

## WYMIANA CIEPŁA MIĘDZY WODĄ W BASENACH DO KONTROLOWANEGO CHOWU RYB CIEPŁOLUBNYCH A OTOCZENIEM

Henryk Żelazny

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

**Streszczenie.** Celem pracy była ocena skali zjawiska wymiany ciepła drogą przewodzenia oraz ciepła suchego przenieszonego na skutek konwekcji i radiacji między wodą w basenach do kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych a otoczeniem w istniejących obiektach fermowych. Strumienie ciepła określono metodą obliczeniową na podstawie pomiarów temperatury wody basenowej oraz parametrów powietrza wewnętrznego w czterech pomieszczeniach produkcyjnych. W trzech słabo ogrzewanych wnętrzach stwierdzono niewielkie straty ciepła z basenów na skutek przenikania przez ściany zbiorników, a w dwóch przypadkach straty konwekcyjnego ciepła suchego z powierzchni wody. W budynku o znacznie podwyższonej temperaturze powietrza strumień ciepła suchego i strumień ciepła przewodzenia przepływały w kierunku odwrotnym, to jest od otoczenia do basenów.

**Słowa kluczowe:** wymiana ciepła, basen, ryba, obiekt fermowy

### Wprowadzenie

W specjalnych basenach z recykulacją wody obiektem chowu są zazwyczaj ryby o wysokich wymaganiach termicznych, jak sum afrykański, europejski, amerykański, węgorz. Obecnie w Polsce rośnie szczególnie zainteresowanie fermowym chowem sumów afrykańskich (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) [Kuczyński i in. 1999]. Praktycznie całość europejskiej produkcji tej ryby realizowana jest w fermach wyposażonych w obiegi recykulowane, a konieczność przyjęcia systemu pozwalającego na wielokrotne wykorzystanie raz podgrzanej wody wynika z potrzeby ograniczenia kosztów energii niezbędnej dla utrzymania stabilnej temperatury 25°C przez cały okres tuczu [Kuczyński i in. 1999]. Wysoka temperatura wody może być utrzymywana w wyniku ogrzewania powietrza w pomieszczeniu ze zbiornikami hodowlanymi [Sadowski i in. 1999] lub poprzez system ogrzewania wody w instalacji [Kuczyński i in. 1999]. Aby utrzymać stałą termikę wody w instalacji z recykulowanym obiegiem oraz zapobiec kondensacji pary wodnej na przegrodach budowlanych, powietrze w pomieszczeniu fermowym powinno być ogrzane do temperatury o 2–3°C wyższej od pożądanej temperatury wody [Kuczyński i in. 1999].

Celem pracy była ocena skali zjawiska wymiany ciepła drogą przewodzenia oraz ciepła suchego przenieszonego na skutek konwekcji i radiacji między wodą w basenach do kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych a otoczeniem w istniejących zamkniętych obiektach fermowych.

## Materiał i metody

Badania wymiany ciepła między wodą w basenach do kontrolowanego chowu ryb a otoczeniem oceniano: w fermie suma w Bańskiej koło Zakopanego, w fermie w Szczyrku, w laboratorium znajdującym się na parterze budynku należącego do PAN w Gołyszcu oraz w laboratorium znajdującym się na pierwszym piętrze tego budynku. Zbiorniki wykonane były z tworzyw sztucznych, a ścianki miały grubość 0,08 m.

Niezbędne parametry ośrodków (wody i powietrza), na podstawie których oszacowano w sposób obliczeniowy straty lub zyski ciepła z wody basenowej, ustalono na podstawie badań instrumentalnych, które przeprowadzono w okresie zimowym. 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, prędkości ruchu powietrza i temperatury wody. Czujniki charakteryzujące stan obszaru powietrznego umieszczano nad powierzchnią wody, a sondę do oceny temperatury wody zagłębiono w basenie.

Strumień ciepła [W] 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 [ $\text{m}^2$ ],
- $t_w$  – 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],
- $\lambda$  – 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],  $h_p = 7,69 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$  [Pogorzelski 2005], a współczynnik wnikania ciepła  $h_w$  pominęto ze względu na jego bardzo dużą wartość [Kowalczyk 1999].

