

Henryk Żelazny  
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

## STRUMIEŃ POWIETRZA WENTYLACYJNEGO ASYMILUJĄCEGO WILGOĆ Z BASENÓW DO PRZEMYSŁOWEGO CHOWU RYB W POMIĘSZCZENIACH FERMOwych

### Streszczenie

Celem badań było oszacowanie wymaganego strumienia wentylacyjnego ze względu na asymilację wilgoci z basenów produkcyjnych i utrzymanie stosunkowo niskiej wilgotności względnej powietrza w zamkniętych obiektach przemysłowego chowu ryb ciepłolubnych. Potrzeby wentylacyjne wewnątrz z basenami na ryby oceniano w czterech pomieszczeniach, w których mierzono temperaturę powietrza, wilgotność względną powietrza, prędkość ruchu powietrza i temperaturę wody. Na podstawie tych parametrów obliczono strumienie wody odparowującej z powierzchni zbiorników oraz strumienie powietrza wentylacyjnego w poszczególnych pomieszczeniach. Stwierdzono duże różnice w kształtowaniu się parametrów środowiskowych w badanych budynkach, a konsekwencją tego było olbrzymie zróżnicowanie wielkości wentylacyjnych. Wnioskuje się, że w celu obniżenia wilgotności względnej w tego rodzaju obiektach produkcyjnych należy zakładać automatyczne systemy wymiany powietrza.

**Słowa kluczowe:** strumień powietrza wentylacyjnego, wilgoć z basenów, przemysłowy chów ryb, pomieszczenia fermowe

### Wprowadzenie

Alternatywą stosowanych dotychczas przemysłowych metod chowu (w sadzach, siloxach itp.) staje się produkcja ryb w obiegach zamkniętych (tzw. recyrkulacyjnych) [Sadowski i in. 1999]. Obiektem chowu prowadzonego w specjalnych basenach są zazwyczaj ryby o wysokich wymaganiach termicznych, jak sum afrykański, europejski, amerykański, tilapia, węgorz [Szumiec 1999]. Gatunki z rodzaju *Clarias* preferują temperatury w zakresie aż 25÷30°C [Steffens 1986]. Jeżeli powierzchnia tak ciepłej wody w zbiornikach z rybami styka się z niedosyconym powietrzem w pomieszczeniu fermowym, to powstaje – oprócz wymiany ciepła – zjawisko wymiany masy, czyli przepływ pary wodnej w kierunku niższego potencjału. Siłą napędową tego procesu jest różnica ciśnień cząstkowych pary wodnej w powietrzu warstwy granicznej i powietrzu otaczającym. Wytwarzająca się wówczas

para w pomieszczeniu może nawilżyć powietrze do tego stopnia, że wilgotność jego może przekroczyć warunki komfortu lub niekorzystnie wpłynąć na procesy wytwórcze [Przydróżny 1991].

Pomieszczenia dla zwierząt dodatkowo charakteryzują się specyficznym mikroklimatem, wynikającym z nominalnej funkcji budynków inwentarskich i - oprócz dużej wilgotności względnej powietrza - cechują się zawartością gazów  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  i  $\text{CO}_2$ . Warunki takie są podstawowym źródłem agresywności środowiska w stosunku do materiałów budowlanych [Łęcki 1986]. Dochodzi wówczas do uszkodzeń konstrukcji i elementów wykończenia budynku [Thierry, Zaleski 1982]. Do takiego stanu można nie dopuścić stosując odpowiednio intensywną wentylację [Przydróżny 1991].

Celem badań było oszacowanie wymaganego strumienia wentylacyjnego ze względu na asymilację wilgoci z basenów produkcyjnych i utrzymanie stosunkowo niskiej wilgotności względnej powietrza w zamkniętych obiektach kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych.

### **Materiał i metody**

Potrzeby wentylacyjne w pomieszczeniach z basenami na ryby oceniano w dwóch obiektach fermowych, to jest w Bańskiej koło Zakopanego i w Szczyrku, oraz w dwóch pomieszczeniach należących do Zakładu Ichtibiologii i Gospodarki Rybackiej PAN w Gołyszcu, to znaczy w laboratorium znajdującym się na parterze budynku i w laboratorium znajdującym się na pierwszym piętrze.

