

# Efektywność płaskich wymienników do odzysku ciepła ze ścieków szarych

## Thermal effectiveness of horizontal plate heat exchanger for drain water heat recovery

Piotr Jadwiszczak, Elżbieta Niemierka<sup>\*)</sup>

**Słowa kluczowe:** ścieki szare, odzysk ciepła, sprawność temperaturowa, poziomy wymiennik ciepła

### Streszczenie

Odzysk ciepła ze ścieków szarych jest atrakcyjnym źródłem energii, podnoszącym efektywność układu przygotowania ciepłej wody użytkowej. Sprawność temperaturowa odzysku ciepła w poziomych wymiennikach płytowych zależy od warunków eksploatacyjnych opisanych temperaturą oraz wielkością, proporcją i jednoczesnością strumieni ścieków i wody użytkowej. Zbadano parametry pracy poziomego wymiennika płytowego do odzysku ciepła ze ścieków szarych dla dwóch wariantów podłączenia hydraulicznego, zmiennych proporcji strumieni po stronie gorącej i zimnej wymiennika oraz różnych temperatur ścieków szarych. Sporządzono rozszerzoną charakterystykę roboczą wymiennika, umożliwiającą szacowanie wyników energetycznych w szerokim zakresie warunkach eksploatacyjnych wymiennika. Badania przeprowadzono w symulowanych laboratoryjnie warunkach pracy typowych dla kąpielni prysznicowej. Strumienie badawcze wynosiły około 50, 100 i 150% normatywnego wypływu z głowicy prysznicowej, a temperatura ścieków szarych zmieniała się od 30 do 50°C odzwierciedlając kąpiele użytkowników o różnych preferencjach. Uzyskane w badaniach wyniki sprawności temperaturowej porównano z wartościami prezentowanymi w literaturze dla innych urządzeń do odzysku ciepła ze ścieków szarych, zarówno wymienników pionowych, jak i poziomych.

**Keywords:** drain water, heat recovery, thermal effectiveness, horizontal heat exchanger

### Abstract

Heat recovery from gray wastewater is an attractive energy source that increases the efficiency of the domestic hot water preparation system. The temperature effectiveness of heat recovery in horizontal heat exchangers depends on the operating conditions described by the temperature, size, proportion and simultaneity flows of drain water and utility. Operating characteristics of a horizontal plate heat exchanger for heat recovery from gray wastewater were tested for two variants of hydraulic connection, variable proportions of streams on the hot and cold sides of the exchanger, and different temperatures of gray wastewater. Extended operating characteristics of the heat exchanger were prepared, enabling the estimation of energy results in a wide range of operating conditions of the heat exchanger. The tests were carried out in simulated laboratory working conditions typical for a shower. The test flows were 50, 100 and 150% of the design flow rate from the shower, and the hot water temperature varied from 30 to 50°C, reflecting the baths of users with different preferences. The results of the temperature effectiveness obtained in the tests were compared with the values presented in the literature for other drain water heat recovery units, both in vertical and horizontal applications.

## 1. Wstęp

Ciepło zawarte w ściekach szarych jest atrakcyjnym energetycznie, powszechnie występującym i ekologicznym źródłem ciepła [5,8,9,10]. Każdy węzeł sanitarny, wyposażony w punkt czerpalny ciepłej wody użytkowej i kanalizację, jest potencjalnym źródłem ciepła odpadowego. W standardowej konfiguracji ciepło zakumulowane w sanitarnych ściekach szarych jest bezpowrotnie tracone, przez odprowadzanie ścieków o wysokiej temperaturze wprost do instalacji kanalizacyjnej i dalej poza budynek. Z technicznego punktu widzenia, odzysk ciepła odpadowego nie stanowi dziś problemu i nie jest niczym nowym. Większym wyzwaniem jest osiągnięcie wysokiej sprawności odzysku ciepła oraz jego efektywne wykorzystanie czy magazynowanie z minimalnymi stratami. Korzystne są pasywne, bezakumulacyjne układy odzysku ciepła bezpośredniego działania, zlokalizowane przy źródle ciepła odpadowego. Rozwiązania konstrukcyjne muszą również zapewniać bezpieczeństwo sanitarne skutecznie i trwale rozdzielając strumienie ścieków i podgrzewanej wody użytkowej.