Parująca woda jest źródłem ciepła suchego i mokrego. Na ciepło mokre składa się ciepło utajone, związane ze zmianą zawartości wilgoci, oraz ciepło jawne, pochodzące od pary wodnej. Ten ostatni składnik wraz z ciepłem suchym stanowi ciepło jawne, wywołujące zmianę temperatury powietrza w pomieszczeniu [Lipska i in. 1997].

Ciepło suche przekazywane jest do pomieszczenia przez promieniowanie i konwekcję w wyniku różnicy temperatur tej powierzchni i powietrza w pomieszczeniu. Jest to złożony mechanizm ruchu ciepła, w którym ciepło wnikające od powierzchni lub odwrotnie jest sumą ciepła konwekcji i promieniowania [Kowalczyk 1999].

Strumień ciepła wymienianego na drodze konwekcji [W] między powierzchnią wody i powietrzem nad basenem obliczono ze wzoru [Lipska i in. 1997]:

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

gdzie:

- $h$  – współczynnik wnikania ciepła [ $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ ],
- $A$  – pole powierzchni [ $\text{m}^2$ ],
- $g_{pc}$  – 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 [W] wykorzystano stosowany w zagadnieniach technicznych wzór [Kostowski 1993]:

$$\Psi_{r,1-2} = A_1 \cdot \varepsilon_{1-2} \cdot C_c [(0,01 T_{pc})^4 - (0,01 T_r)^4] \quad (5)$$

gdzie:

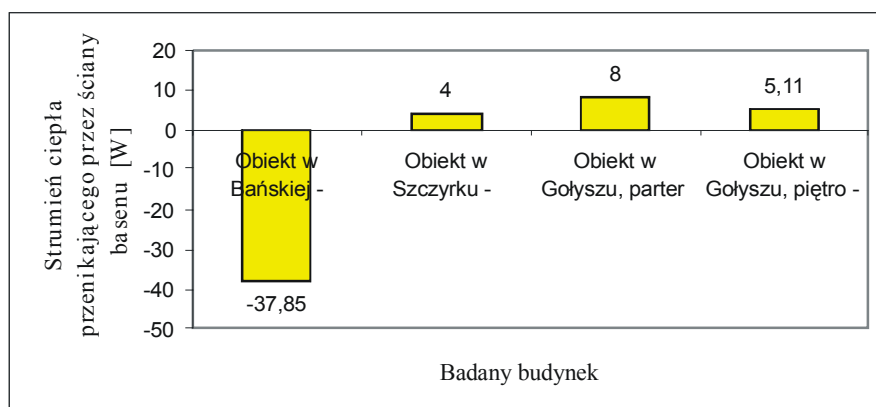
- $A_1$  – powierzchnia ciała mniejszego (wody w basenach) [ $\text{m}^2$ ],
- $\varepsilon_{1-2}$  – emisyjność wzajemna (o charakterze wielkości zredukowanej),
- $C_c$  – techniczna stała promieniowania równa  $5,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ,
- $T_{pc}$  – bezwzględna temperatura 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 niewkłęśła, oraz gdy powierzchnia  $A_2$  jest bardzo duża ( $A_2 \gg A_1$ ), to emisyjność zastępcza dąży do wartości  $\varepsilon_1$  (emisyjności ciała pierwszego). Ma to miejsce właśnie podczas promieniowania 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 wypromieniowywanie ciepła ze ścianek basenów do otoczenia.

Wartości strumieni ciepła wymienianych między basenem i otoczeniem obliczono dla powierzchni wody lub ścianki zbiornika równej  $1 \text{ m}^2$ .

## Wyniki i ich omówienie

Jedynie w budynku w Bańskiej wartość temperatury powietrza była większa od wartości temperatury wody, a różnica wyniosła dokładnie  $4^\circ\text{C}$ , czyli więcej od zalecanych w celu utrzymania stałej termiki wody  $2\div 3^\circ\text{C}$  [Kuczyński i in. 1999]. Stąd w przypadku tej fermy można już przewidzieć, że z wymiana ciepła między basenami i ich otoczeniem nie będzie odbywać się w kierunku ze zbiorników do pomieszczenia, lecz w odwrotnym. Wartości strumienia ciepła wymienianego na drodze przewodzenia między wodą i powietrzem omywającym zbiorniki zobrazowano na rys. 1. Zyski ciepła do wodnego środowiska chowu przez zbiornik odnotowano jedynie w Bańskiej i wyniosły one z  $1 \text{ m}^2$  powierzchni ścian basenów aż  $37,85 \text{ W}$ . Z kolei największe straty ciepła przez przenikanie, równe  $8 \text{ W}$  z  $1 \text{ m}^2$ , wystąpiły ze zbiornika znajdującego się na parterze obiektu w Gołyszach, który charakteryzował się wyraźnie niską temperaturą powietrza w stosunku do temperatury wody w basenach.

