

## **WARUNKI WILGOTNOŚCIOWE I ZNISZCZENIE KOROZYJNE STALOWYCH ELEMENTÓW KORYT W EKSPERYMENTALNEJ TUCZARNI TRZODY CHLEWNEJ**

Henryk Żelazny

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

**Streszczenie.** W budynkach do przemysłowego tuczu zwierząt, gdzie wilgotność względna powietrza wynosi 80–90%, a atmosfera zawiera znaczne ilości  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{S}$ , istnieją warunki sprzyjające szybkiej korozji elementów stalowych. Badania przeprowadzone w eksperymentalnej tuczarni dotyczyły kształtowania się wilgotności względnej powietrza oraz stopnia zniszczenia stalowych elementów koryt, spowodowanego korozją elektrochemiczną. Prawie we wszystkich kojcach stwierdzono znaczne uszkodzenia wykonanych ze stali przegród, łącznie z kilkoma przypadkami zupełnego rozerwania prętów w miejscach ich największego skorodowania. Przyspieszenie tych procesów korozyjnych powodowała olbrzymia wilgotność powietrza w budynku w okresie jesienno-zimowym, przekraczająca nawet 80%.

**Słowa kluczowe:** korozja elektrochemiczna, stal, koryto, tuczarnia

### **WSTĘP**

Korozją nazywa się procesy niszczenia materiałów budowlanych na skutek działania czynników fizykochemicznych [Thierry i Zaleski 1982]. Czynniki te tworzą środowisko agresywne, czyli takie otoczenie konstrukcji czy instalacji, które zmniejsza trwałość materiałów konstrukcyjnych, powodując przedwczesne zniszczenie obiektu [Fijałkowski i in. 1987]. Ponieważ proces korozji może zachodzić tylko w obecności elektrolitu, więc korozja atmosferyczna stali w dużym stopniu zależy od wilgotności względnej powietrza [Łęcki 1986]. Istotne przyspieszenie procesów korozji stali następuje przy wilgotności względnej większej niż 80% i temperaturze powyżej 0°C [Ściślewski 2005]. W budynkach inwentarskich wilgotność względna powietrza wynosi nawet 80–90% [Łęcki 1986], a temperatura, z uwagi na dobrostan zwierząt, zawsze kształtuje się

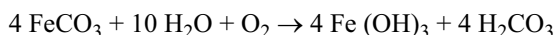
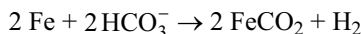
---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Henryk Żelazny, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, Zakład Inżynierii Żywności, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: hzelazny@wp.eu

w zakresach wartości dodatnich. Przyspieszenie procesów korozyjnych może być spowodowane także zanieczyszczeniem atmosfery [Ściślewski 2005]. W powietrzu chlewni znajdują się szkodliwe dla ludzi i zwierząt domieszki gazowe, to jest dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>), amoniak (NH<sub>3</sub>) i siarkowodór (H<sub>2</sub>S) [Projektowanie, budowa... 1998]. Gazy te w połączeniu z wodą<sup>1</sup> wytwarzają kwasy – węglowy H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> i siarkowy (IV) H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>, a agresywność środowiska ciekłego wzrasta wraz z obniżeniem się pH [Łęcki 1986]. Ponadto rozpuszczać się i reagować ze stałą lub zwiększać możliwość gromadzenia się wilgoci na powierzchni mogą osadzające się pyły, a jeżeli na powierzchni są zanieczyszczenia (i/lub higroskopijne sole), to korozja występuje nawet przy znacznie niższych poziomach wilgotności [Ściślewski 2005]. W pomieszczeniach inwentarskich korozja elementów stalowych przebiegać może szczególnie szybko, gdyż do ich wznoszenia są stosowane stale węglowe zwykłej jakości, zawierające maksymalnie do 0,22% węgla [Łęcki 1986], czyli stale nieodporne na korozję, stosowane powszechnie w konstrukcjach budowlanych [Ściślewski 2005].