Modelowym przykładem jest odzysk i wykorzystanie ciepła odpadowego w instalacji prysznicowej. Bardzo korzystną cechą jest tu

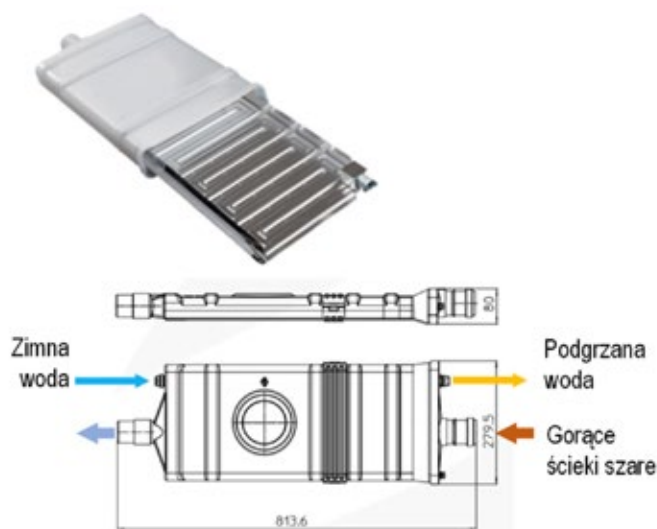
jednoczesność zapotrzebowania na ciepło do przygotowania c.w.u. oraz produkcja gorących ścieków szarych podczas kąpieli. Nie występuje tu konieczność magazynowania odzyskanego ciepła, a wymiennik ciepła może być zlokalizowany blisko lub wręcz w prysznicu (np. pod brodzikiem), co eliminuje konieczność stratnego przesyłu i przechowywania ciepła. Brak układów pompowych czy innych aktywnych urządzeń eliminuje zapotrzebowanie na energię pomocniczą, co sprawia, że nakłady energetyczne na eksploatację takiego układu są zerowe. Rozwiązanie to może być stosowane zarówno w zakładowych umywalkach, prysznicach basenowych czy szkolnych, jak i w łazienkach z prysznicem w mieszkaniach lub pokojach hotelowych.

Zdecentralizowane układy wymiennikowe do odzysku ciepła z sanitarnych ścieków szarych wpisują się w rosnące wymagania energooszczędności i efektywności energetycznej budynków, spełnienie celów zrównoważonego rozwoju, gospodarki o obiegu zamkniętym oraz polityki klimatycznej. Wykorzystanie ciepła odpadowego redukuje zapotrzebowanie na ciepło w budynku, poprawia jego charakterystykę energetyczną, obniża koszty eksploatacji oraz ogranicza emisję gazów cieplarnianych związaną z produkcją ciepła do przygotowania c.w.u.

<sup>\*)</sup> Piotr Jadwiszczak, Elżbieta Niemierka: Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, pl. Grunwaldzki 9, 50-384 Wrocław, autor do kontaktu: Elżbieta Niemierka e-mail: elzbieta.niemierka@pwr.edu.pl

## 2. Poziome wymienniki płytowe

Jedną z odmian konstrukcyjnych spotykanych na rynku i w literaturze są kompaktowe, poziome wymienniki płytowe do odzysku ciepła ze ścieków szarych. Przeznaczone są do szeregowej zabudowy jednocześnie w instalacji wody użytkowej oraz w instalacji kanalizacyjnej przyboru sanitarnego. W takim wymienniku strona ścieków szarych (tzw. strona pierwotna lub strona gorąca) jest bezcisnieniowa – ścieki przepływają grawitacyjnie nad leżącą, ryflowaną płytą wymiennika ciepła. Strona wody użytkowej (tzw. strona wtórna lub strona zimna) jest ciśnieniowa – woda pod ciśnieniem instalacyjnym przepływa wewnątrz poziomej, pojedynczej płyty wymiennika ciepła. Wymienniki płytowe do odzysku ciepła ze ścieków szarych pracują w warunkach relatywnie niskich temperatur i ciśnień po obu stronach wymiennika. Zastosowanie wymiennika płytowego z trwałych materiałów zapewnia separację sanitarną zanieczyszczonych gorących ścieków szarych i czystej wody użytkowej. Ciepło odzyskane ze strumienia przepływających ścieków, przekazywane jest bezpośrednio do płynącego przeciwnie do strumienia wody użytkowej. Nie ma konieczności magazynowania czy przesyłania odzyskanego ciepła na większe odległości, co eliminuje związane z tym wtórne straty ciepła. Konstrukcja ta spełnia więc wszystkie stawiane wymagania i postulaty.



