haloizytu w procesie produkcji sorbentu. Natomiast

dodatek kompostu z bentonitem (BP) nie powodował śmiertelności dżdżownic. Następnie przeprowadzono 28-dniowe doświadczenie wegetacyjne, w którym oceniono oddziaływanie kompostów z haloizytem aktywowanym i bentonitem prażonym (5 i 10% mas.) na wzrost i rozwój gorczycy białej. Dodatek kompostu zawierającego haloizyt (HA) w ilości 5% mas. wpływał na wzrost plonowania rośliny testowej o ponad 20%, jednakże przy dwukrotnie wyższym stężeniu wykazano toksyczność kompostu HA, co wyrażało się spadkiem plonowania. W przypadku kompostu z bentonitem (BP), stwierdzono wyraźny wzrost plonu gorczycy dodatnio skorelowany ze stężeniem badanego kompostu w glebie. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że utylizacja bentonitu prażonego wykorzystanego do filtracji powietrza poprzez kompostowanie zużytego sorbentu jest efektywna, gdyż dodatek kompostu BP wpływał pozytywnie na wzrost i plonowanie roślin, nie oddziałując negatywnie na faunę glebową. Natomiast przekompostowany haloizyt aktywowany obniżał plonowanie roślin i miał działanie toksyczne dla testowanych bezkręgowców glebowych.

4.3 Podsumowanie

Podsumowując przedstawiony cykl badań dotyczących wykorzystania glinokrzemianów w ograniczeniu uciążliwości zapachowej generowanej przez intensywną produkcję zwierzęcą stwierdziłem, że:

- ocenione glinokrzemiany charakteryzują się wysoką zdolnością do wiązania amoniaku występującego w powietrzu pomieszczeń inwentarskich, przy czym szczególnie efektywnym sorbentem okazała się aktywowana forma haloizytu (**3.1, 3.3, 3.4 i 3.6**),
- wykorzystanie wszystkich ocenianych sorbentów mineralnych jako złoża filtracyjnego powodowało obniżenie koncentracji wstępnie zidentyfikowanych związków odorowych, emitowanych zarówno z pomiotu drobiowego jak i z obornika bydłęcego, a najwyższą efektywność miało zastosowanie bentonitu prażonego (**3.3, 3.4 i 3.6**),
- zaproponowana metoda filtracji powietrza, przy użyciu urządzenia ODOR1 wypełnionego badanymi glinokrzemianami, jest skuteczna w ograniczaniu tzw. uciążliwości zapachowej oraz możliwa do zastosowania wewnątrz budynków inwentarskich (**3.3, 3.4, 3.6 i 3.7**),
- odpady w postaci zużytych sorbentów mineralnych, powstałe na skutek prowadzenia procesu oczyszczania powietrza, nie stanowią wtórnego zagrożenia dla środowiska, gdyż jest możliwe ich zagospodarowanie jako cennego nawozu w produkcji rolniczej lub składnika granulowanego koncentratu żelaza, wykorzystywanego do wytwarzania klinkieru w piecu cementowym (**3.2 i 3.5**).

Moim zdaniem przeprowadzone badania, których wyniki opublikowałem w 6 pracach oryginalnych oraz były przedmiotem 1 patentu, wnoszą nowe wartości poznawcze i aplikacyjne w zakresie optymalizacji warunków utrzymania i dobrostanu zwierząt oraz przyczynią się do ekologizacji produkcji zwierzęcej.

5. Towarzyszące osiągnięcie naukowo-badawcze pod tytułem: "Wykorzystanie drożdży wzbogacanych biopierwiastkami w intensywnym chowie drobiu nieśnego"

5.1 Dobrzański Z., Korczyński M., Chojnacka K., Górecki H., **Opaliński S.** 2008. Influence of organic forms of copper, manganese and iron on bioaccumulation of these metals and zinc in laying hens. *Journal of Elementology*, 13(3), 309-319. (II.A-3)²

5.2 Dolińska B., Zieliński M., **Opaliński S.**, Korczyński M., Dobrzański Z., Ryszka F. 2011. Optimization of the conditions of iodine incorporation to *Saccharomyces cerevisiae* yeast [Optymalizacja warunków wbudowania jodu do drożdży *Saccharomyces cerevisiae*]. *Przemysł Chemiczny*, 90(5), 731-736. (II.A-4)²

5.3 Dolińska B., **Opaliński S.**, Zieliński M., Chojnacka K., Dobrzański Z., Ryszka F. 2011. Iodine concentration in fodder influence the dynamics of iodine levels in hen's egg components. *Biological Trace Element Research*, 144, 747-752. (II.A-6)²

5.4 Dolińska B., Zieliński M., Dobrzański Z., Chojnacka K., **Opaliński S.**, Ryszka F. 2012. Influence of incubation conditions on hydrolysis efficiency and iodine enrichment in baker's yeast. *Biological Trace Element Research*, 147(1-3), 354-358. (II.A-9)²

