

Instytut Żywienia Zwierząt i Bromatologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin,
e-mail: kasia_zakopane@o2.pl

KATARZYNA KWIATKOWSKA, MAŁGORZATA KWIECIEN,
ANNA WINIARSKA-MIECZAN, MACIEJ BĄKOWSKI

Wpływ chelatu glicynowego miedzi na parametry fizykochemiczne, morfometryczne i wytrzymałościowe kości piszczelowych kurcząt

The effect of copper glycine chelate on physicochemical, morphometric and strength parameters of tibia bones in broiler chickens

Streszczenie. Celem pracy była ocena wpływu dodatku chelatu glicynowego Cu (Cu-Gli) do mieszanek dla kurcząt Ross 308 na rozwój kości piszczelowych na podstawie ich cech fizykochemicznych, morfometrycznych i wytrzymałościowych. 200 jednodniowych kogutków Ross 308 podzielono na 4 grupy, w 5 powtórzeniach, po 10 kurcząt w każdej. Do mieszanek dodawano Cu w formie CuSO_4 (100% dawki rekomendowanej) – grupa kontrolna i Cu-Gli w ilości 100%, 50% lub 25% całkowitego zapotrzebowania na składnik, rekomendowanego dla kurcząt brojlerów Ross 308. Po uboju kości piszczelowe wypreparowano, zważono i zmierzono. Właściwości mechaniczne kości (Wy i Wf) oznaczono, stosując trójpunktową próbę zginania na aparacie Zwick Z010, a na podstawie pomiarów zewnętrznej i wewnętrznej średnicy trzonu kości w miejscu złamania określono właściwości geometryczne (I_x , A, MRWT) oraz wskaźniki korowe (CLT, CS, CI, CSI). Kości odtłuszczone i wysuszone do stałej masy poddano mineralizacji. Zawartość Ca, Mg, Zn, Fe i Cu oznaczono metodą ASA na aparacie Unicam 939/959, a P ogólnego wg PN-76/R-64781. Stosowanie dodatku Cu w formie Cu-Gli w dawkach 8 i 4 mg istotnie zwiększyło obwód kości piszczelowych, a przy zastosowaniu 16 mg Cu-Gli obserwowano w nich najwyższą koncentrację Ca. Przy zastosowaniu Cu-Gli, niezależnie od dawki, zaznaczyła się liczbowa tendencja do zwiększenia wartości niektórych parametrów korowych (CI, CSI), wytrzymałościowych (Wy, dy, Wy/dy, BDI), a także zawartości popiołu surowego oraz P, Zn i Fe. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że schelatowana Cu jest skuteczną alternatywą dla tradycyjnie stosowanego CuSO_4 w celu zapewnienia właściwej mineralizacji kości u szybko rosnących brojlerów nawet w dawkach niższych od zalecanego.

Słowa kluczowe: kurczęta, miedź, chelat glicynowy, jakość kości piszczelowych

WSTĘP

Prawidłowo funkcjonujący układ kostno-szkieletowy drobiu warunkuje rozwój i metabolizm całego organizmu, jak również odgrywa ważną rolę w efektywnej hodowli

oraz chowie ptaków, będąc jednym z głównych czynników wpływających na opłacalność produkcji. Nowoczesna hodowla drobiu umożliwia co prawda szybki wzrost masy ciała, szybsze osiągnięcie wieku ubojowego, ale brak równowagi we wzroście i dojrzewaniu układu szkieletowego w stosunku do przyrostu tkanki mięśniowej może być przyczyną uszkodzeń stawów i deformacji kości oraz wystąpienia różnych zespołów chorobowych obniżających ilość i jakość pozyskiwanych produktów [Richards i in. 2010]. Na gospodarce mineralną kości oprócz czynników głównych, tj. PTH (parathormon), kalcytoniny i wit. D₃ wpływają też czynniki dodatkowe – składniki pokarmowe, czynniki wzrostu, hormony – oraz właściwa podaż składników mineralnych w mieszance, w odpowiedniej ilości i proporcji [Flynn 2003, Kini i Nandeesh 2012].

Jednym z pierwiastków niezbędnych do właściwej mineralizacji kości i obecnym we wszystkich tkankach zwierzęcych jest miedź (Cu). Średnia zawartość Cu u dorosłych ssaków wynosi 1,5–2,5 mg·kg⁻¹, a u drobiu 1,2–1,5 mg·kg⁻¹, natomiast jej zawartość u zwierząt rosnących może być nawet trzykrotnie wyższa. W ciągu całego życia zwierząt poziom Cu i jej przestrzenne rozmieszczenie ulega zmianom. Największe jej stężenie, w zależności od tkanki, stwierdzono w wątrobie, nerkach, mózgu i sercu, natomiast najmniejsze – w kościach i mięśniach [Rinaldi 2000]. Miedź uczestniczy w wielu przemianach metabolicznych, dzięki czemu może w sposób istotny wpływać na status zdrowotny zwierząt [Richards i in. 2010]. Odgrywa istotną rolę w metabolizmie żelaza, syntezie hemoglobiny i produkcji erytrocytów [SCAN 2003]. Jest składnikiem lub aktywatorem wielu enzymów, głównie o funkcji oksydacyjnej, w tym dysmutazy ponadtlenkowej (SOD), oksydazy cytochromowej, askorbinowej, lizylowej [Suttle 2010]. Miedź warunkuje biosyntezę oraz prawidłowe usieciowanie włókien kolagenu i elastyny, syntezę barwnika oraz białka skóry i włosów [Nollet i in. 2007]. Wadliwe usieciowanie łańcuchów polipeptydowych kolagenu w układzie kostnym może doprowadzić do osłabienia zrębu kości, a konsekwencją tego mogą być zaburzenia rozwoju, złamania i liczne deformacje kości. Metabolizm tkanki kostnej to stan dynamicznej równowagi między procesami osteolizy, w której uczestniczą komórki kościogubne (osteoklasty), a procesem syntezy, za który odpowiadają komórki kościotwórcze (osteoblasty), związane z wytwarzaniem kolagenu i innych substancji organicznego zrębu kości. Przy niedoborze miedzi w układzie kostnym powstają defekty czynnościowe osteoblastów, podczas gdy aktywność osteoklastów pozostaje niezmienną [Gahrke 1997].