Rys. 1. Poziomy, płytowy wymiennik do odzysku ciepła ze ścieków szarych Innova BEE 600 [4]

Fig. 1. Horizontal drain water heat recovery unit with plate heat exchanger Innova BEE 600 [4]

Sprawność temperaturowa płytowych poziomych wymienników ciepła jest uzależniona od dwóch grup czynników: stałych parametrów technicznych wymiennika, tj. materiału płyt wymiennika, powierzchni wymiany ciepła, liczby płyt wymiennika, ryflowania płyty wymiennika oraz od zmiennych warunków eksploatacyjnych, tj. aktualnej różnicy temperatury oraz proporcji strumieni ścieków



Rys. 2. Konfiguracje podłączenia wymiennika ciepła do instalacji prysznicowej

Fig. 2. Configurations of connection drain water recovery unit into shower system

i czystej wody [1,2,5,8,9,10,11,12]. Intensyfikacja wymiany ciepła oraz niezawodność działania są przeciwnymi celami w tego rodzaju konstrukcjach. Zwiększenie liczby płyt, zmniejszanie przekroju kanałów przepływowych czy mocne ryflowanie płyt, w celu rozbudowania powierzchni wymiany ciepła, nie sprawdzi się w niskociśnieniowych układach napędzanych grawitacją po stronie zanieczyszczonych ścieków.

Kompaktowa konstrukcja i uniwersalny sposób montażu umożliwia zabudowę wymiennika poziomego w dwóch podstawowych konfiguracjach hydraulicznych. W konfiguracji A wymiennik przekazuje odzyskane ze ścieków ciepło do strumienia wody wodociągowej kierowanej do baterii prysznicowej jako "woda zimna" (rys. 2). Oznacza to, że w czasie kąpieli przez wymiennik przepływa strumień ścieków szarych zawsze większy od strumienia wody użytkowej. Ze względu na wyższą temperaturę "wody zimnej" na wylewce prysznicowej jej ilość w mieszaninie wody kąpielowej w stosunku do rozwiązania tradycyjnego rośnie, co zmniejsza pobór "wody ciepłej" z podgrzewacza. Konfiguracja ta może być efektywnie stosowana, zarówno w wypadku indywidualnych podgrzewaczy wody zlokalizowanych blisko prysznicowej, jak i w układach grupowych z centralną instalacją i podgrzewaczem ciepłej wody. W konfiguracji B podczas kąpieli wymiennik przekazuje ciepło odzyskane ze ścieków do sumarycznego strumienia wody wodociągowej pobieranej na potrzeby kąpieli – sumy pobieranych w baterii prysznicowej strumieni "wody zimnej" i "wody ciepłej" podgrzanej w podgrzewaczu. W konsekwencji przez wymiennik zawsze przepływają równe sobie strumienie ścieków szarych i wody zimnej. Konfiguracja ta może być efektywnie wykorzystywana jedynie w instalacjach z indywidualnym podgrzewaczem wody, zlokalizowanych blisko punktu czerpalnego. Ze względu na dużą pojemność wodną, straty ciepła na przesyłanie i opóźnienie transportowe zastosowanie konfiguracji B w instalacjach grupowych będzie nieefektywne.