W obiektach budownictwa rolniczego decydujące znaczenie ma korozja elektrochemiczna, zachodząca w przypadku oddziaływania na stal cieczy lub wilgotnej atmosfery [Łęcki 1986]. Jest ona wynikiem krótkozwartych ogniw miejscowych [Rzeźnik i Rybacki 2005]. W rezultacie tworzących się na powierzchni ogniw korozyjnych następuje rozpuszczanie metalu [Ściślewski 2005].

Ostatecznym produktem korozji elektrochemicznej jest rdza (luźna, przepuszczająca substancja o znikomych własnościach ochronnych), składająca się głównie z mieszaniny dwóch odmian uwodnionego tlenku żelaza (III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, wodorotlenku żelaza (III) Fe(OH)<sub>3</sub> i węglanu żelaza (III) Fe<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Woda kondensacyjna obecna na powierzchni stali, która jest elektrolitem mogącym rozpuścić w sobie tlen i inne gazy, w niewielkim stopniu ulega dysocjacji. Powstają dodatkowe jony H<sup>+</sup> i ujemne jony OH<sup>-</sup>. Grupa OH<sup>-</sup> w wyniku reakcji z żelazem tworzy rozpuszczalny w wodzie wodorotlenek żelaza (II) Fe(OH)<sub>2</sub>. Z kolei w wyniku oddziaływania tlenu z powietrza powstaje brązowy wodorotlenek żelaza (III) Fe(OH)<sub>3</sub>, będący podstawowym składnikiem rdzy, nierozpuszczalnym w wodzie. Zwiększona ilość CO<sub>2</sub> w powietrzu wpływa na podwyższenie przewodnictwa elektrycznego i kwasowość wykroplonej wilgoci na elementach stalowych, a w połączeniu z wodą wytwarza kwas węglowy H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Dwutlenek węgla wzmacnia korodujące działanie atmosfery, tworząc węglan żelaza (II), który w obecności tlenu i wilgoci daje wodorotlenek żelaza (III), zgodnie z reakcją [Łęcki 1986]:



Niekontrolowana korozja może spowodować poważne uszkodzenia, wywołując istotne zagrożenia i ograniczenie bezpieczeństwa [Janik 1998]. Dla ograniczenia skutków zużycia korozyjnego nieodzowne są działania profilaktyczne w postaci okresowej kontroli i przeprowadzania zabiegów antykorozyjnych [Tomczyk 2007]. W przypadku sprzętu

---

<sup>1</sup>Przy dużej wilgotności względnej powietrza i zmianach temperatury powietrza, w wyniku których okresowo powierzchnia konstrukcji ma temperaturę niższą od temperatury punktu rosy, na powierzchni stali występuje bardzo cienka warstwa wody, niewidoczna gołym okiem [Ściślewski 2005].

rolniczego udowodniono, że technicznie uzasadniony wzrost nakładów na konserwację wpływa na zmniejszenie stopnia stanu zużycia korozyjnego i przyczynia się do zmniejszenia nakładów na obsługę i naprawę bieżącą maszyn [Stężyła i in. 2008].

Do klasyfikacji stopnia zużycia korozyjnego wykorzystuje się doświadczenia badań krajowych i zagranicznych specjalistów [Schouten i Gellings 1984, Stężyła i Wyrzykowski 1988, Ambroziak i Stężyła 1999]. Na przykład do oceny zniszczenia maszyn na podstawie metody organoleptycznej opracowano czteropunktową skalę stopnia zużycia korozyjnego:

- ocena bardzo dobra „A” dla maszyn nowych lub po remontach kapitalnych, które nie wykazują żadnych widocznych objawów zużycia korozyjnego,
- ocena dobra „B” dla maszyn z widocznymi oznakami korozji niektórych elementów nośnych i roboczych, niemających jednak bezpośredniego wpływu na realizację procesów roboczych oraz niebezpieczeństwo wystąpienia awarii,
- ocena dostateczna „C” dla maszyn posiadających widoczne korozyjne ubytki materiałowe, wpływające na bezawaryjność pracy i zmniejszające bezpieczeństwo użytkownika,
- ocena niedostateczna „D” do maszyn posiadających znaczne ubytki materiałowe, uniemożliwiające realizację procesów roboczych lub zagrażające bezpieczeństwu użytkownikowi (bezwzględna konieczność naprawy lub wymiany zużytych elementów).