Szybki postęp w genetycznym doskonaleniu kurcząt oraz znaczenie składników mineralnych, m.in. Cu, w procesach metabolicznych wymaga stałego aktualizowania i precyzyjnego bilansowania dawek pokarmowych. Badania przeprowadzone w ostatnich latach wskazują, że rekomendowane przez producentów materiału hodowlanego zapotrzebowanie kurcząt na niektóre składniki mineralne jest zbyt wysokie [Zhao i in. 2010], zwłaszcza podawane w formie nieorganicznej [Esenbuga i in. 2008]. Jedną z przyczyn powodujących ograniczenie wykorzystywania mikroelementów z tych form jest ich ograniczona możliwość absorpcji z przewodu pokarmowego, spowodowana niewystępowaniem mikroelementów w postaci wolnych kationów i przeważnie kompleksowanych przez różnego rodzaju biopolimery, np. fityniany, frakcje włókna czy taniny [Suttle 2010]. Powstające trwałe kompleksy są trudno wchłaniane i zostają wydalone [Aksu i in. 2011], co jest nieekonomiczne, a dodatkowo powoduje zanieczyszczenie środowiska [Bao i in. 2007]. Świadomość potencjalnego zagrożenia środowiska naturalnego skłania do poszukiwania sposobów zmniejszenia poziomu suplementacji mineralnej w żywieniu bez narażania zdrowia i bez negatywnego wpływu

na wzrost ptaków [Aksu i in. 2011]. Uwzględniając zróżnicowanie w dostępności związanej z pojemnością absorpcyjną tkanek oraz toksyczności, zwrócono szczególną uwagę na chelaty, zwłaszcza chelaty glicynowe [Oscar i Ashmead 2001, Männer i in. 2006, Feng 2007, 2009, Etle i in. 2008]. Lepsza przyswajalność chelatów pozwala również na zmniejszenie dawki mikroelementu przy jednoczesnym zwiększeniu jego ilości wchłoniętej z przewodu pokarmowego, a co za tym idzie zmniejsza wydalanie wielu składników z organizmu [Bao i in. 2007, Kwiecień i in. 2015a], jak również może znacznie poprawić wyniki produkcyjne [Van der Klis i Kemme 2002]. Według Abdallaha i in. [2009], El-Husseiny i in. [2012], Kwiecień i in. [2014, 2015b] oraz Winiarskiej-Mieczan i Kwiecień [2015] pierwiastki śladowe, takie jak Zn, Cu czy Fe, pochodzące ze źródeł organicznych mogą być dodane do mieszanki dla brojlerów w mniejszych ilościach (50% lub nawet 25% całkowitego zapotrzebowania) niż ich nieorganiczne formy (100% poziomu rekomendowanego) bez negatywnego wpływu na wyniki produkcyjne, parametry rzeźne, jakość tusz czy kośćca.

W dostępnej literaturze liczba badań obejmujących zastosowanie chelatów, zwłaszcza glicynowych, w żywieniu kurcząt brojlerów i ich wpływ na stopień mineralizacji kości jest ograniczona. Ponadto ze względu na istotną rolę, jaką pełni Cu w rozwoju kości, przypuszcza się, że wykorzystanie Cu z bardziej przyswajalnej formy może przyczynić się do lepszego rozwoju układu kostnego we wczesnych etapach życia, a wysoka przyswajalność Cu z chelatów sprawia, że ich dodatek do mieszanek dla drobiu w mniejszych dawkach w porównaniu z rekomendowaną dawką w postaci CuSO_4 powoduje zmniejszenie wydalania Cu do środowiska [Nollet i in. 2007]. Formy organiczne mogą być alternatywą dla stosowanego dotąd w mieszankach CuSO_4 .

Celem pracy była ocena wpływu dodatku chelatu glicynowego Cu do mieszanek dla kurcząt Ross 308 na rozwój kości piszczelowych na podstawie ich cech fizykochemicznych, morfometrycznych i wytrzymałościowych.

MATERIAŁ I METODY

Zwierzęta i żywienie

Wszystkie procedury zastosowane w pracy zostały zatwierdzone przez Lokalną Komisję Etyczną Zwierząt przy Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie (Uchwała nr 32/2010 z dnia 16 lutego 2010 r.).

Doświadczeniem objęto 200 jednodniowych kogutków Ross 308, podzielonych na 4 grupy, w 5 powtórzeniach, po 10 kurcząt w każdej. Przy rozpoczęciu doświadczenia ptaki zważono indywidualnie i w pierwszym dniu odchowu oznakowano indywidualnie znaczkami skrzydłowymi. Kogutki Ross 308 odchowywano w klatkach, w pomieszczeniu o regulowanej temperaturze i wilgotności. Przez cały czas trwania eksperymentu zastosowano oświetlenie elektryczne, aby zapewnić ptakom 24-godzinne oświetlenie przez 10 dni, potem po 16 godzin światła. Przez pierwszy tydzień kurczęta utrzymywano w temperaturze 33°C, którą obniżano cotygodniowo o 2°C aż do ostatecznej temperatury 24°C.

Ptaki karmiono *ad libitum* mieszankami odpowiednimi do poszczególnych okresów odchowu, tj. starter – S (od 1 do 21 dnia), grower – G (od 22 do 35 dnia) i finisher – F (od 36 do 42 dnia), przy nieograniczonym dostępie do wody. Mieszanki starter podawano kurczętom w formie kruszonki, a grower i finisher w postaci granulatu. Wartość pokarmową doświadczalnych mieszanek paszowych przedstawiono w tabeli 1. Według

zaleceń żywieniowych podanych w *Normach żywienia drobiu* [2005] zapotrzebowanie na Cu wynosi 7–8 mg·kg⁻¹, a firma Ross (Aviagen 2013) zaleca 16 mg·kg⁻¹ Cu. W doświadczeniu Cu dodawano do premiksu (bez Cu) w postaci CuSO₄ – grupa kontrolna (K) i chelatu glicynowego Cu (Cu-Gli) – grupy doświadczalne (tab. 2). W doświadczeniu użyto chelatu glicynowego Glystar Forte firmy Arkop sp. z o.o., o zawartości 16 mg Cu. Zapotrzebowanie na składniki mineralne w mieszankach określono w oparciu o zalecenia żywieniowe firmy Ross dla kurcząt brojlerów Ross 308, według których zawartość Cu powinna być taka sama we wszystkich okresach odchovu, co uwzględniono w doświadczeniu.