Charakterystyki: energetyczna, temperaturowa i hydrauliczna wymiennika są podstawą pracy inżynierów na etapach doboru i wymiarowania urządzenia, wyboru konfiguracji podłączenia oraz analiz energetycznych jego zastosowania. Charakterystyki temperaturowe i hydrauliczne wymienników do odzysku ciepła ze ścieków szarych wciąż w większości opracowuje się na podstawie badań eksperymentalnych, co szeroko opisuje się w literaturze [2,3,8,11,12,13].

## 3. Badania wymiennika Innova BEE 600

W celu określenia charakterystyk eksploatacyjnych układu odzysku ciepła ze ścieków szarych wykorzystującego poziomy, płytowy wymiennik ciepła przeprowadzono serię badań eksperymentalnych na specjalnie zaprojektowanym stanowisku laboratoryjnym. Stanowisko umożliwia symulację typowych warunków pracy wymiennika w konfiguracjach A i B instalacji prysznicowej dla szerokiego zakresu strumieni i temperatury wody oraz ścieków. Badania wykonano na wymienniku Innova BEE 600, jako przedstawiciela

rodziny kompaktowych, poziomych wymienników płytowych do odzysku ciepła ze ścieków szarych [4]. Składa się on z dwóch stalowych płyt karbowanych, między którymi płynie ogrzewana woda użytkowa oraz płaskiej, polipropylenowej obudowy która prowadzi strumień ścieków nad płytą wymiennika (rys. 1). Wymiennik Innova BEE 600 ma dwa metalowe, gwintowane króćce przyłącza wody wodociągowej oraz dwa kielichowe przyłącza przewodów kanalizacji grawitacyjnej.

Wymiennik Innova BEE 600 jest płytowo-płaszczowym, przeciwprądowym wymiennikiem ciepła woda-ścieki szare. Zamontowany w budynku tworzy pasywny, bezakumulacyjny system odzysku ciepła ze ścieków szarych. Odzyskane ciepło przekazywane jest do przeciwprądowego strumienia wody użytkowej, obniżając zapotrzebowanie na ciepło układu przygotowywania ciepłej wody użytkowej, niezależnie od rodzaju podgrzewacza i wykorzystywanego paliwa. Zgodnie z wytycznymi producenta wymienniki rodziny Innova BEE przeznaczone są do szeregowej zabudowy, jednocześnie w przyłączy kanalizacyjnym przyboru sanitarnego oraz przeciwprądowo w instalacji wody użytkowej. W wymienniku strona ścieków szarych jest bezciśnieniowa – ścieki przepływają grawitacyjnie nad płytą wymiennika ciepła. Strona wody użytkowej wymiennika jest ciśnieniowa – woda pod ciśnieniem instalacyjnym przepływa wewnątrz poziomego wymiennika ciepła (pod strumieniem ścieków).

Zgodnie z planem eksperymentu w trakcie badań, dla obu konfiguracji A i B, wyznaczono:

- 1) przyrost temperatury wody użytkowej w wymienniku, °C,
- 2) sprawność temperaturową wymiennika, %,
- 3) opory przepływu wody przez wymiennik, kPa.

Plan badań odwzorowywał typowe warunki pracy wymiennika płytowego Innova BEE 600, zamontowanego w instalacji prysznicowej, kolejno w dwóch konfiguracjach przyłączenia A i B, w seriach o trzech ustalonych strumieniach wody i ścieków oraz różnych temperaturach ścieków szarych. Badawcze strumienie wody i ścieków szarych określono na podstawie normatywnych strumieni wypływu z baterii czerpalnych i przyzwyczajzeń użytkowników. Przyjęto strumienie badawcze 0,07 l/s, 0,13 l/s i 0,20 l/s, mające odzwierciedlać oszczędną, standardową i intensywną kąpiel pod prysznicem. W kolejnych seriach pomiarowych ustalana była temperatura ścieków szarych z zakresu od 30 do 50°C, co odzwierciedla zakres możliwych temperatur ścieków z instalacji prysznicowych. W trakcie badań temperatura zimnej wody wodociągowej wynosiła 17°C, co odwzorowuje warunki eksploatacji w budynku wielorodzinnych o rozbudowanej instalacji wodociągowej. Badania wykonano za pomocą wody czystej, pobieranej z budynkowej instalacji wodociągowej, która w tym etapie badań symulowała również ścieki szare pozbawione substancji powierzchniowo czynnych, olejnych oraz frakcji stałych. Wszystkie pomiary wykonywano na króćcach przyłączeniowych wymiennika Innova BEE 600. Przy interpretacji wyników należy uwzględnić ewentualne straty ciepła na przesyle oraz różnicę między temperaturą ciepłej wody w punkcie czerpalnym (wylewce lub głowicy prysznicowej) i temperaturą ścieków wpływających do wymiennika, stosownie do sposobu montażu wymiennika, warunków lokalnych oraz odległości od współpracujących urządzeń. Ze względu na liczbę możliwych szczegółowych rozwiązań montażu, nie ma możliwości zbadania każdego z możliwych wariantów.

