

BADANIA WERYFIKUJĄCE OPINIĘ O MOŻLIWOŚCI OGRZEWANIA WODY W BASENACH DLA RYB POPRAZ OGRZEWANIE POWIETRZA W BUDYNKU

Henryk Żelazny

Katedra Inżynierii Produkcji, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Streszczenie. Celem pracy było zweryfikowanie na podstawie badań instrumentalnych opinii o możliwości ogrzewania wody w basenach do przemysłowej produkcji ryb poprzez ogrzewanie powietrza wewnętrznego w zamkniętym obiekcie fermowym. Zakresem analizy objęto zyski i straty ciepła między wodą w zbiornikach na ryby a otoczeniem na drodze promieniowania, konwekcji suchej i mokrej oraz przewodzenia przez ściany basenów. Pomiary parametrów termicznych powietrza i wody w basenach przeprowadzono w czterech eksploatowanych pomieszczeniach kontrolowanego chowu suma afrykańskiego. We wszystkich przypadkach straty z wody przewyższały zyski strumienia ciepła z powietrza, nie wyłączając fermy w Bańskiej, w której temperatura powietrza była podniesiona w stosunku do temperatury wody aż o 4°C. Stąd należałoby poddać w wątpliwość samoogrzewanie się wody od powietrza w tego typu obiektach.

Słowa kluczowe: bilans ciepła, basen, ryba, obiekt fermowy

Wprowadzenie

Wzrastający popyt na ryby, przy ograniczonych zasobach wodnych, zmusza producentów ryb do poszukiwania nowych sposobów produkcji, umożliwiających wielokrotne wykorzystanie tej samej wody, stąd alternatywą stosowanych dotychczas przemysłowych metod chowu (w sadzach, siloxach itp.) staje się chów w obiegach zamkniętych (tzw. recyrkulacyjnych) [Sadowski i in. 1999]. W specjalnych basenach z recyrkulacją wody obiektem chowu są zazwyczaj ryby o wysokich wymaganiach termicznych, jak sumy afrykańskie (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) [Kuczyński i in. 1999]. Są to ryby ciepłolubne i optymalne dla ich produkcji temperatury zasadniczo przekraczają 20°C – gatunki z rodzaju *Clarias* preferują temperatury w zakresie 25÷30°C [Steffens 1986]. W literaturze fachowej podaje się (podobne opinie wypowiadają producenci), że obecnie najpowszechniej stosowany jest system ogrzewania wody w instalacji poprzez ogrzewanie powietrza wewnątrz funkcjonujących ferm [Kuczyński i in. 1999; Sadowski i in. 1999]. Stwarza on sytuację korzystną zarówno z punktu widzenia technologicznego, jak i ekonomicznego [Kuczyński i in. 1999].

Celem pracy było zweryfikowanie na podstawie badań instrumentalnych opinii o możliwości ogrzewania wody w basenach do kontrolowanego chowu ryb poprzez ogrzewanie powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu fermowym. Zakresem analizy objęto zyski

i straty ciepła między wodą w zbiornikach na ryby a otoczeniem na drodze promieniowania, konwekcji suchej i mokrej oraz przewodzenia przez ściany basenów.

Material i metody

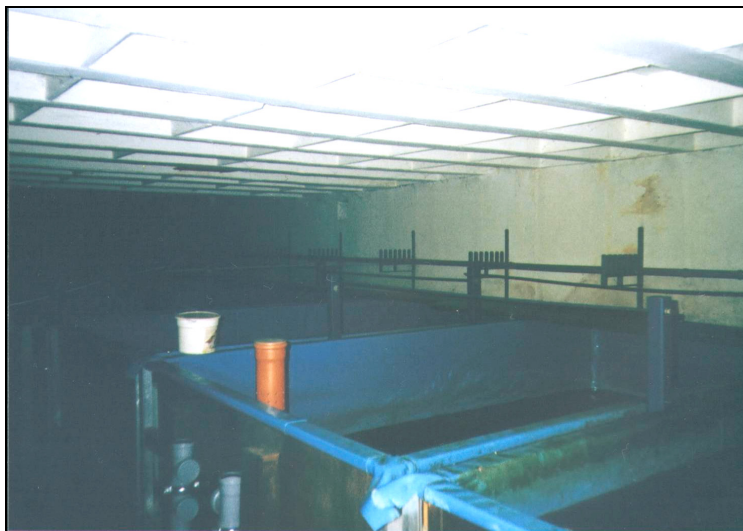
Badania strat i zysków ciepła między wodą w basenach do kontrolowanego chowu ryb a otoczeniem oceniano: w fermie suma w Bańskiej koło Zakopanego (rys. 1), w fermie w Szczyrku (rys. 2), w laboratorium znajdującym się na parterze budynku należącego do PAN w Gołyszach oraz w laboratorium znajdującym się na pierwszym piętrze tego budynku. Zbiorniki wykonane były z tworzyw sztucznych, a ściany miały grubość 0,08 m.