Jako kryterium oceny zniszczenia maszyn wykorzystywany jest także stopień stanu zużycia korozyjnego ( $W_{sk}$ ) [Wojdak 1987], gdzie przypadek największego zagrożenia korozyjnego określony jest jako „...bardzo duże uszkodzenia korozyjne: zniszczone elementy, niebezpieczeństwo pęknięcia lub odłamania się fragmentu, odkształcanie się elementów nośnych maszyn, konstrukcja załamuje się, konieczność wymiany elementów i zespołów lub kasacji maszyny”. Do oceny skorodowania części metalowych wykorzystywana jest także trzystopniowa skala: +++ zużycie bardzo intensywne, ++ zużycie intensywne, + zużycie o małej intensywności [Tyczewski 2002].

Procesy destrukcyjne urządzeń mają jednak charakter złożony. Z reguły nie występuje tylko jeden elementarny proces zużycia, ale często wiele jednocześnie i to z różnym natężeniem. Na przykład w przemyśle cukrowniczym dominującą rolę odgrywają procesy korozji oraz zużywania ściernego. Zużywanie elementów stalowych ( $I_C^T$ ) można przedstawić jako superpozycję składowych, będących skutkiem oddziaływań mechanicznych ( $I_M$ ), korozyjnych ( $I_K$ ), ściernych ( $I_S$ ) oraz skutków ich wzajemnych współoddziaływań ( $I_\Delta$ ):  $I_C^T = I_M + I_K + I_S + I_\Delta$  [Tyczewski 2002]. Ponadto na podstawie uzyskanych do tej pory wyników badań można jednoznacznie stwierdzić, iż zużycie na skutek jednoczesnego występowania niszczących procesów ciernych (mechanicznych), korozyjnych i ściernych nie jest prostą superpozycją ich zindywidualizowanych skutków, lecz znaczące jest interakcyjne współoddziaływanie w złożonych warunkach wymuszeń mechanicznych, korozyjnych i ściernych [Tyczewski i Nadolny 2007]. Łączne oddziaływanie tych trzech czynników destrukcyjnych na elementy stalowe może również występować w obiektach rolniczych. Na przykład w chlewniach części wyposażenia wykonane ze stali mogą być ogryzane przez tuczniaki oraz narażone na mechaniczne uderzenia od narzędzi służących do utrzymania czystości w kojcach. Mogą być także ścierniane przez sierść świń i jednocześnie podlegać agresywnemu środowisku powietrznemu, które w znacznym stopniu

przyczynia się do korozji. W przypadku budynków do przemysłowego chowu zwierząt wydaje się, że największy udział w niszczeniu elementów stalowych ma jednak zjawisko korozji elektrochemicznej.

Celem pracy była ocena kształtowania się wilgotności względnej powietrza w aspekcie sprzyjania tego czynnika procesom elektrochemicznej korozji oraz ocena stanu skorodowania stalowych elementów, dzielących koryta na poszczególne stanowiska dla zwierząt w eksperymentalnym obiekcie przeznaczonym do przemysłowej produkcji żywca wieprzowego.