Kształtowanie się parametrów środowiska gazowego nad basenami i termikę wody w zbiornikach badano w okresie zimowym, wykorzystując miernik mikroklimatu MM-01. W każdym pomieszczeniu przy centralnie położonym zbiorniku wykonano jednorazową serię pomiarów, składającą się z kilkadziesiątu odczytów temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, prędkości ruchu powietrza i temperatury wody. Czujniki urządzenia pomiarowego charakteryzujące stan obszaru powietrznego umieszczano na statywie nad powierzchnią wody, a sondę do oceny temperatury wody zataplano w basenie.

Strumień masy powietrza wentylacyjnego, asymilujący zbędną wilgoć w pomieszczeniu, obliczono na podstawie zależności [Lipska, Nawrocki 1997]:

$$m_N = W_c \cdot (x_u - x_N)^{-1} \quad (1)$$

gdzie:

$W_c$  – strumień masy wilgoci, kg/s,

$x_u$  – zawartość wilgoci w powietrzu usuwanym, kg  $\text{H}_2\text{O}$ /kg p.s.,

$x_N$  – maksymalna (dopuszczalna) zawartość wilgoci w powietrzu, kg  $\text{H}_2\text{O}$ /kg p.s.

W szacowaniu wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego założono, że wilgotność powietrza w całym pomieszczeniu kontrolowanego chowu ryb jest taka sama (podobnie jak przy otworach wywiewnych), a maksymalną zawartość wilgoci we wnętrzu ustalono dla pewnego progu wilgotności względnej powietrza wewnętrznego.

Wartość strumienia objętości powietrza wentylacyjnego  $m_{Nv}$  uzyskano dzieląc strumień masy powietrza wentylacyjnego przez gęstość powietrza wilgotnego, równą  $1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Strumień wody odparowującej z powierzchni wyznaczono ze wzoru Daltona [Lipska, Nawrocki 1997]:

$$W_c = \sigma \cdot [p_s(u_{pc}) - p_i] \cdot F \cdot 1000 \cdot p_o^{-1} \quad (2)$$

gdzie:

$\sigma$  – współczynnik przejmowania masy w procesie parowania,  $\text{kg/s}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^2$ ,  
 $p_s(u_{pc})$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w warstwie granicznej woda – powietrze, równe ciśnieniu nasycenia w temperaturze  $u_{pc}$ , Pa,  
 $p_i$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej zawartej w powietrzu w pomieszczeniu, Pa,  
 $F$  – powierzchnia parowania,  $\text{m}^2$  (obliczenia odniesiono do  $1 \text{ m}^2$  powierzchni basenów),  
 $p_o$  – ciśnienie powietrza wilgotnego ( $101325 \text{ Pa}$ ).

Temperaturę powierzchni wody  $u_{pc}$  przyjęto z tabel [Przydróżny 1991] na podstawie pomierzonej temperatury w jej głębszych warstwach.

Współczynnik przejmowania masy obliczono z zależności [Lipska, Nawrocki 1997]:

$$\sigma = 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot (a + 0,017 w) \quad (3)$$

gdzie:

$a$  – współczynnik uwzględniający ruch grawitacyjny otaczającego powietrza, równy  $0,022$  dla temperatury powierzchni cieczy do  $30^\circ\text{C}$ ,  
 $w$  – prędkość powietrza omywającego powierzchnię wody,  $\text{m/s}$ .

Zawartość wilgoci w powietrzu usuwanym  $x_u$  oraz zawartość wilgoci w powietrzu przy dopuszczalnej wartości wilgotności względnej powietrza wewnętrznego  $x_N$  określono za pomocą wzoru [Lipska, Nawrocki 1997]:

$$x = 0,622 \cdot p_i \cdot (p_o - p_i)^{-1} \quad (4)$$

gdzie:

$p_i$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej, Pa,  
 $p_o$  – ciśnienie powietrza wilgotnego równe  $101325 \text{ Pa}$ .

Ciśnienia cząstkowe pary wodnej obliczono z zależności [Olifierowicz 1987]:

$$p = \varphi \cdot p_{si} \cdot (100\%)^{-1} \quad (5)$$

gdzie:

$\varphi$  – wilgotność względna powietrza wewnętrznego, %,   
 $p_{si}$  – ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej przy temperaturze powietrza wewnętrznego, Pa.