5.5 **Opaliński S.**, Dolińska B., Korczyński M., Chojnacka K., Dobrzański Z., Ryszka F. 2012. Effect of iodine-enriched yeast supplementation of diet on performance of laying hens, egg traits and egg iodine content. *Poultry Science*, 91(7), 1627-1632. (II.A-10)²

² numeracja wg załącznika nr 4

W sytuacji gdy od 1 stycznia 2006 roku wprowadzono w Unii Europejskiej całkowity zakaz stosowania antybiotykowych promotorów wzrostu w żywieniu zwierząt gospodarskich, poszukuje się nowych substancji, głównie pochodzenia naturalnego, zawierających w swoim składzie związki bioaktywne i działających prozdrowotnie. Drożdże paszowe, przede wszystkim *Saccharomyces cerevisiae*, są wykorzystywane w żywieniu drobiu od wielu lat, będąc łatwo przyswajalnym źródłem białka, witamin z grupy B oraz niektórych mikroelementów (Świątkiewicz i wsp., 2014). Ponadto w strukturę drożdży można bardzo łatwo wbudować pierwiastki tj. chrom, selen, cynk, czy jod. Wzbogacone w ten sposób drożdże paszowe pozytywnie wpływają na zdrowie i produktywność zwierząt, a także przyczyniają się do podwyższenia w mięsie, mleku czy jajach, koncentracji mikroelementów, których deficyt obserwujemy w diecie człowieka. Dobrzański i wsp. (2004) przeprowadzili badania dotyczące możliwości wzbogacania drożdży *Sacharomyces cerevisiae* w takie pierwiastki jak selen, chrom czy cynk. Całkowita wydajność procesu wbudowania pierwiastków w strukturę drożdży wyniosła 79,5% dla Se, 74,4% dla Cr i 62,8% dla Zn. Liczne badania potwierdzają również, iż pierwiastki dodawane do paszy w formie wzbogacanych drożdży, są dużo lepiej przyswajalne w porównaniu do tradycyjnych form jak np. sole nieorganiczne. Payne i Southern (2005) odnotowali, iż dodatek drożdży selenowych do paszy dla brojlerów, powodował istotny wzrost koncentracji Se w mięśniach i surowicy krwi, w porównaniu do ptaków żywionych paszą z dodatkiem Na_2SeO_3 . Podobnie, w przypadku drobiu nieśnego, stężenie selenu w treści jaja pobranego od grupy żywionej drożdżami wzbogacanymi w Se, było istotnie wyższe w porównaniu do grupy, która w paszy otrzymywała formę nieorganiczną tego pierwiastka (Payne i wsp., 2005). Dobrzański i wsp. (2003) porównali przyswajalność cynku i selenu dodanych do paszy dla kur niosek w formie organicznej (drożdże Y-Zn i Y-Se) lub nieorganicznej (ZnO i Na_2SeO_3). Koncentracja Se i Zn w treści jaj pobranych z grup żywionych paszą z dodatkiem Y-Se i Y-Zn, była wyższa od zawartości ocenianych pierwiastków w jajach z grup otrzymujących ich formę nieorganiczną, choć w przypadku cynku nie zostało to potwierdzone statystycznie.

Badania prezentowane jako towarzyszące osiągnięcie naukowe-badawcze miały na celu ocenę potencjalnych możliwości wykorzystania drożdży wzbogacanych w takie pierwiastki jak żelazo, mangan, miedź oraz jod w intensywnym chowie drobiu nieśnego.

Bioprzyswajalność mikroelementów, które odgrywają kluczową rolę w fizjologii drobiu, dodawanych do paszy najczęściej w formie nieorganicznych soli, jest na stosunkowo niskim poziomie i mieści się w przedziale od 4-10% dla chromu i żelaza, do 20-30% dla kobaltu oraz cynku (Noy i wsp., 1994). Dlatego też, oceniono bioprzyswajalność Cu, Fe i Mn,

suplementowanych w paszy dla kur niosek, w formie wzbogacanych drożdży *Saccharomyces cerevisiae* (5.1). Stwierdzono, iż dodatek drożdży wzbogacanych w miedź spowodował istotny wzrost koncentracji tego pierwiastka zarówno w treści i skorupach jaj, a także we krwi i w piórach, w porównaniu do grupy kontrolnej (CuSO_4), co było konsekwencją wyższej bioprzyswajalności Cu. Natomiast w przypadku drożdży wzbogacanych w żelazo i mangan nie stwierdzono podobnych zależności jak dla miedzi, z wyjątkiem Mn, którego zawartość w piórach była istotnie wyższa w porównaniu do grupy kontrolnej. Ponadto nie stwierdzono żadnych interakcji pomiędzy pierwiastkami wbudowanymi w drożdże a cynkiem, którego poziom z uwagi na ważną rolę jaką pełni w procesach metabolicznych, był również określony w trakcie przeprowadzonych badań.