Niezbędne parametry ośrodków, na podstawie których wyznaczono obliczeniowo zyski lub straty strumienia ciepła z wody basenowej, ustalono na podstawie badań instrumentalnych. Pomiary wykonano miernikiem mikroklimatu MM-01, składającym się z komputerowej jednostki centralnej i zespołu sond na statywie.

W każdym obiekcie przy centralnie położonym zbiorniku wykonano jednorazową serię pomiarów, składającą się z 32 do 69 odczytów temperatury powietrza, temperatury promieniowania, wilgotności względnej powietrza, prędkości ruchu powietrza i temperatury wody. Czujniki charakteryzujące stan obszaru powietrznego umieszczano nad powierzchnią wody, a sondę do oceny temperatury wody zagłębiano w basenie.



Rys. 1. Zamknięty obiekt fermowy w Bańskiej do kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych
Fig. 1. Closed farm facility in Banska for controlled breeding of stenothermic fish



Rys. 2. Wnętrze obiektu fermowego w Szczyrku

Fig. 2. Interior of farm facility in Szczyrk

Strumień ciepła przepływający między wodą i powietrzem przez ściany basenów, z uwzględnieniem warunków brzegowych (złożona wymiana ciepła), wyznaczono z zależności:

$$\Psi_p = U \cdot A (t_w - t_p) \quad (1)$$

gdzie:

- U – współczynnik przenikania ciepła [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$],
- A – pole powierzchni [m^2],
- t_w – temperatura wody w basenach [$^{\circ}\text{C}$],
- t_p – temperatura powietrza w pomieszczeniu [$^{\circ}\text{C}$].

Współczynnik przenikania ciepła określono ze wzoru:

$$U = (h_w^{-1} + d \cdot \lambda^{-1} + h_p^{-1})^{-1} \quad (2)$$

gdzie:

- h_w – współczynnik przejmowania ciepła od strony wody [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$],
- d – grubość ścianki zbiornika [m],
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła [$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$],
- h_p – współczynnik przejmowania ciepła od powietrza [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$].

Do obliczeń przyjęto współczynnik przewodzenia ciepła przez materiał ścianek basenów $\lambda = 0,25 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ (jak dla tworzyw sztucznych o gęstości $1700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) [Pogorzelski 2005], współczynnik przejmowania ciepła od powietrza $h_p = 7,69 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ [Pogorzelski

2005], a współczynnik wnikania ciepła od strony wody h_w pominięto ze względu na jego bardzo dużą wartość [Kowalczyk 1999].

Parująca woda jest źródłem ciepła suchego i mokrego, a ciepło suche przekazywane jest do pomieszczenia przez promieniowanie i konwekcję w wyniku różnicy temperatury tej powierzchni i powietrza w pomieszczeniu [Lipska i in. 1997]. Jest to złożony mechanizm ruchu ciepła, w którym ciepło wnikające od powierzchni lub odwrotnie jest sumą ciepła konwekcji i promieniowania [Kowalczyk 1999]. Strumień ciepła suchego, wymienianego na drodze konwekcji między powierzchnią wody i powietrzem nad basenem obliczono ze wzoru [Lipska i in. 1997]:

$$\Psi_{sk} = h \cdot A \cdot (\vartheta_{pc} - t_p) \quad (3)$$

gdzie:

- h – współczynnik wnikania ciepła [$\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$],
- A – pole powierzchni [m^2],
- ϑ_{pc} – temperatura powierzchni wody (z tabel na podstawie temperatury wody t_w [Przydróżny 1991]) [$^{\circ}\text{C}$],
- t_p – temperatura powietrza wewnętrznego [$^{\circ}\text{C}$].