Tabela 1. Wartość pokarmowa mieszanek doświadczalnych
Table 1. Nutritional value of experimental mixtures

Składniki/ Ingredients	Starter*	Grower*	Finisher*
Wartość kalkulowana/ Values calculated			
Energia metaboliczna Metabolizable energy (MJ·kg ⁻¹)	12,7	13,1	13,2
Białko surowe Crude protein (%)	20,2	18,2	18,1
Włókno surowe Crude fibre (%)	3,06	2,99	2,99
Tłuszcz surowy Crude fat (%)	4,66	6,08	6,43
Lizyna Lysine (%)	1,29	1,13	1,09
Met + Cys (%)	0,93	0,83	0,81
Wartość oznaczona/ Values determined			
Cu (mg)**			
K***	22,10	22,21	21,95
16 mg Cu-Gli	21,98	22,15	22,02
8 mg Cu-Gli	14,12	14,21	14,01
4 mg Cu-Gli	10,10	10,21	9,981
Fe (mg)	40,31	39,82	38,61
Zn (mg)	99,71	98,50	98,52
Ca (mg)	8,810	7,852	7,533

* Skład mieszanki podstawowej starter, grower, finisher: kukurydza, pszenica, śruta poekstrakcyjna sojowa 46%, olej sojowy, fosforan jednowapniowy, kreda pastewna, wodorowęglan sodu, NaCl, premiks witamino-mineralny, koncentrat białkowo-tłuszczowy, DL-metionina 99%, L-lizyny HCl, L-treonina 99% / Composition of basal mixtures starter, grower, finisher: maize, wheat, soybean meal 46%, soybean oil, monocalcium phosphate, limestone, sodium bicarbonate, NaCl, vitamin-mineral premix, fat-protein concentrate, DL-methionine 99%, L-lysine HCl, L-threonine 99%

** W eksperymencie Cu dodano do mieszanki starter, grower i finisher w ilości 16 mg kg⁻¹ w postaci CuSO₄ (na poziomie 100% zapotrzebowania dla kurcząt brojlerów Ross) – grupa kontrolna (K), lub w postaci chelatu glicynowego Cu w ilości 16, 8 lub 4 mg (odpowiednio 100%, 50% i 25% zapotrzebowania dla kurcząt brojlerów Ross) – grupy 16 mg Cu-Gli, 8 mg Cu-Gli, 4 mg Cu-Gli / In experiment Cu was added to the mixtures starter, grower and finisher in an amount of 16 mg kg⁻¹ in the form of CuSO₄ (at 100% recommendation levels for Ross broiler chicks) – control group (K), or in the form of Cu-glycine chelate in an amount of 16, 8 or 4 mg kg⁻¹ (at 100%, 50% and 25% of the demand for Ross broiler chicks, respectively) – groups 16 mg Cu-Gli, 8 mg Cu-Gli, 4 mg Cu-Gli

*** K – grupa kontrolna/ control group

Tabela 2. Układ metodyczny doświadczenia
Table 2. Experimental design

Grupa/ Group	Zawartość czystego składnika w mieszankach doświadczalnych Content of pure component in experimental mixtures (mg·kg ⁻¹)	
	CuSO ₄	chelat glicynowy Cu chelate of glycine Cu
K*	16 (100%)**	–
16 mg Cu-Gli***	–	16 (100%)**
8 mg Cu-Gli***	–	8 (100%)**
4 mg Cu-Gli***	–	4 (100%)**

* K – grupa kontrolna/ control group

** procent pokrycia zapotrzebowania/ demand coverage in %

*** Cu-Gli – chelat glicynowy/ chelate of glycine

Pomiary kości

W 42. dniu odchowu wybrano z każdej grupy po 10 kugutków o masie ciała reprezentatywnej dla danej grupy. Na 10 godzin przed ubojem [Rozporządzenie... 2009] wybranym ptakom nie podawano paszy, a jedynie zapewniono nieograniczony dostęp do wody. Po uboju wypreparowano kości piszczelowe prawej nogi kurcząt, oczyszczono z tkanek miękkich, zmierzono długość za pomocą suwmiarki elektronicznej (z dokładnością do 0,001 mm), obwód w ½ długości kości, a następnie każdą kość owinięto gazą nasączoną izotonicznym roztworem soli i przechowywano w temperaturze –25°C do dalszych analiz. Ponadto określono wskaźnik gęstości kości obliczony jako stosunek masy kości (w mg) do długości kości (w mm). Wskaźnik ten pokazuje zmiany w mineralizacji kości [Ziaie i in. 2011].

Właściwości mechaniczne kości oznaczono identycznie w każdej grupie po 3-godzinnym rozmrożeniu w temperaturze pokojowej, stosując 3-punktową próbę zginania na aparacie Zwick Z010 (Zwick GmbH & Co KG), wyposażonym w głowicę pomiarową (Zwick GmbH & Co KG), połączonym z komputerem za pomocą oprogramowania TestXpert II 3,1 (Zwick GmbH & Company KG). Zastosowano głowicę o zakresie działania do 10 kN, przy stałej prędkości przesuwu 10 mm·min⁻¹. Kości do badań umieszczono na podporach o rozstawie odpowiadającym 40% długości kości. Własności mechaniczne kości oceniono na podstawie wartości maksymalnej siły sprężystej (Wy) i siły maksymalnej (Wf) – [Ferretti i in. 1993, Kwiecień 2012]. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oznaczono następujące parametry wytrzymałościowe kości: dy – wartość odkształcenia, Wf/A (A – pole powierzchni przekroju poprzecznego), Wy/dy i moduł Younga według formuły:

$$E = \frac{Wc \cdot L}{12dy\pi I_x},$$

gdzie: Wc – siła maksymalna, L – szerokość rozstawu podpór w teście zginania, odpowiadająca 40% długości kości, I_x – wtórny moment bezwładności [Ferretti i in. 1993, Kwiecień i in. 2014].

Na podstawie pomiarów zewnętrznej i wewnętrznej średnicy horyzontalnej i wertykalnej przekroju poprzecznego trzonu kości w miejscu złamania oznaczono cechy geometryczne i korowe trzonu kości piszczelowej [Ferretti i in. 1993, Kwiecień i in. 2014].