Laboratoryjne stanowisko badawcze wyposażono w odpowiednie dobrane elementy hydrauliczne, regulacyjne i pomiarowe, zapewniające stałe, kontrolowane temperatury i przepływy. Każda seria pomiarowa realizowana była w warunkach ustalonych przepływu i temperatury, z uwzględnieniem czasu koniecznego do ich stabilizacji. Serie badawcze wymiennika podłączonego w konfiguracji B charakteryzują się równymi strumieniami wody użytkowej i ścieków szarych. Testy w konfiguracji A cechowały się strumieniem



Rys. 3. Stanowisko badawcze wymiennika do odzysku ciepła ze ścieków szarych  
Fig. 3. Layout of test stand of plate heat exchanger

ścieków zawsze wyższym od strumienia wody. W tab. 1 zestawiono testowe strumienie jako pary strumienia wody i ścieków szarych.

Tabela. 1. Strumienie testowe w wariantach konfiguracji A i B podłączenia badanego wymiennika

Table. 1. Tested drain water and domestic water flows for A and B connection configurations

Konfiguracja A strumienie woda / ścieki, l/s	Konfiguracja B strumienie woda / ścieki, l/s
0,07/0,13	0,07/0,07
0,07/0,20	0,13/0,13
0,13/0,20	0,20/0,20

Zgodnie z metodologią z [7] sprawność temperaturową wymiennika  $\epsilon$  dla konfiguracji A i B wyznaczano z równania:

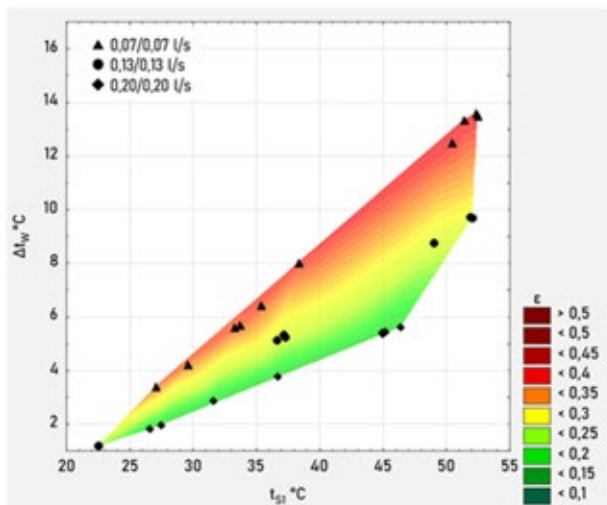
$$\epsilon = \frac{q_c}{q_{max}} = \frac{(m \cdot C_p)_w \cdot (t_{w2} - t_{w1})}{(m \cdot C_p)_w \cdot (t_{s1} - t_{w1})} \quad (1)$$

#### 4. Wymiennik Innova BEE 600 w konfiguracji B

W czasie pracy przez wymiennik zamontowany w układzie B zawsze przepływają równo sobie: strumień ścieków szarych i strumień wody zimnej. Wymiennik podgrzewa cały strumień wody wodociągowej, pobierany aktualnie w punkcie czerpalnym, będący sumą wody kierowanej do podgrzewacza i zimnej wody kierowanej bezpośrednio do baterii prysznicowej przyboru sanitarnego (rys. 2).