Współczynnik wnikania ciepła wyznaczono z zależności [Lipska i in. 1997]:

$$h = 5,7 + 4,07 v, \quad (4)$$

gdzie:

- v – prędkość powietrza omywającego powierzchnię wody [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

W ocenie ilościowej strumienia ciepła wymienianego między powierzchnią wody i otoczeniem drogą promieniowania wykorzystano stosowany w zagadnieniach technicznych wzór [Kostowski 1993]:

$$\Psi_{r,1-2} = A_1 \cdot \varepsilon_{1-2} \cdot C_c [(0,001 T_{pc})^4 - (0,001 T_r)^4] \quad (5)$$

gdzie:

- A_1 – powierzchnia ciała mniejszego (wody w basenach),
- m^2 ; ε_{1-2} – emisyjność wzajemna (o charakterze wielkości zredukowanej), zależna od emisyjności ośrodka pierwszego, emisyjności ośrodka drugiego i od stosunków konfiguracji w układach powierzchni wymieniających ciepło,
- C_c – techniczna stała promieniowania wynosząca $5,67$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$],
- T_{pc} – bezwzględna temperatura powierzchni wody [K],
- T_r – bezwzględna, średnia temperatura powierzchni otaczających [K].

W sytuacji, kiedy wymiana ciepła odbywa się między dwiema powierzchniami zamykającymi przestrzeń, z których jedna jest niewklęsła, oraz gdy powierzchnia A_2 jest bardzo duża ($A_2 \gg A_1$), to emisyjność wzajemna dąży do wartości ε_1 (emisyjności ciała pierwszego). Ma to miejsce właśnie podczas promieniowania jakiegoś ciała do otoczenia [Kostowski 1993]. Stąd za emisyjność wzajemną podstawiono emisyjność powierzchni wody, równą $0,95$ [Kostowski 1993]. Z kolei za średnią temperaturę powierzchni otaczających

przyjęto pomierzoną w poszczególnych obiektach temperaturę promieniowania, gdyż o wartości liczbowej tego parametru decydują właśnie temperatury powierzchni otaczających to pomieszczenie [Śliwowski 2005]. Ze względu na trudności w ustaleniu emisyjności oraz temperatury zewnętrznych powierzchni zbiorników wodnych w opracowaniu pominięto wymianę ciepła między ściankami basenów a otoczeniem na drodze promieniowania.

Strumień ciepła mokrego unoszącego się z powierzchni wody w zbiornikach obliczono ze wzoru [Lipska i in. 1997]:

$$\Psi_m = m_p i_p(\vartheta_{pc}) \quad (6)$$

gdzie:

- m_p – strumień wody odparowującej z powierzchni [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$],
- $i_p(\vartheta_{pc})$ – entalpia powietrza przy powierzchni wody o temperaturze ϑ_{pc} , [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$].

Do określenia strumienia wody odparowującej z powierzchni wykorzystano wzór Daltona [Lipska i in. 1997]:

$$m_p = \sigma \cdot [p_s(\vartheta_{pc}) - p_{pi}] \cdot A \cdot 1000 \cdot p_o^{-1} \quad (7)$$

gdzie:

- σ – współczynnik przejmowania masy w procesie parowania [$\text{kg}\cdot(\text{s}\cdot\text{Pa}\cdot\text{m}^2)^{-1}$],
- $p_s(\vartheta_{pc})$ – ciśnienie cząstkowe pary wodnej w warstwie granicznej woda – powietrze równe ciśnieniu nasycenia w temperaturze ϑ_{pc} [Pa],
- p_{pi} – ciśnienie cząstkowe pary wodnej zawartej w powietrzu w pomieszczeniu [Pa],
- A – powierzchnia parowania, m^2 ; p_o – ciśnienie powietrza wilgotnego (przyjęto 1013 hPa).