Po ocenie cech wytrzymałościowych i strukturalnych kości piszczelowe poddano odfuszczeniu, suszeniu do stałej masy, a następnie mineralizacji [AOAC 2000]. Zawartość składników mineralnych kości (Ca, Mg, Cu, Fe, Zn) oznaczono metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej na aparacie Unicam 939/959, a P ogólnego wg PN-76/R-64781 na aparacie Helios α -Unicam przy użyciu odczynnika molibdenowanadowego (NH_4VO_3 , $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot\text{H}_2\text{O}$, H_2O) i przeliczono na zawartość składników mineralnych w popiele surowym.

Analiza statystyczna

Wyniki badań poddano analizie statystycznej za pomocą programu Statistica 10.0 [Statsoft 2013]. Wyliczono: miary położenia (średnią arytmetyczną) i miary bezwzględne (SEM), jednoczynnikową analizą wariancji (p – poziom prawdopodobieństwa). Różnice statystycznie istotne zostały ustalone na poziomie $p < 0,05$. Istotność różnic pomiędzy średnimi w grupach szacowano, stosując wielokrotny test rozstępu Duncana.

WYNIKI I DYSKUSJA

W mieszankach doświadczalnych wartość energetyczna, zawartość białka ogólnego, włókna surowego, a także Ca ogólnego, P ogólnego, Fe i Zn kształtowały się na zbliżonym poziomie i odpowiadały wartościom podanym w *Normach żywienia drobiu* [2005] – tabela 1. Po zastosowaniu dodatku miedzi w ilości 100%, 50% lub 25% zapotrzebowania ptaków średnia całkowita zawartość Cu w całym okresie odchowu wyniosła: grupa K – $22,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, grupa 16 mg Cu-Gli – $22,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, grupa 8 mg Cu-Gli – $14,11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i grupa 4 mg Cu-Gli – $10,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wartości te przekraczały zapotrzebowanie na Cu odpowiednio o 6,09, 6,05, 6,11 i $6,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Te różnice wynikają z zawartości mikroelementów w paszach podstawowych (zboża, śruta poekstrakcyjna sojowa). Jak podaje Brzóska i in. [2003], zawartość mikroelementów w zbożach może być istotnie różna w zależności od roku oraz miejsca uprawy, a także od odmiany zboża [Alam 2001]. Badania Wojciechowskiej-Mazurek i in. [1995] wykazują, że ziarno polskich odmian pszenicy zawiera $2,6\text{--}3,6 \text{ mg kg}^{-1}$ miedzi, a według Wróbla [2000] od $3,1$ do $3,2 \text{ mg kg}^{-1}$. Ptaki również dobrze tolerują nadmiar miedzi i dopiero stężenie 25-krotnie wyższe od zapotrzebowania może działać toksycznie. Jednak nadmiar Cu w paszy może obniżać jej wchłanianie, przez co zmniejsza się ryzyko zatrucia [Normy... 2005].

Cechy fizyczne kości piszczelowych

Kości kurcząt brojlerów po 42 dniach odchowu były prawidłowo ukształtowane, nie obserwowano śladów pęknięć, złamań lub innych uszkodzeń. Wytrzymałość kości zależy m.in. od jej masy czy długości. Wprowadzenie do mieszanki paszowej dla kurcząt Ross 308 premiksu zawierającego chelatowaną Cu nie miało istotnego wpływu na masę kości piszczelowych przypadającą na 100 g masy ciała i ich długość (tab. 3). Natomiast w badaniach Kwiecień [2012] stwierdzono największą masę i najdłuższe kości udowe po wprowadzeniu do mieszanek dodatku Cu w formie organicznej na poziomie 25%

pokrycia zapotrzebowania (2 mg). W innych badaniach [Kwiecień i in. 2014] przy dodatku chelatu glicynowego Cu w ilości 4 mg i siarczanu Cu w ilości 8 mg stwierdzono największą masę kości udowych przypadającą na 100 g masy ciała. Badania Banksa i in. [2004] wykazały, że kurczęta otrzymujące Cu-lizynę miały największą masę kości piszczelowych w porównaniu z ptakami żywionymi z dodatkiem cytrynianu lub siarczanu miedzi. Według Onyango i in. [2003] ptaki karmione mieszanką zawierającą Cu w formie organicznej pokrywającej zapotrzebowanie w 50% wykazały zwiększoną masę i długość kości piszczelowej. Odmienne wyniki uzyskali Kwiecień i in. [2005], stwierdzając, że zastosowanie dodatku chelatu Cu z lizyną wpłynęło na zmniejszenie masy kości świeżych i powietrznie suchych odpowiednio o 14,1 i 8%.

Tabela 3. Fizyczne i morfometryczne parametry kości piszczelowych kurcząt
Table 3. Physical and morphometric parameters of chickens tibial bones

Składnik/ Item	Czynnik doświadczalny/ Experimental factors				SEM
	K*	16 mg Cu-Gli	8 mg Cu-Gli	4 mg Cu-Gli	
Parametry fizyczne/ Physical parameters					
Masa kości (g/100 g BW) Bone weight (g/100 g of BW)	0,97	1,06	1,00	1,04	0,019
Długość Length (mm)	107	108	108	110	0,444
Obwód Perimeter (mm)	31 ^b	32 ^b	34 ^a	35 ^a	0,363
Cechy geometryczne/ Geometric features					
I_x (mm ⁴)	175,5	187,3	184,3	181,5	3,992
A (mm ²)	26,2	24,2	23,6	23,5	0,520
MRWT	0,35	0,28	0,28	0,27	0,013
Wskaźniki korowe/ Cortical indexes					
CLT (mm)	2,19	1,75	1,77	1,81	0,078
CS (mm ²)	34,6	29,4	29,8	30,1	1,017
CI (%)	7,80	8,13	7,85	7,95	0,117
CSI (%)	78,2	81,2	81,9	84,1	0,909