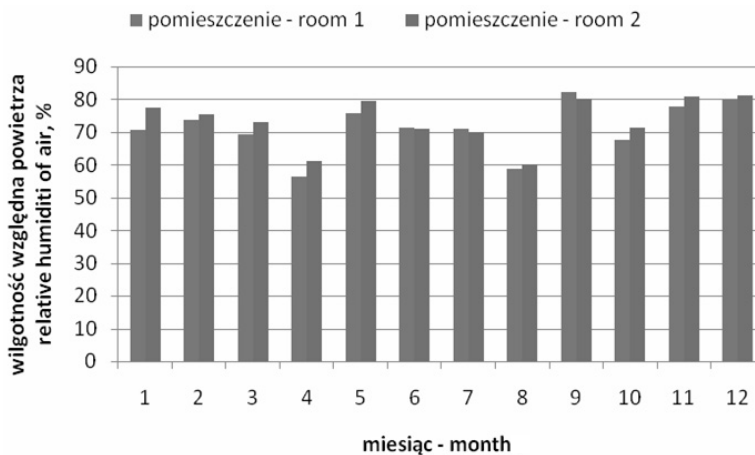
## MATERIAŁ I METODY

Zniszczenie spowodowane korozją stalowych elementów, dzielących okrągłe koryta na stanowiska odpasu dla zwierząt, oceniano w samoogrzewalnym, bezściółkowym, eksperymentalnym obiekcie przemysłowego tuczu trzody chlewnej. Budynek składał się z dwóch identycznych oddziałów produkcyjnych. Ponieważ w pomieszczeniach tego typu zawsze występuje temperatura dodatnia, więc wymuszenie przez fizyczne środowisko powietrzne elektrochemicznej korozji prętów zatopionych w betonowych korytach oceniano jedynie na podstawie pomiarów wilgotności względnej powietrza. Kształtowanie się tego parametru badano przez jeden rok, wykonując oznaczenia w reprezentatywny dzień każdego miesiąca. Całodobowe serie pomiarowe przeprowadzano w odstępach czasowych co 3 godziny, wykorzystując do tego celu miernik mikroklimatu MM-01. Cykl badań nr 1 rozpoczynano o godzinie 6.00, cykl nr 2 o 9.00 i tak dalej, aż do cyklu nr 8 wykonywanego o godzinie 3.00. W jednym i drugim pomieszczeniu ustalono po trzy stanowiska, z których odczyty wilgotności względnej powietrza pozwoliły uzyskać wartości średnie przestrzenne dla poszczególnych oddziałów tuczu w każdym cyklu pomiarowym. Z kolei stan skorodowania stalowych elementów, dzielących koryta, oceniano na podstawie wizji lokalnej. Ogłędziny przeprowadzono we wszystkich kojcach (w każdym pomieszczeniu przemysłowego tuczu było ich po dziewięć sztuk). W opisie stopnia zniszczenia prętów wystających z koryt wykorzystano klasyfikacje stosowane w analizach skorodowania stalowych części maszyn rolniczych, przytoczone we wstępie.

## WYNIKI I DYSKUSJA

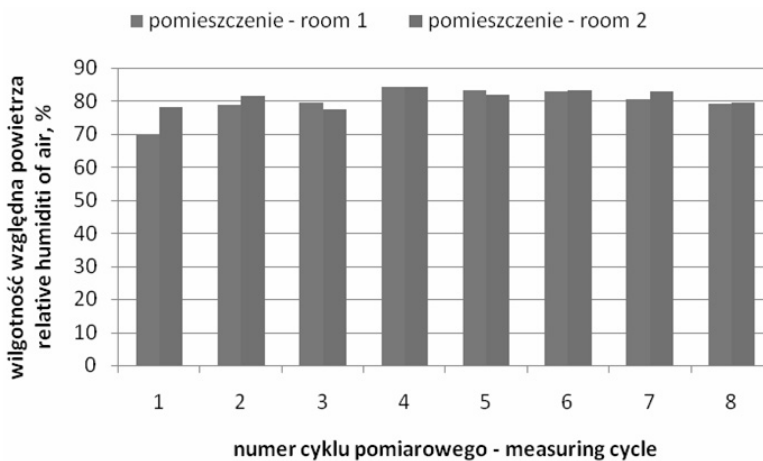
Prawie w ciągu całego okresu badań, to z wyjątkiem kwietnia i sierpnia, wilgotność względna powietrza w tuczarniach była bliska 80% lub ją przekraczała (rys. 1.) Ponadto rozrzut wartości tego wskaźnika higrometrycznego w dobowych cyklach pomiarowych był nieznaczny (rys. 2), pomimo wyraźnych w budynkach samoogrzewalnych spadków temperatury powietrza w ciągu nocy. Zatem w miarę stałe kształtowanie się tego parametru na tak wysokim poziomie musiało w sposób istotny wpływać na przyspieszenie procesów korozji stali.