Współczynnik przejmowania masy w procesie parowania wyznaczono z zależności:

$$\sigma = 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot (a + 0,017 v) \quad (8)$$

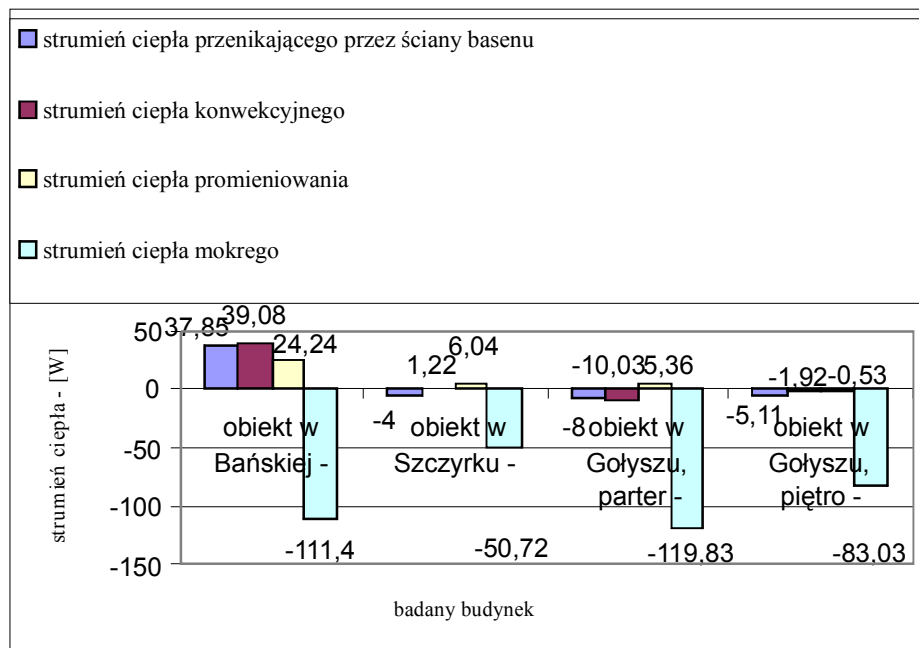
gdzie:

- v – prędkość powietrza omywającego powierzchnię wody [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
- a – współczynnik uwzględniający ruch otaczającego powietrza, równy 0,022 dla $\vartheta_{pc} \leq 30^\circ\text{C}$.

W obliczeniach wymieniane z otoczeniem strumienie ciepła odniesiono do powierzchni jednego metra kwadratowego wody lub ścianki basenu ($A = 1 \text{ m}^2$), uzyskując w ten sposób w ostatecznych wynikach gęstości strumienia ciepła.

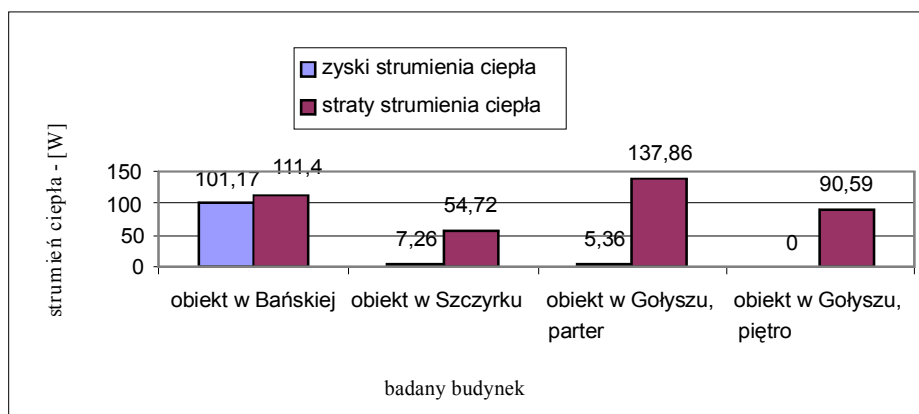
Wyniki i ich omówienie

Obliczone na podstawie parametrów cieplno-wilgotnościowych wody i powietrza strumienie ciepła, wymieniane z basenów produkcyjnych na drodze przenikania przez ściany zbiorników oraz konwekcji, radiacji i ewaporacji z powierzchni wody, zobrazowano w sposób graficzny na rys. 3. Stosunkowo duże zyski ciepła z otoczenia do wody uzyskano