## Wyniki i ich omówienie

Pomierzone wartości parametrów powietrza w pomieszczeniach do kontrolowanego chowu ryb, temperatury wody w basenach oraz obliczone strumienie wody odparowującej zestawiono w tabeli 1. Odnotowano bardzo zróżnicowane wyniki badań instrumentalnych pomiędzy poszczególnymi obiektami. Temperatura powietrza wewnętrznego różniła się nawet o ponad 10°C. Podobnie i wilgotność względna powietrza kształtowała się w szerokim zakresie wartości, mianowicie 47,3-83,4%.

*Tabela 1. Wartości średnie pomierzonych parametrów środowiskowych oraz obliczone na ich podstawie strumienie odparowującej wody i strumienie powietrza wentylacyjnego, odniesione do 1 m<sup>2</sup> powierzchni basenów w czterech pomieszczeniach kontrolowanego chowu ryb*

*Table 1. Average values of the measured environmental parameters and counted on their basis the streams of vaporizing water and the streams of ventilating airs, related to 1 m<sup>2</sup> of surface of pools in four rooms for the controlled fish's breeding*

Wielkość pomierzona lub obliczona	Obiekt w Bańskiej	Obiekt w Szczyrku	Obiekt w Gołyszcu	
			parter	piętro
Temperatura powietrza $t_i$ (°C)	27,7	20,9	16,8	18,4
Temperatura wody $t_w$ (°C)	23,7	22,7	20,4	20,7
Temperatura powierzchni wody $\vartheta_{pc}$ (°C)	21,7	20,7	18,4	18,7
Wilgotność względna powietrza $\varphi_i$ (%)	47,3	83,4	61,4	71,3
Prędkość ruchu powietrza $w$ (m/s)	0,20	0,10	0,14	0,17
Strumień wody odparowującej $W_c$ (kg/s)	$43844 \cdot 10^{-9}$	$19977 \cdot 10^{-9}$	$47274 \cdot 10^{-9}$	$32750 \cdot 10^{-9}$
Strumień masy powietrza wentylacyjnego $m_N$ (kg/s)	0	0,0054333	0,2829129	0,0216592
Strumień objętości powietrza wentylacyjnego $m_{Nv}$ (m <sup>3</sup> /s)	0	0,0045275	0,2357607	0,0180493

Aby określić maksymalną zawartość wilgoci w powietrzu  $x_N$ , podjęto próbę ustalenia dopuszczalnej wilgotności względnej powietrza w pomieszczeniach fermowych z basenami produkcyjnymi. Jej wartość ze względu na komfort cieplny pracujących ludzi powinna się zawierać w przedziale 40-60% [Mirski 1986]. Podobne minimum i maksimum podane zostały w propozycji do normowych określeń dopuszczalnych zakresów wartości liczbowych elementów termicznych mikroklimatu w budynkach [Śliwowski 2005]. Mając na uwadze inny aspekt obciążenia wilgotnościowego pomieszczeń, mianowicie namnażanie się szkodliwych drobnoustrojów w zawilgoconych wnętrzach, to stały poziom wilgotności względnej powietrza powyżej 70% ułatwia rozwój trudnej do likwidacji pleśni, a ryzyko wystąpienia i rozwoju grzybów

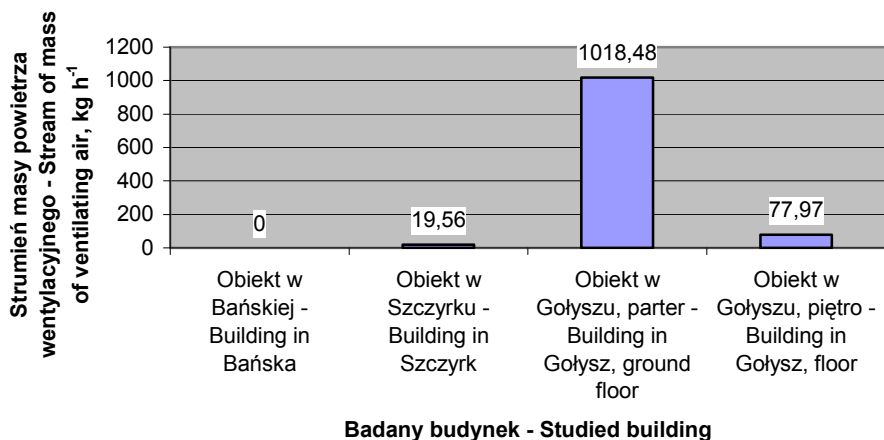
pleśniowych w wyrobach kapilarno-porowatych istnieje już w warunkach utrzymywania się w pobliżu tych materiałów wilgotności większej niż 80% przez zaledwie kilka dni [Laskowski 2005]. Badania wykazały także, że przy temperaturze powietrza 25°C, a taka powinna być utrzymywana w zamkniętych obiektach do kontrolowanego chowu ryb, oraz przy wilgotności względnej powietrza od 45% wzwyż może dojść do wzrostu grzybów pleśniowych na papierze [Kostyrko, Okołowicz-Grabowska 1977], a więc i na farbach emulsyjnych zawierających pochodne celulozy [Zyska 1999].