Niewątpliwie proces zniszczenia stalowych przegród, służących do podziału koryt na stanowiska odpasu, wymuszany był zarówno przez oddziaływania mechaniczne, ścierne, jak i korozyjne. Jednak przy tak podwyższonej wilgotności względnej powie-



Rys. 1. Roczne kształtowanie się wilgotności względnej powietrza w dwóch badanych pomieszczeniach tuczu

Fig. 1. Yearly forming of the relative moisture of air in two studied rooms for fattening



Rys. 2. Wilgotność względna powietrza w dwóch badanych pomieszczeniach tuczu dla wszystkich cykli pomiarowych w grudniu

Fig. 2. The relative moisture of air in two studied rooms for fattening for all measuring periods in December

trza oraz oczywistych dla tego rodzaju obiektów zanieczyszczeniach gazowych i pyłowych główną przyczyną daleko posuniętej destrukcji elementów stalowych była korozja elektrochemiczna. W kilku kołkach skorodowanie było tak duże, że znacząco zmniejszone przekroje prętów powodowały pęknięcie tych części wyposażenia technologicznego, a uszkodzone w ten sposób i odginane przez tuczniaki pałaki, z ostrymi zakończeniami w miejscach rozerwania, raniły zwierzęta w czasie skarmiania pasz. Przez analogię do trzech metod stosowanych do oceny skorodowania stalowych części maszyn stopień

zniszczenia przegród w korytach, spowodowanego agresywnością środowiska w budynku, można określić następująco:

- zużycie bardzo intensywne,
- ocena niedostateczna, gdy przegrody posiadają znaczne ubytki materiałowe, uniemożliwiające realizację procesów produkcyjnych lub zagrażające bezpieczeństwu zwierząt (bezwzględna konieczność naprawy lub wymiany zużytych elementów),
- bardzo duże uszkodzenia korozyjne, powodujące zniszczenie elementów, niebezpieczeństwo pęknięcia lub odłamania się fragmentu, odkształcanie się elementów przegród w kojcach, konieczność wymiany elementów lub całych koryt.

Z uwagi na to, że badania przeprowadzono w tuczarni eksperymentalnej, której rozwiązania technologiczne nie były powielane w innych realizowanych obiektach dla tej kategorii zwierząt gospodarskich, pewną trudność sprawia odniesienie się do prac innych badaczy w ramach dyskusji uzyskanych wyników. Autorowi nie są znane jakiekolwiek analizy zniszczenia na skutek skorodowania stalowych prętów, wyznaczających poszczególne stanowiska dla odpasu tuczników w betonowych, okrągłych korytach.

## WNIOSKI

Wyniki badań pozwoliły sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Wilgotność względna powietrza w eksperymentalnym budynku do przemysłowego chowu zwierząt kształtowała się w całym okresie pomiarów instrumentalnych w pobliżu 80%, czyli wartości krytycznej, z uwagi na prędkość procesów korozji, a w miesiącach wrześniu, listopadzie i grudniu nawet ją przekraczała.

2. Korozja elektrochemiczna przyczyniła się do znacznego zniszczenia stalowych elementów, dzielących koryta na stanowiska do odpasu, a niektóre pręty były nawet porożywane w miejscach największego skorodowania.

3. Ostro zakończone i wystające z koryt fragmenty pałków drastycznie obniżały poziom dobrostanu zwierząt utrzymywanych w chlewni.