* K – grupa kontrolna/ control group

^{a, b} – wartości w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy $p < 0,05$ / values in rows with different denoted letters differ significantly at $p < 0,05$; SEM – błąd standardowy średniej/ standard error of the means; BW – masa ciała/ body weight; I_x – wtórny moment bezwładności w odniesieniu do osi poziomej/ second moment of inertia of the cross section in relation to the horizontal axis; A – pole przekroju poprzecznego/ cross-sectional area; MRWT – średnia względna grubość ścian/ mean relative wall thickness; CLT – grubość warstwy korowej/ thickness of cortical layer; CS – powierzchnia korowa/ cortical surface; CI – wskaźnik korowy/ cortical index; CSI – wskaźnik powierzchni korowej/ cortical surface index

W badaniach własnych obserwowano w 42. dniu życia większe, potwierdzone statystycznie ($p < 0,05$), obwody kości kurcząt otrzymujących dodatek Cu-Gli w ilości 50% i 25% zapotrzebowania w porównaniu z obwodem kości kurcząt żywionych zalecaną dawką Cu w postaci siarczanu, odpowiednio o 9,6% i 12,9%, a w stosunku do otrzymujących 16 mg Cu-Gli odpowiednio o 6,3% i 9,4%. Wydaje się więc, że zastosowanie dodatku Cu w formie Cu-Gli w mniejszych dawkach jest wystarczające i warunkuje prawidłowy wzrost kości piszczelowych kurcząt.

Parametry morfometryczne kości

Czynnikami warunkującymi wytrzymałość tkanki kostnej są też cechy geometryczne i korowe kości. Zastosowane dawki organicznych związków Cu nie miały istotnego wpływu na parametry geometryczne kości, tj. I_x i A (tab. 3). Również wartość wskaźników parametrów korowych kości piszczelowych w poszczególnych grupach była wyrównana (tab. 3). Podobnie w badaniach Kwiecień [2012] zastąpienie formy nieorganicznej Cu jej odpowiednikami organicznymi w tej samej ilości nie miało istotnego wpływu na parametry morfometryczne kości udowej kurcząt. W późniejszych badaniach [Kwiecień i in. 2014] wprowadzenie Cu w formie organicznej niezależnie od dawki (16, 8 lub 4 mg) istotnie zwiększyło wartość I_x w porównaniu z grupą otrzymującą siarczan Cu w ilości 8 mg i zmniejszyło CI w porównaniu z grupą żywioną Cu w formie organicznej na poziomie 25% zapotrzebowania. Na podstawie powyższych badań można sądzić, że zarówno Cu w formie organicznej, jak i nieorganicznej zapewniało prawidłowy wzrost objętości i pola poprzecznego przekroju bez nadmiernego wzrostu masy kości, co jest szczególnie ważne u ptaków hodowlanych. Natomiast w badaniach Ferketa i in. [2009] stwierdzono u indyków otrzymujących organiczne formy mikroelementów zdecydowanie grubsze obszary istoty korowej kości piszczelowych. Ponadto w grupach z dodatkiem pierwiastków w formie organicznej wykazano zmniejszenie częstotliwości występowania szpotawości w 17 tygodniu, chwiejnych nóg w 12, 15 i 17 tygodniu. Ponieważ w dostępnej literaturze brak jest w zasadzie prac traktujących o wpływie form i poziomów Cu na wskaźniki geometryczne i korowe kości udowych kurcząt brojlerów, z tego względu przeprowadzone badania wnoszą zarówno wartości poznawcze, jak i praktyczne.

Parametry wytrzymałościowe kości piszczelowych

Wartość badanych parametrów wytrzymałościowych kości piszczelowych kurcząt oraz cech fizycznych materiału kostnego określających jego wytrzymałość była na zbliżonym poziomie, co wskazuje na brak wpływu zastosowanych dawek Cu-Gli (tab. 4). Jedynie zaznaczyła się liczbowa tendencja do zwiększenia wartości elastyczności kości (W_y), maksymalnego odkształcenia (dy), sztywności (W_y/dy), maksymalnej siły sprężystej w odniesieniu do masy ciała (W_y/BW) i wskaźnika gęstości kości (BDI), przy zastosowaniu w żywieniu kurcząt Cu w formie Cu-Gli. Wskaźnik BDI jest prostym wskaźnikiem wskazującym na gęstość kości. Im wyższy wskaźnik, tym kości są bardziej gęste [Monteagudo i in. 1997]. Przyczynę wzrostu indeksu można przypisać wzrostowi masy kości piszczelowej. Wydaje się, że parametry fizyczne kości odpowiedzialne za ich wytrzymałość (tj. masa, długość, obwód) przy zastosowaniu Cu-Gli nawet na poziomie 25% pokrycia potrzeb kurcząt powodują wzrost strawności i dostępności składników odżywczych (takich jak Ca i P), co z kolei powoduje zwiększenie retencji składników mineralnych i stopnia mineralizacji kości. Wyrazem tego może być większa wytrzymałość kości na zginanie. W badaniach Kwiecień [2014] wprowadzenie Cu w formie organicznej w ilości zalecanej lub ograniczonej do 50% pokrycia zapotrzebowania spowodowało istotne ($p < 0,05$) zwiększenie wartości W_y kości udowych kurcząt w porównaniu z kurczętami otrzymującymi dodatek Cu w formie siarczynu, niezależnie od dawki. W innych badaniach Kwiecień i in. [2005] zastosowanie chelatu Cu z lizyną zmniejszyło bezwzględną wytrzymałość kości piszczelowej kurcząt o 20,5% w porównaniu z wytrzymałością kości kurcząt z grupy kontrolnej. El-Husseiny

i in. [2012] przy dodatku Cu w formie organicznej na poziomie 50% pokrycia zapotrzebowania obserwowali wzrost ($p < 0,001$) wytrzymałości kości piszczelowej na rozerwanie o 11%. Natomiast Zhao i in. [2010], podając ptakom Cu w formie organicznej czy nieorganicznej na poziomie 8 mg, nie wykazali wpływu formy na wytrzymałość kości piszczelowej. Można jednak przypuszczać, że diety uzupełnione Cu w formie organicznej mogą powodować zwiększenie wchłaniania jelitowego składników mineralnych, co z kolei zwiększa przyswajalność Ca i P przez ptaki i powoduje większą plastyczność kości.