W ocenie agresywności środowiska gazowego względem konstrukcji betonowych i żelbetowych środowisko to określa się jako suche, jeżeli wilgotność powietrza wynosi poniżej 60% [Fijałkowski i in. 1987]. Mając na uwadze wszystkie te przesłanki zdecydowano się przyjąć jako maksymalną wilgotność względną powietrza w pomieszczeniach fermowych równą 60%. Dla tej wartości i rzeczywistej temperatury powietrza obliczono dla każdego pomieszczenia ze zbiornikami na ryby dopuszczalną zawartość wilgoci w powietrzu  $x_N$ , na podstawie której oszacowano strumienie masy oraz objętości powietrza wentylacyjnego. Ich wartości odniesione do 1 m<sup>2</sup> powierzchni basenów zamieszczono w tabeli 1.

W obiekcie fermowym w Bańskiej wilgotność względna powietrza wynosiła tylko 47,3%, stąd w jego wnętrzu nie była wymagana jego wymiana z uwagi na zbędną wilgoć. Dla zobrazowania wielkości strumieni wentylacyjnych, dokonano przeliczeń ich wartości z kg/s na kg/h w przypadku strumienia masy powietrza oraz odpowiednio z m<sup>3</sup>/s na m<sup>3</sup>/h w przypadku strumienia objętości, a przedstawiono je w sposób graficzny na rysunkach 1 i 2.

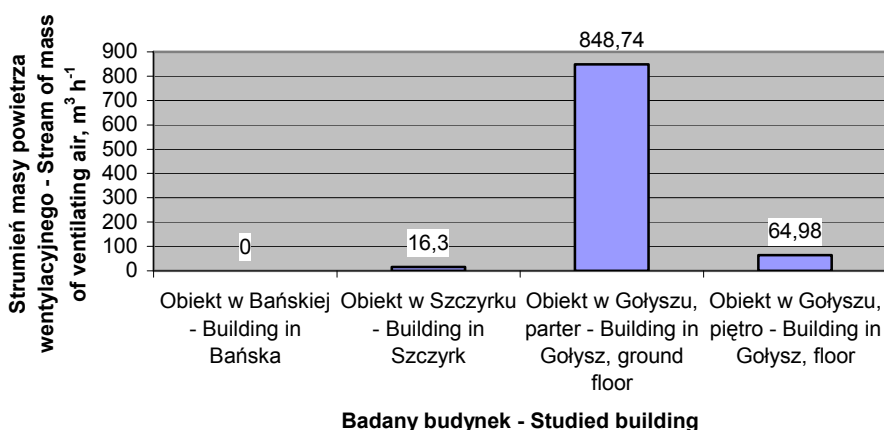
Podkreślone wcześniej duże zróżnicowanie parametrów środowiskowych w pomieszczeniach kontrolowanego chowu ryb przyczyniło się do powstawania różnych pod względem liczbowym strumieni wody odparowującej z basenów produkcyjnych, a warunki te łącznie wygenerowały bardzo odmienne potrzeby wentylacyjne tych wnętrz. Tak duża rozpiętość wartości strumieni powietrza wentylacyjnego zupełnie nie pozwala na uogólnienie wyników badań w celu wskazania wytycznych projektowych wobec układów wentylacji w tego rodzaju obiektach produkcyjnych.