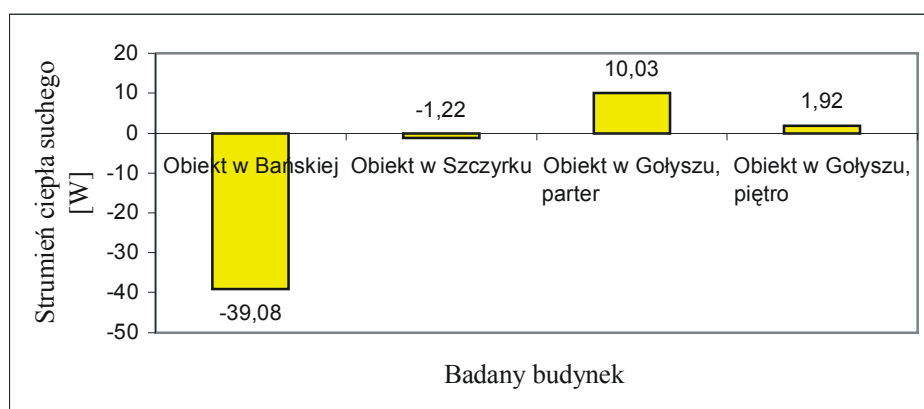


Rys. 1. Strumień ciepła wymienianego na drodze przewodzenia między wodą w basenach i powietrzem omywającym zbiorniki przez ściankę o powierzchni  $1 \text{ m}^2$

Fig. 1. The stream of heat exchanged on way of conduction between the water in pools and the air rounding reservoirs through sides with the surface of  $1 \text{ m}^2$

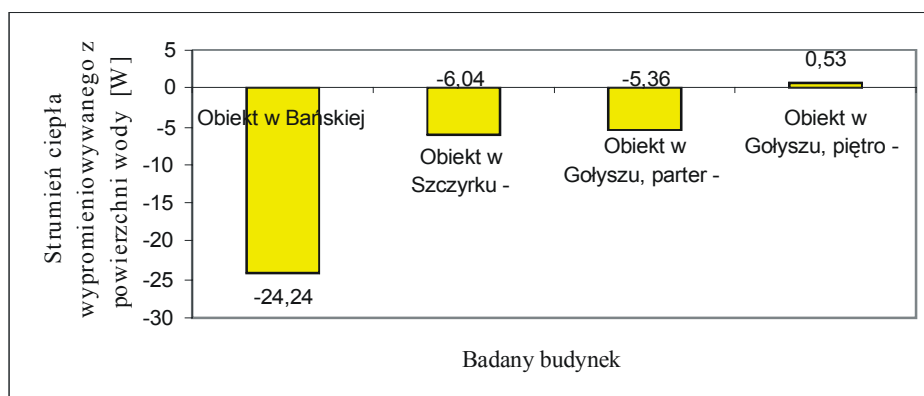
Wartości strumienia ciepła suchego wymienianego na drodze konwekcji w strefie kontaktowej wody i powietrza nad basenami dla poszczególnych pomieszczeń chowu ryb w sposób graficzny przedstawiono na rys. 2. Straty energii wskutek unoszenia ciepła z lustra cieczy do wnętrza budynku możliwe są tylko wówczas, gdy temperatura powietrza obniży się więcej niż o  $2^\circ\text{C}$  w stosunku do temperatury wody, bowiem temperatura powierzchni wody w stosunku do głębszych warstw spada właśnie o ok.  $2^\circ\text{C}$ . Odpływ ciepła ze zbiorników tą drogą okazał się istotny tylko w przypadku pomieszczenia chowu znaj-