Rys. 3. Strumienie ciepła w badanych pomieszczeniach fermowych

Fig. 3. Heat fluxes in examined farm rooms



Rys. 4. Ostateczne zyski i straty strumienia ciepła z wody w basenach na ryby

Fig. 4. Final gains and losses of heat flux from water in pools for fish

jedynie w intensywnie ogrzewanym budynku w Bańskiej, gdzie średnia wartość temperatury powietrza była większa od średniej wartości temperatury wody o 4°C. Wnętrze to jednak charakteryzowało się w porównaniu z pozostałymi pomieszczeniami bardzo niską wilgotnością względną powietrza, a dość duży niedosyt fizyczny wilgotności generował znaczny strumień ciepła mokrego ze zbiorników, co w ostateczności powodowało także i w tym obiekcie niekorzystny bilans cieplny wody w basenach – rys. 4. Wyniki badań skłaniają raczej do opinii, że kilkustopniowa różnica temperatury wody i powietrza jest zbyt mała, aby osiągnąć samoogrzewalność basenów, chyba że termika wody w istotny sposób poprawiana jest minimalnymi zyskami ciepła od każdej ryby, które tuczy się w olbrzymim zagęszczeniu.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować wniosek, że ogrzewanie wody w basenach na ryby poprzez ogrzewanie powietrza w budynku fermowym przy kilkustopniowej różnicy temperatury nie jest niemożliwe, a znaczne podniesienie temperatury powietrza w stosunku do temperatury wody w celu zapewnienia zysków ciepła do zbiorników pociąga za sobą obniżenie się wilgotności względnej powietrza, skutkiem czego z powierzchni cieczy traci się więcej ciepła mokrego, liczbowo przekraczającego zyski.

Bibliografia

- Kowalczyk R.** 1999. Ruch ciepła. WN-T. Warszawa. ISBN 83-204-2324-4 [w:] Lewicki P. P. (red.). Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. s. 190-239.
- Kostowski E.** 1993. Promieniowanie cieplne. PWN. Warszawa. ISBN 83-01-10847-9.
- Kuczyński M., Miś J., Szumiec J.** 1999. Chów suma afrykańskiego w obiegach recykulowanych. ODR w Bielsku-Białej. Bielsko-Biała. ISBN 83-912740-0-4.
- Lipska B., Nawrocki W.** 1997. Podstawy projektowania wentylacji – przykłady. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice. ISSN 0434-0825.
- Pogorzelski J.A.** 2005. Zagadnienia cieplno-wilgotnościowe przegród budowlanych. Arkady. Warszawa. ISBN 83-213-4408-9. [w:] Klemm P. (red.). Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli. s. 103-364.
- 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. ISBN 83-87327-22-0.
- Steffens W.** (red.) 1986. Intensywna produkcja ryb. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-09-01033-8.
- Śliwowski L.** 2005. Mikroklimat wewnątrz. Arkady. Warszawa. ISBN 83-213-4408-9. [w:] Klemm P. (red.). Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli. s. 53-102.

RESEARCH VERIFYING THE OPINION CONCERNING POSSIBILITY TO HEAT WATER IN POOLS FOR FISH BY MEANS OF HEATING AIR IN A BUILDING

Abstract. The purpose of the work was to carry out an instrumental research aimed to verify the opinion regarding possibility to heat water in pools for industrial scale fish production by means of heating inside air in a closed farm facility. The scope of the analysis covered heat gains and losses between water in reservoirs for fish and environment resulting from radiation, dry and wet convection, and conduction through pool walls. Thermal parameters of air and water in the pools were measured in four rooms currently used for controlled African sheatfish breeding. In all cases losses from water were higher than gains of heat flux gains from air, including the farm in Banska, in which air temperature was as much as 4°C higher compared to water temperature. Thus, the process of spontaneous water heating resulting from its contact with air in facilities of this type should be questioned.

Key words: heat balance, pool, fish, farm facility

Adres do korespondencji:

Henryk Żelazny; e-mail: hzelazny@wp.eu
Katedra Inżynierii Produkcji
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
ul. Willowa 2
43-309 Bielsko-Biała