Tabela 4. Parametry wytrzymałościowe kości piszczelowych kurcząt
Table 4. Strength parameters of chicken tibial bones

Składnik/ Item	Czynnik doświadczalny/ Experimental factors				SEM
	K*	16 mg Cu-Gli	8 mg Cu-Gli	4 mg Cu-Gli	
Wy (N mm)	146,1	156,7	156,8	154,9	1,906
dy (mm)	1,48	1,55	1,53	1,52	0,019
Wf (N·mm)	283,0	262,3	260,2	271,9	6,857
Wy/dy (N mm·mm ⁻¹)	102,3	103,8	103,8	104,0	1,301
Wf/A (N·mm·mm ⁻²)	11,1	10,9	11,0	11,7	0,371
E (N m ⁻²)	1,38	1,09	1,08	1,23	0,056
BDI (mg·mm ⁻¹)	184,9	191,5	192,4	194,3	2,032
Wy/bw (N mm·g ⁻¹)	6,89	7,03	6,81	6,82	0,104
Wy/BW (N·mm·1000·kg ⁻¹)	59,7	63,3	63,8	62,4	0,940
Wf/bw (N mm·g ⁻¹)	13,3	11,7	11,3	12,0	0,343
Wf/BW (N·mm·1000·kg ⁻¹)	114,3	105,8	105,5	108,8	2,096

* K – grupa kontrolna/ control group

SEM – błąd standardowy średniej/ standard error of the means; Wy – maksymalna siła sprężysta/ maximum elastic strength; dy – wielkość odkształcenia/ yielding deformation; Wf – moment gnący siły maksymalnej/ maximum ultimate strength; Wy/dy – sztywność/ load-to-deformation ratio; Wf/A – wytrzymałość na zginanie/ bending point resistance; E – moduł Younga/ Young's modulus; BDI – indeks gęstości kości/ bone density index; Wy/bw – maksymalna siła sprężysta w odniesieniu do masy kości/ maximum elastic strength towards bone weight; Wy/BW – maksymalna siła sprężysta w odniesieniu do masy ciała/ maximum elastic strength towards body weight; Wf/bw – moment siły maksymalnej w odniesieniu do masy kości/ maximum ultimate strength towards bone weight; Wf/BW – moment siły maksymalnej w odniesieniu do masy ciała/ maximum ultimate strength towards body weight.

Skład chemiczny kości piszczelowych

Zwiększona zawartość popiołu surowego w kościach może być dobrym wskaźnikiem stopnia mineralizacji kości [Onyango i in. 2003]. W 42. dniu życia kurcząt pomiędzy poszczególnymi grupami doświadczalnymi nie obserwowano istotnych różnic w zawartości popiołu surowego, P, Mg, Zn, Cu i Fe (tab. 5). Choć prawda zależność zawartości analizowanych składników nie była potwierdzona statystycznie, to jednak wyższą koncentrację obserwowano w grupach, w których do diety wprowadzono organiczne źródło Cu. Również Yan i Waldroup [2006] i Kwiecień i in. [2014] w kościach kurcząt oraz Mikulski i in. [2009] w kościach piszczelowych indyków nie

obserwowali istotnych różnic w koncentracji popiołu w zależności od źródła składnika. Natomiast Abdallah i in. [2009] w kości piszczelowej kurcząt otrzymujących dietę zawierającą 100% składnika w formie chelatu peptydowego obserwowali istotnie większy procentowy udział popiołu surowego.

Tabela 5. Skład mineralny popiołu surowego kości piszczelowych kurcząt
Table 5. The mineral composition of crude ash of chicken tibial bones

Składnik/ Item	Czynnik doświadczalny/ Experimental factors				SEM
	K*	16 mg Cu-Gli	8 mg Cu-Gli	4 mg Cu-Gli	
Popiół surowy Crude ash (%)	28,7	29,6	29,5	29,3	0,264
Ca (g·kg ⁻¹)	266,6 ^c	277,9 ^a	274,8 ^{abc}	268,1 ^{bc}	1,683
P (g·kg ⁻¹)	182,1	188,5	184,9	184,0	1,003
Mg (g·kg ⁻¹)	8,61	8,76	8,83	8,82	0,070
Zn (mg·kg ⁻¹)	515,9	530,4	525,7	523,3	5,023
Cu (mg·kg ⁻¹)	4,16	3,90	3,68	3,55	0,159
Fe (mg·kg ⁻¹)	372,3	399,1	385,0	411,7	7,124

* K – grupa kontrolna/ control group

SEM – błąd standardowy średniej/ standard error of the means

^{a, b} – wartości w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie przy $p < 0,05$ / values in rows with different denoted letters differ significantly at $p < 0,05$

W badaniach własnych największą zawartość Ca w kości piszczelowej ($p < 0,05$) stwierdzono u kurcząt karmionych mieszanką z dodatkiem rekomendowanej dawki Cu w formie Cu-Gli, natomiast najmniejszą zawartość Ca stwierdzono w grupie kontrolnej po zastosowaniu CuSO_4 w ilości 16 mg. Koncentracja pozostałych badanych składników była na zbliżonym poziomie i mimo braku różnic statystycznych zaznaczyła się liczbowa tendencja do zwiększenia ich poziomu przy zastosowaniu Cu-Gli. Natomiast w badaniach Kwiecień i in. [2014] najwyższą zawartość Fe w kości udowej kurcząt stwierdzono przy dodatku Gli-Cu na poziomie 25% zapotrzebowania, jednocześnie nie wykazano istotnych różnic w zawartości popiołu surowego, Ca, P, Mg, Zn i Cu. W badaniach Kwiecień i in. [2005] stwierdzono, że dodatek biopleksu Cu z lizyną nie różnicował istotnie zawartości popiołu surowego w kości piszczelowej, aczkolwiek zmniejszył nieznacznie zawartość Ca i P, a zwiększył Mg. Nie miał natomiast wpływu na zawartość Cu. El-Husseiny i in. [2012] stwierdzili, że dodatek Cu w formie organicznej na poziomie 50% istotnie ($p < 0,001$) zmniejszył stężenie Zn, Mn, Cu i Fe, natomiast zwiększył ($p < 0,001$) zawartość Ca i P, a nie miał wpływu na zawartość popiołu surowego w kości piszczelowej. Podobne wyniki uzyskał Gheisari i in. [2010].

WNIOSKI

1. Stosowanie dodatku Cu w formie Cu-Gli w dawkach 8 mg i 4 mg istotnie zwiększyło obwód kości piszczelowych kurcząt, a po zastosowaniu 16 mg Cu-Gli obserwowano w kościach najwyższą koncentrację Ca.