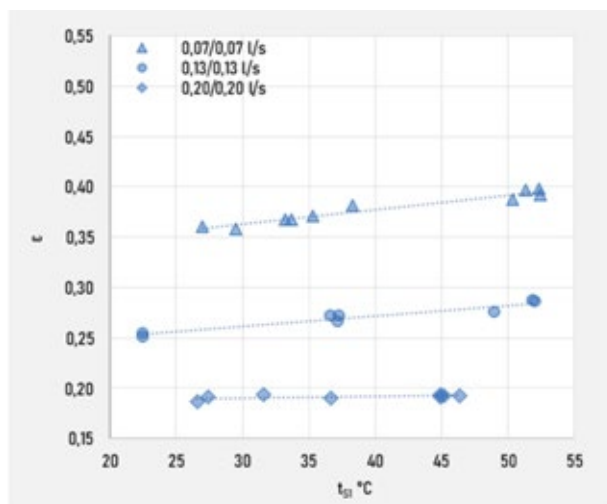
Wzrost temperatury zimnej wody wodociągowej, przepływającej przez wymiennik Innova BEE 600, wywołany odzyskiem ciepła ze ścieków szarych w typowym zakresie parametrów eksploatacyjnych przedstawiono na rys. 4. Eksperymentalnie wyznaczono przyrost temperatury wody zimnej przepływającej przez wymiennik, w zależności od temperatury ścieków szarych wpływających do wymiennika dla trzech strumieni wody i ścieków. W warunkach eksperymentu uzyskano przyrost temperatury wody zimnej o 1 do 14 K, odpowiednio dla temperatury ścieków szarych 23°C i 52°C.

Na rys. 5 przedstawiono zmienność sprawności temperaturowej wymiennika pracującego w układzie B dla badanych warunków przepływu i temperatury. Sprawność temperaturowa wymiennika osiągała wartości z zakresu od 19.0 do 39.7%, zależnie od temperatury ścieków szarych oraz wielkości i proporcji przepływu wody i ścieków. Wzrost strumieni powoduje spadek sprawności temperaturowej wymiennika z 39.7% do 19.6%, przy temperaturze ścieków 55°C oraz z 35.5% do 19.0% dla temperatury ścieków szarych wynoszącej 25°C. Pomiary pośrednie wskazują na liniowy charakter zmian sprawności dla danego przepływu. Rosnący kąt nachylenia linii odzwierciedlających serie pomiarowe dla ustalonych przepływów wskazuje na spadek wpływu temperatury ścieków wraz ze wzrostem strumienia przepływu przez wymiennik.



Rys. 4. Przyrost temperatury wody zimnej oraz zmienność sprawności temperaturowej w funkcji temperatury ścieków szarych dla konfiguracji B

Fig. 4. Increase in cold water temperature and thermal effectiveness variability as a function of drain water temperature for configuration B



Rys. 5. Efektywność wymiennika w funkcji temperatury ścieków szarych dla konfiguracji B.

Fig. 5. Thermal effectiveness of heat recovery unit as a function of drain water temperature for configuration B

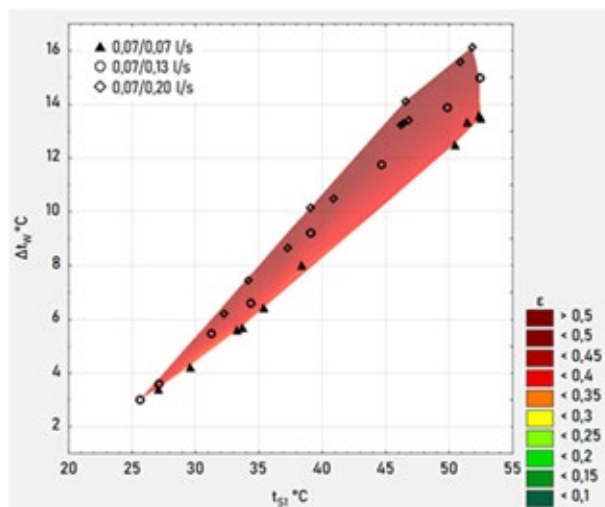
## 5. Wymiennik Innova BEE 600 w konfiguracji A

W konfiguracji A wymiennik podgrzewa jedynie strumień zimnej wody wodociągowej, kierowany do baterii prysznica, podczas gdy podgrzewacza ciepłej wody płynie woda wodociągowa o niezmięnionej temperaturze (rys. 2). Oznacza to, że w czasie pracy w konfiguracji A przez wymiennik przepływa strumień ścieków szarych zawsze większy niż strumień wody użytkowej.