W kontrolowanym chowie ryb powinno się dążyć do utrzymywania ściśle ustalonej temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz temperatury wody w obiegu recyrkulacyjnym. Wówczas utrzymywałby się względnie stały strumień wody odparowującej ze zbiorników, a warunki takie pozwoliłyby w miarę dokładnie sprecyzować wielkość wentylacyjną odniesioną do 1 m<sup>2</sup> powierzchni basenów. Wydaje się jednak, że chęć uzyskania wilgotności względnej powietrza w budynkach fermowych na jednakowym niskim poziomie przy dużych zyskach wilgoci oraz znacznej zmienności mikroklimatu wiązać się musi z koniecznością projektowania w nich zautomatyzowanych systemów wentylacji.



Rys. 1. Oszacowany strumień masy powietrza wentylacyjnego w badanych pomieszczeniach kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych, odniesiony do 1 m<sup>2</sup> powierzchni basenów

Fig. 1. Estimated mass stream of ventilation air in tested accommodations for controlled breeding of thermophilous fish, related to 1 m<sup>2</sup> of basin surface



Rys. 2. Oszacowany strumień objętości powietrza wentylacyjnego w badanych pomieszczeniach kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych

Fig. 2. The estimated stream of volume of ventilating air in the studied rooms for the controlled warmth-like fish's breeding

## Wnioski

1. Pomieszczenia, w których odbywał się przemysłowy chów ryb ciepłolubnych, charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem parametrów termicznych powietrza i wody w basenach.
2. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono pomiędzy poszczególnymi obiektami bardzo dużą rozbieżność w wartościach strumieni wody odparowującej ze zbiorników na ryby.

3. Odmienne kształtowanie się parametrów środowiskowych w badanych wnętrzach oraz strumieni parującej wody z powierzchni basenów spowodowało olbrzymie zróżnicowanie potrzeb wentylacyjnych w funkcjonujących budynkach z intensywną produkcją ryb.
4. W celu dokładniejszego oszacowania wielkości strumienia wentylacyjnego w pomieszczeniach fermowych należałoby w nich, przynajmniej na czas badań, utrzymywać jednakowe wartości parametrów środowiskowych.
5. Wydaje się, że najbardziej korzystnym rozwiązaniem z uwagi na obniżenie wilgotności względnej powietrza w zamkniętych obiektach do kontrolowanego chowu ryb będzie montaż zautomatyzowanych systemów wentylacji.

### **Bibliografia**

- Fijałkowski J., Ichnatowicz B., Kwiatkowski A. 1987. Zabezpieczenia antykorozyjne w budownictwie przemysłowym. Poradnik projektanta. Arkady, Warszawa
- Kostyrko K., Okołowicz-Grabowska B. 1977. Pomiary i regulacja wilgotności w pomieszczeniach. Arkady, Warszawa
- Laskowski L. 2005. Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- Lipska B., Nawrocki W. 1997. Podstawy projektowania wentylacji – przykłady. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice
- Łęcki W. 1986. Korozja i ochrona przed korozją budowli rolniczych. PWRiL, Poznań
- Mirski Z. 1986. Kształtowanie wnętrz produkcyjnych. Arkady, Warszawa
- Olifierowicz J. 1987. Zagadnienia cieplno-wilgotnościowe przegród budowlanych. W: Żenczykowski W. Budownictwo ogólne T. 3/1 Problemy fizyki budowli i izolacje. Arkady, Warszawa
- Przydróżny S. 1991. Wentylacja. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- Sadowski J., Trzebiatowski R., Filipiak J. 1999. Chów ryb. Przewodnik do ćwiczeń. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Szczecinie, Szczecin
- Steffens W. 1986. Intensywna produkcja ryb. PWRiL, Warszawa
- Szumiec J. 1999. Produkcyjne i pozaprodukcyjne aspekty rozwoju gospodarki stawowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej – Filii w Bielsku-Białej Nr 52. Informatyka, Organizacja i Zarządzanie, seria 6. Bielsko-Biała, ss. 201-206
- Śliwowski L. 2005. Mikroklimat wnętrz. W: Zagadnienia cieplno-wilgotnościowe przegród budowlanych. W: Klemm P. (red.). Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli, Arkady, Warszawa

Thierry J., Zaleski S. 1982. Remonty budynków i wzmacnianie konstrukcji. Arkady, Warszawa

Zyska B. 1999. Zagrożenia biologiczne w budynku. Arkady, Warszawa