2. Po zastosowaniu Cu-Gli, niezależnie od dawki, zaznaczyła się liczbowa tendencja do zwiększenia wartości niektórych parametrów korowych (CI, CSI), wytrzymałościowych (Wy, dy, Wy/dy, BDI), a także zawartości popiołu surowego oraz P, Zn i Fe.

3. Schelatowana Cu w postaci Cu-Gli jest skuteczną alternatywą dla tradycyjnie stosowanego CuSO_4 w celu zapewnienia właściwej mineralizacji kości u szybko rosnących brojlerów nawet w dawkach niższych od zalecanych.

PIŚMIENNICTWO

- Abdallah A.G., El-Husseiny O.M., Abdel-Latif K.O., 2009. Influence of some dietary organic mineral supplementations on broiler performance. *Int. J. Poult. Sci.* 8(3), 291–298.
- Aksu T., Aksu M.I., Yoruk M.A., Karaoglu M., 2011. Effects of organically complexed minerals on meat quality in chickens. *Br. Poult. Sci.* 52, 558–563.
- Alam S.M., 2001. Genetic variations in nutrients contents by wheat and its substitution lines. *Pak. J. Biol. Sci.* 4, 642–644.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. Intern. 17th ed. AOAC Inter., Gaithersburg, MD.
- Aviagen, 2013. Ross 308 parent stock: Nutrition specification, en.aviagen.com.
- Banks K.M., Thompson K.L., Rush J.K., Applegate T.J., 2004. Effects of copper source on phosphorus retention in broiler chicks and laying hens. *Poult. Sci.* 83, 990–996.
- Bao Y.M., Choct M., Iji P.A., Bruerton K., 2007. Effect of organically complexed copper, iron, manganese and zinc on broiler performance, mineral excretion and accumulation in tissues. *J. Appl. Poult. Res.* 16, 448–455.
- Brzóska F., Brzeziński W., Brzóska B., 2003. Mineral nutrients in Polish feedingstuffs. Part 2. Cereal grains. *Ann. Anim. Sci.* 3, 311–321.
- El-Husseiny O.M., Hashish S.M., Ali R.A., Arafa S.A., Abd El-Samee L.D., Olemly A.A., 2012. Effects of feeding organic zinc, manganese and copper on broiler growth, carcass characteristics, bone quality and mineral content in bone, liver and excreta. *Int. J. Poul. Sci.* 11, 368–377.
- Esenbuga N., Macit M., Karaoglu M., Aksu M.I., Bilgin O.C., 2008. Effects of dietary humate supplementation to broilers on performance, slaughter, carcass and meat colour. *J. Sci. Food Agric.* 88, 1201–1207.
- Ettle T., Schlegel P., Roth X., 2008. Investigations on iron bioavailability of different sources and supply levels in piglets. *J. Anin. Phys. Anim. Nutr.* 92, 1, 30–45.
- Feng J., Ma W.Q., Xu Z.R., He J.X., Wang Y.Z., Liu J.X., 2009. The effect of iron glycine chelate on tissue mineral levels, fecal mineral concentration, and liver antioxidant enzyme activity in weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 150(1–2), 106–113.
- Flynn A., 2003. The role of dietary calcium in bone health. *Proc. Nutr. Soc.* 62, 851–858.
- Feng J., Ma W.Q., Xu Z.R., Wang Y.Z., Liu J.X., 2007. Effects of iron glycine chelate on growth, haematological and immunological characteristics in weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134(3), 261–272.
- Ferret P.R., Oviedo-Rondón E.O., Mente P.L., Bohórquez D.V., Santos A.A.Jr., Grimes J.L., Richards J.D., Dibner J.J., Felts V., 2009. Organic trace minerals and 25-hydroxycholecalciferol affect performance characteristics, leg abnormalities, and biomechanical properties of leg bones of turkeys. *Poult. Sci.* 88(1), 118–131.
- Ferretti J.L., Capozza R.F., Mondelo N., Zanchetta J.R., 1993. Interrelationships between densitometric, geometric and mechanical properties of rat femora: inferences concerning mechanical regulation of bone modelling. *J. Bone Min. Res.* 8, 1395–1399.

- Gahrke M., 1997. Miedź i mangan w patogenezie chorób układu kostnego zwierząt. *Med. Wet.* 53(11), 644–646.
- Gheisari A.A., Rahimi-Fathkoohi A., Toghyani M., Gheisari M.M., 2010. Effects of organic chelates of zinc, manganese and copper in comparison to their inorganic sources on performance of broiler chickens. *J. Anim. Plant Sci.* 6, 630–636.
- Kini U., Nandeesh B.N., 2012. Physiology of bone formation, remodeling, and metabolism. W: *Radionuclide and hybrid bone imaging*. Springer, Berlin–New York, 29–57.
- Kwiecień M., 2012. Wpływ formy i poziomu miedzi i żelaza w paszy na wyniki odchovu oraz wybrane wskaźniki metaboliczne kurcząt brojlerów. *Rozpr. Nauk. UP w Lublinie* 359, Lublin.
- Kwiecień M., Makarski B., Zadura A., Galas D., 2005. Wpływ dodatku chelatu Cu z lizyną na skład mineralny i wytrzymałość kości piszczelowych indyków. *Acta Sci. Pol. Zootechnica* 4(2), 77–84.
- Kwiecień M., Winiarska-Mieczan A., Zawiślak K., Sroka S., 2014. Effect of copper glycinate chelate on biomechanical, morphometric and chemical properties of chicken femur. *Ann. Anim. Sci.* 14(1), 127–139, DOI: 10.2478/aoas-2013-0085.
- Kwiecień M., Winiarska-Mieczan A., Valverde Piedra J.L., Bujanowicz-Haraś B., Chałabis-Mazurek A., 2015a. Effects of copper glycine chelate on selected parameters carcasses, liver and fecal mineral concentrations, haematological and biochemical blood parameters in broilers. *Agr. Food Sci. Finl.* 24, 92–103.
- Kwiecień M., Samolińska W., Bujanowicz-Haraś B., 2015b. Effects of iron glycine chelate on growth, carcass characteristic, liver mineral concentrations and haematological and biochemical blood parameters in broilers. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 99(6), 1184–1196, DOI: 10.1111/jpn.12322.
- Männer K., Simon O., Schlegel P., 2006. Effects of different iron, manganese, zinc and copper sources (sulfates, chelates, glycinate) on their bioavailability in early weaned piglets. In: M. Rodehutschord (ed.). 9. Tagung Schweine – und Geflügelernährung. Universität Halle–Wittenberg, Germany.
- Mikulski D., Jankowski J., Zduńczyk Z., Wróblewska M., Mikulska M., 2009. Copper balance, bone mineralization and the growth performance of turkeys fed diet with two types of Cu supplements. *J. Anim. Feed Sci.* 18, 677–688.
- Monteagudo M.D., Hernandez E.R., Seco C., Gonzales Riola J., Revilla M., Villa L.F., Rico H., 1997. Comparison of the bone robusticity index and bone weight/bone length index with the results of bone densitometry and bone histomorphometry in experimental studies. *Acta Anat.* 160, 195–199.
- Nollet L., Van der Klis J.D., Lensing M., Spring P., 2007. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *J. Appl. Poult. Res.* 16, 592–597.
- Normy żywienia drobiu. Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz, 2005. PAN, Warszawa.
- Oscar P., Ashmead H.D., 2001. Effectiveness of treatment of iron-deficiency anemia in infants and young children with ferrous bis-glycinate chelate. *Nutrition* 17, 381–384.
- Onyango E.M., Hester P.Y., Strohshine R., Adeola O., 2003. Bone densitometry as an indicator of percentage tibia ash in broiler chicks fed varying dietary calcium and phosphorus levels. *Poult. Sci.* 82, 1787–1791.
- PN-76/R-64781. Pasze. Oznaczenie zawartości fosforu.