4. Z uwagi na stan zdrowia tuczników oraz ponoszone nakłady na naprawę przegród zniszczonych wskutek zużycia korozyjnego należałoby niezwłocznie podjąć próbę skutecznego zabezpieczenia stalowych elementów przed dalszymi procesami destrukcji, na przykład stosując powłokę malarską, wykonaną z farby poliuretanowej, odpornej na kondensację pary wodnej, ścieranie i uderzenia, a także na inne niż obojętne pH skarmianych pasz.

## PIŚMIENNICTWO

- Ambroziak W., Stężala S., 1999. Metoda oceny punktowej zużycia korozyjnego maszyn rolniczych w gospodarstwach rolnych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2, 69–75.
- Fijałkowski J., Ihnatowicz B., Kwiatkowski A., 1987. Zabezpieczenia antykorozyjne w budownictwie przemysłowym. *Poradnik projektanta*. Arkady, Warszawa.
- Janik A., 1998. Zestawy powłokowe do ochronnego i renowacyjnego malowania podłoży metalowych. „NOBILES” Sp. z o.o., Włocławek.
- Łęcki W., 1986. Korozja i ochrona przed korozją budowli rolniczych. PWRiL, Poznań.

- Projektowanie, budowa i wyposażanie budynków inwentarskich, 1998. IBMER, Warszawa.
- Rzeźnik C., Rybacki P., 2005. Skuteczność nowoczesnych zabezpieczeń antykorozyjnych połączeń gwintowych w środowiskach pracy maszyn rolniczych. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 4 (2), 3–9.
- Schouten J., Gellings P., 1984. Quantitative measures of corrosion and prevention: I, Definitione and properties. *Br. Corros. J.* 19, 4, 159–164.
- Stężala S., Wyrzykowski W., 1988. Ocena stanu zużycia korozyjnego i jakości ochrony czasowej maszyn rolniczych. *Roczniki Nauk Rolniczych T-78*, 155–168.
- Stężala S., Ambroziak W., Wojdak J., Małkiewicz A., 2008. Techniczno-ekonomiczna ocena efektywności obsługi konserwacyjnej maszyn rolniczych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 3, 143–152.
- Ściślewski Z., 2005. Trwałość i ochrona przed korozją. W: *Budownictwo ogólne. T. 2. Fizyka budowli*. Red. P. Klemm. Arkady, Warszawa.
- Thierry J., Zaleski S., 1982. *Remonty budynków i wzmacnianie konstrukcji*. Arkady, Warszawa.
- Tomczyk W., 2007. Analiza warunków i sposobów przechowywania maszyn rolniczych w aspekcie ich zużycia korozyjnego. *Inżynieria Rolnicza* 7 (95), 207–213.
- Tyczewski P., 2002. Modele interpretacyjne mechanizmu zużycia ścierno-korozyjnego. *Maszynopis*. Politechnika Poznańska, Poznań.
- Tyczewski P., Nadolny K., 2007. Analiza zużycia mechaniczno-ścierno-korozyjnego występującego w przemyśle spożywczym. *Inżynieria Rolnicza* 5 (93), 409–414.
- Wojdak J., 1987. *System organizacji i technologii konserwacji oraz przechowywania sprzętu rolniczego*. Akademia Rolnicza, Szczecin.

## MOISTURE CONDITIONS AND CORROSION DESTRUCTION OF STEEL ELEMENTS OF TROUGHS IN THE EXPERIMENTAL FARM OF SWINE

**Abstrakt:** In buildings for animals' industrial fattening, where the relative moisture of air amount to 80–90%, and the atmosphere contains considerable quantities of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{S}$ , there exist the favourable conditions for quick corrosion of steel units. The conducted research in the experimental farm of swine applied to forming of the relative moisture of air and the level of destruction of steel units of troughs, which were caused by electrochemical corrosion. It was found that there were considerable damages of steel dams almost in all playpens, together with several cases of bursting of rods in places with the largest corroding. The gigantic moisture of air caused acceleration of these corrosive processes in building, in autumn-winter period exceeding even 80%.

**Key words:** electrochemical corrosion, steel, troughs, inventory buildings

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.10.2010