Wzrost temperatury wody użytkowej przepływającej przez wymiennik Innova BEE 600, wywołany przekazywaniem odzyskanego ciepła ze ścieków szarych w badanym zakresie parametrów eksploatacyjnych, przedstawiono na rys. 6 i 8. W warunkach eksperymentu uzyskano przyrost temperatury wody zimnej o 1 do 16 K, odpowiednio dla temperatury ścieków szarych 23°C i 52°C.

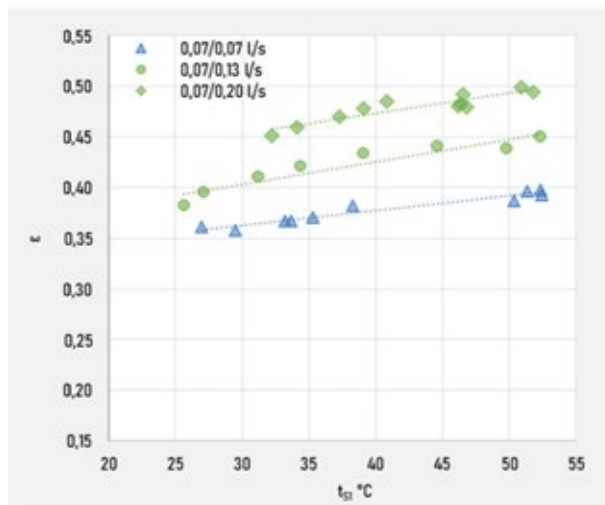
Na rys. 7 i 9 przedstawiono zmienność sprawności temperaturowej wymiennika pracującego w układzie A dla badanych warunków eksploatacyjnych przepływu i temperatury. W konfiguracji A o nierównych strumieniach wody użytkowej i ścieków, najwyższa sprawność występuje przy małym strumieniu wody i dużym strumieniu ścieków szarych. Dla przepływów 0,07/0,07, 0,07/0,13 i 0,07/0,20 l/s

sprawność temperaturowa wymiennika rośnie od 39,7% do 50,7% dla ścieków o temperaturze 55°C oraz od 35,5% do 44,1% dla strumienia ścieków o temperaturze 25°C. Pomiary pośrednie wykazują liniowy charakter zmian. Przy strumieniach 0,13/0,13 i 0,13/0,20 l/s sprawność temperaturowa rosła od 29,0% do 32,8% przy temperaturze ścieków 55°C oraz od 25,7% do 29,5% przy temperaturze ścieków 25°C.



Rys. 6. Przyrost temperatury wody zimnej oraz zmienność sprawności temperaturowej w funkcji temperatury ścieków szarych dla konfiguracji A i strumienia wody 0,07 l/s

Fig. 6. Increase in cold water temperature and thermal effectiveness variability as a function of drain water temperature for configuration A and water flow of 0,07 l/s

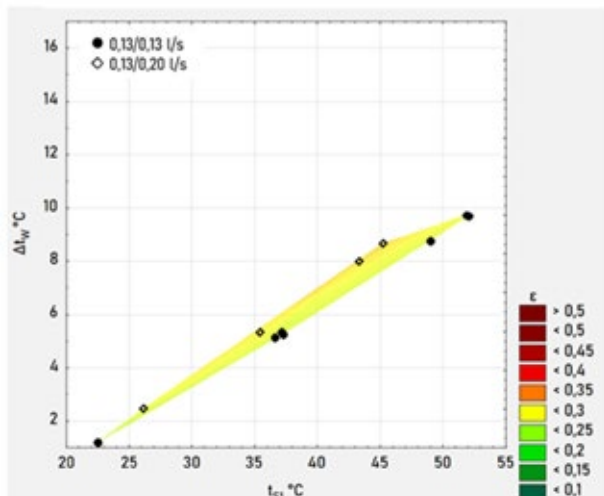


Rys. 7. Efektywność wymiennika w funkcji temperatury ścieków szarych dla konfiguracji A strumienia wody 0,07 l/s