- Richards J.D., Zhao J., Harrell R.J., Atwell C.A., Dibner J.J., 2010. Trace mineral nutrition in poultry and swine. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23, 1527–1534.
- Rinaldi A.C., 2000. Meeting report – copper research at the top. *Biometals* 13, 9–13.
- Rozporządzenie Rady (WE) nr 1099/2009 z dnia 24 września 2009 roku w sprawie ochrony zwierząt podczas ich uśmiercania. *Dz.Urz. UE L* 303/1 z 2009.
- SCAN, 2003. Scientific Committee for Animal Nutrition: Opinion on the use of copper in feedingstuff, European Commission Publication.
- StatSoft, 2013. Statistica ver. 10 (data analysis software system). StatSoft, Inc., Tulsa, www.statsoft.com.
- Suttle N.F., 2010. The mineral nutrition of livestock, 4th ed., CABI Publishing, Oxfordshire.
- Van der Klis J.D., Kemme A.D., 2002. An appraisal of trace elements: Inorganic and organic. W: J.M. McNab, K.N. Boorman (eds.). *Poultry feedstuffs: supply, composition and nutritive value*. CAB Int., Wallingford.
- Winiarska-Mieczan A., Kwiecień M., 2015: The effects of copper-glycine complexes on chemical composition and sensory attributes of raw, cooked and grilled chicken meat. *J. Food Sci. Technol.* 52(7), 4226–4235, DOI 10.1007/s13197-014-1510-8.
- Wojciechowska-Mazurek M., Karłowski K., Starska K., Brulińska-Ostrowska E., Kumpulainen J.T., 1995. Contents of Pb, Cd, Cu and Zn in Polish cereal grain, flour and powdered milk. *FAO, Proceedings of the Technical Workshop on Trace Elements, Natural Antioxidants and Contaminants, Helsinki, 25–26 August 1995*.
- Wróbel S., 2000. Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 471, 619–626.
- Yan F., Waldroup P.W., 2006. Evaluation of MINTREX® manganese as a source of manganese for young broilers. *Int. J. Poult. Sci.* 5, 708–713.
- Zhao J., Shirley R.B., Vazquez-Anon M., Dibner J.J., Richards J.D., Fisher P., Hampton T., Christensen K.D., Allard J.P., Giesen A.F., 2010. Effects of chelated trace minerals on growth performance, breast meat yield and footpad health in commercial meat broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 19, 365–372.
- Ziaie H., Bashtani M., Karimi M., Torshizi A., Naeemipour H., Farhangfar H., Zeinali A., 2011. Effect of antibiotic and its alternatives on morphometric characteristics, mineral content and bone strength of tibia in Ross broiler chickens. *Global Vet.* 7, 315–322.

Projekt NN 311543540, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Summary. The purpose of the study was to evaluate the effect of supplementation of feed mixtures for Ross 308 chickens with copper glycine chelate (Cu-Gli) on the growth of tibia bones based on their physicochemical, morphometric and strength properties. 200 one-day-old Ross 308 male chicks were split into 4 groups in 5 replications of 10 chicks each. The mixtures were supplemented with Cu in a form of CuSO₄ (100% of the recommended dose) – control group – and Cu-Gli covering 100%, 50% or 25% of the total requirement of the component recommended for Ross 308 broiler chicks. After the slaughter the tibia were weighed and measured. The mechanical properties of bones (Wy and Wf) were determined in a three-point bending test by means of Zwick Z010 apparatus, and the results of measurement of the external and internal diameter of the bone shaft at the point of fracture were used as reference for determining geometric parameters (I_x , A, MRWT) and cortical indices (CLT, CS, CI, CSI). The bones, defatted and dried to constant mass,

were subject to mineralisation. The content of Ca, Mg, Zn, Fe and Cu was determined by means of ASA in a Unicam 939/959 apparatus, and total P was determined according to PN-76/R-64781. The addition of Cu in the form of Cu-Gli at the level of 8 and 4 mg significantly increased the circumference of the chicken's tibia, and when using 16 mg of Cu-Gli the highest concentration of Ca was observed compared to the group receiving CuSO₄. After the use of Cu-Gli, regardless of the level of supplementation, an upward numerical trend was recorded for some cortical indices (CI, CSI), strength parameters (Wy, dy, Wy/dy, BDI) as well as for the content of crude ash and the concentration of P, Zn and Fe. The results of studies indicate that chelated Cu seems to be an efficient alternative for the traditional CuSO₄ in order to ensure correct bone mineralisation in fast-growing broilers, even at doses lower than recommended.

Key words: chickens, copper, glycine chelate, quality of the tibia