Kolejnym pierwiastkiem, którego niedobór w żywności jest problemem o zasięgu światowym jest jod. Według Vittiego i wsp. (2003) mieszkańcy tylko 15 krajów europejskich pobierają w żywności odpowiednią do prawidłowego funkcjonowania dawkę tego pierwiastka. Natomiast z danych podawanych przez WHO wynika, że problem niedoboru jodu dotyka już ponad 250 mln dzieci w wieku szkolnym na całym świecie. Mimo prowadzonej na szeroką skalę akcji jodowania soli kuchennej i innych produktów żywnościowych (mleko, chleb, woda), problem pozostaje nie w pełni rozwiązany. Jednym ze sposobów wzbogacania diety w jod, mogłoby być wprowadzenie na rynek jaj o podwyższonej koncentracji tego pierwiastka.

W tym celu przeprowadziliśmy badania służące ocenie możliwości produkcji drożdży wzbogacanych w jod, których wykorzystanie np. w żywieniu drobiu nieśnego przyczyni się do podniesienia koncentracji tego pierwiastka w jajach (5.2 i 5.4). Określono optymalne warunki wbudowania jodu do drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae*. Stwierdzono, że największą wydajność procesu wzbogacania drożdży osiąga się przy temperaturze inkubacji nie przekraczającej $29,4^\circ\text{C}$. Natomiast najwyższe koncentracje jodu w drożdżach, maksymalnie $2663 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, uzyskano w temperaturze do $32,4^\circ\text{C}$ (czas inkubacji 18h), przy stężeniu jodku potasu na poziomie 4,5 mM. W przypadku hydrolizatów drożdżowych wzbogacanych w jod, najwyższe stężenie jodu ($2665 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) odnotowano dla 24-godzinnego procesu inkubacji w obecności papainy, przy koncentracji jodku potasu wynoszącej 4,5 mM.

W dalszym etapie badań przeprowadziłem doświadczenia żywieniowe, których celem było określenie wpływu dodatku drożdży wzbogacanych w jod (Y-I) na produkcyjność, parametry jakościowe jaj i koncentrację tego pierwiastka w ich treści u kur niosek (5.3 i 5.5). W tym celu wykorzystano uzyskane w trakcie wcześniejszych badań drożdże jodowane (zaw. jodu $2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), które dodano do mieszanki pełnoporcjowej dla kur nieśnych w ilości 0,05

i 0,1% mas. Koncentracja jodu w paszy po dodaniu Y-I wynosiła w grupach doświadczalnych E1 i E2, odpowiednio 1,32 i 1,98 mg·kg⁻¹. Natomiast w grupie kontrolnej, w której jod był suplementowany w postaci Ca(IO₃)₂·H₂O, stężenie tego pierwiastka było na poziomie 1,55 mg·kg⁻¹. Nie stwierdziłem negatywnego wpływu dodatku Y-I na nieśność kur, a potwierdzone statystycznie niższe pobranie paszy w grupie E1 oraz wyższy współczynnik wykorzystania paszy w przeliczeniu na kg jaj w grupie E2, mogły być wynikiem niskiej liczby replikacji w doświadczeniu (n=4). Ponadto masa całego jaja oraz białka były najwyższe w grupie E2. Koncentracja jodu w żółtku jaj pobranych do kur żywionych wzbogacanymi drożdżami była o 80 i 90% wyższa dla grup, odpowiednio E1 i E2, w porównaniu do kontroli. W przypadku skorup jaj, zawartość jodu była nawet trzykrotnie wyższa niż w grupie karmionej nieorganiczną formą tego pierwiastka. Biorąc pod uwagę, że mielone skorupy są bardzo dobrym źródłem wysoko przyswajalnego wapnia, stwarza to perspektywy uzyskania wartościowego suplementu diety.

Podsumowując rezultaty prac przedstawionych jako towarzyszące osiągnięcie naukowo-badawcze należy stwierdzić, że:

- jest możliwość wzbogacania drożdży w tzw. niezbędne pierwiastki, których niedobory obserwujemy w diecie ludzi,
- zastosowanie drożdży wzbogaczonych w miedź i jod jako dodatku do paszy dla drobiu nieśnego, zwiększa bioprzyswajalność tych pierwiastków i wpływa na ich wyższą koncentrację m.in. w żółtku, białku i skorupach jaj,
- drożdże zawierające biopierwiastki, mogą zostać wykorzystane do produkcji tzw. żywności funkcjonalnej (np. wzbogacane jaja), która stosowana jest w zapobieganiu i leczeniu wielu chorób cywilizacyjnych (osteoporoza, cukrzyca, niedobory mikroelementów etc.).

Wrocław, 05 października, 2015 roku

dr inż. Sebastian Opaliński