dującego się w części przyziemnej zabudowań w Gołyszach, gdzie temperatura powietrza była mniejsza aż o  $3,6^{\circ}\text{C}$  niż temperatura wody w basenie. Straty ciepła z górnej warstwy cieczy na powierzchni  $1\text{ m}^2$  przekraczały  $10\text{ W}$ , co z całą pewnością należałoby uwzględnić w obliczeniach mocy urządzenia do podgrzewania wody oraz w bilansie cieplnym pomieszczenia. Z kolei uzyskane dla ferm w Bańskiej i Szczyrku ujemne wartości strumienia świadczą o ruchu ciepła w odwrotnym kierunku. Aby uzyskać dokładniejsze dane liczbowe dla przekazywania ciepła tą drogą, należałoby zmniejszyć wartość współczynnika wnikania ciepła z powietrza do wody, ponieważ przy konwekcyjnym ruchu ciepła w kierunku z góry do dołu opór przejmowania będzie większy.



Rys. 2. Strumień ciepła suchego wymienianego na drodze konwekcji między  $1\text{ m}^2$  powierzchni wody i powietrzem nad basenem

Fig. 2. The stream of dry heat exchanged on way of convection between  $1\text{ m}^2$  of the surface of water and the air over pool



Rys. 3. Strumień ciepła wypromieniowywanego z powierzchni  $1\text{ m}^2$  wody w basenach do otoczenia

Fig. 3. The stream of radiated heat from the surface of  $1\text{ m}^2$  of water in pools to surroundings

Kształtowanie się strumienia ciepła wypromieniowywanego z powierzchni 1 m<sup>2</sup> wody w badanych basenach do otoczenia odzwierciedlono na rys. 3. Ujemne wartości tego strumienia prawie w każdym przypadku świadczą o tym, że nie należy obawiać się radiacyjnych strat ciepła ze zbiorników wodnych, ustawianych w zamkniętych obiektach fermowych. Rezultaty badań potwierdzają ogólny pogląd, że strumień ciepła promienistego z powierzchni cieczy do otoczenia w przypadku wody o temperaturze mniejszej niż 100°C jest niewielki i może być pominięty w bilansie cieplnym po stronie strat [Lipska i in. 1997].

Uzyskane wyniki badań pozwoliły sformułować następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Obiekty przeznaczone do kontrolowanego chowu ryb charakteryzują się dość znacznym zróżnicowaniem strumieni ciepła wymienianych między basenami a pomieszczeniem fermowym na drodze przewodzenia, konwekcji i radiacji.
2. Uzyskane na podstawie badań zyski ciepła z otoczenia do basenów ustawionych w intensywnie ogrzewanym pomieszczeniu w Bańskiej pozwalają przypuszczać, że znaczne podniesienie temperatury powietrza w zamkniętym obiekcie do kontrolowanego chowu ryb ciepłolubnych w stosunku do wymaganej temperatury wody w zbiornikach może spowodować samoogrzewanie się wody cyrkulacyjnej.
3. Dalsze badania powinny pozwolić odpowiedzieć na pytanie w jakiej skali występują straty ciepła mokrego z powierzchni basenów i jaki w związku z tym będzie całkowity strumień ciepła ze zbiorników do otoczenia, istotny z uwagi na termikę wody i zmianę stanu powietrza w pomieszczeniu fermowym

## Bibliografia

- Kowalczyk R.** 1999. Ruch ciepła. WN-T. Warszawa. [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. [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.
- Śliwowski L.** 2005. Mikroklimat wnętrz. Arkady. Warszawa. [w:] Klemm P. (red.). Budownictwo ogólne. Tom 2. Fizyka budowli. s. 53-102.

## **THE HEAT EXCHANGE BETWEEN WATER IN POOLS FOR THE CONTROLLED BREEDING OF WARMTH-LIKE FISH AND SURROUNDINGS**

**Abstract.** The aim of work was the opinion about phenomenon scale of the heat exchange by conduction and the dry heat transferred in result of convection and radiation between water in pools for the controlled breeding of fish and the surrounding in existing breeding objects. Streams of warmth was determined by the computational method on the basis of measurements of pool water temperature and parameters of internal air in four production rooms. There were affirmed that in three faintly heating rooms were small losses of the heat from pools as a result of the penetration through walls of reservoirs and in two cases there were losses of the convective dry heat from the surface of water. In the building with considerably increased air temperature the streams of dry heat and conduction run in opposite direction, from surroundings to pools.

**Key words:** the exchange of heat, pool, fish, building for livestock

**Adres do korespondencji:**

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