Fig. 7. Thermal effectiveness of heat recovery unit as a function of drain water temperature for configuration A and water flow of 0,07 l/s

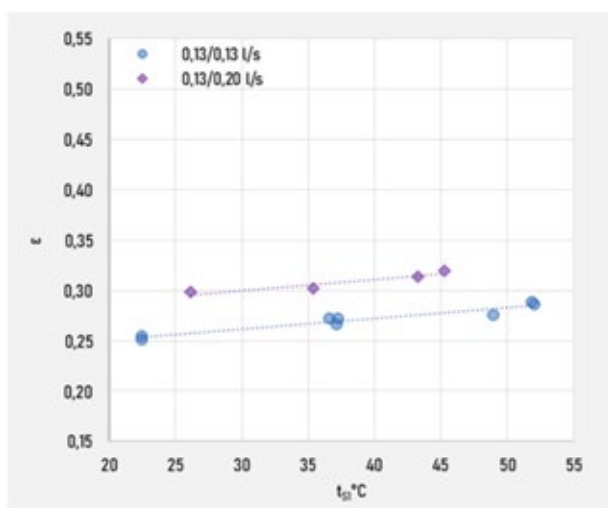
W celu porównania sprawności temperaturowej badanego wymiennika Innova BEE 600 z innymi konstrukcjami, dokonano przeglądu literatury. Zebrane dane literaturowe zostały zestawione i uporządkowane z uwzględnieniem warunków pracy jak podczas badań laboratoryjnych, co gwarantuje porównywalność zestawionych wyników. Na rys. 11 zaprezentowano porównanie opisanych w literaturze naukowej sprawności wymienników dla strumieni 0,07/0,07; 0,13/0,13 oraz 0,20/0,20 l/s.

Według danych literaturowych wyższe efektywności uzyskują pionowe wymienniki ciepła – nawet do 76%. Badany wymiennik Innova BEE 600 cechuje się najwyższą sprawnością temperaturową wśród badanych wymienników poziomych. Jednocześnie jego sprawność



Rys. 8. Przyrost temperatury wody zimnej oraz zmienność sprawności temperaturowej w funkcji temperatury ścieków szarych dla konfiguracji A i strumienia wody 0,13 l/s

Fig. 8. Increase in cold water temperature and thermal effectiveness variability as a function of drain water temperature for configuration A and water flow of 0,13 l/s



Rys. 9. Efektywność wymiennika w funkcji temperatury ścieków szarych dla konfiguracji A strumienia wody 0,13 l/s

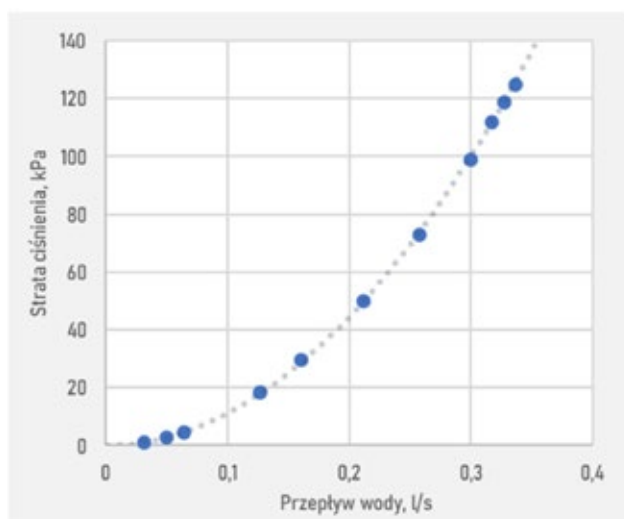
Fig. 9. Thermal effectiveness of heat recovery unit as a function of drain water temperature for configuration A and water flow of 0,13 l/s

jest tylko o 3-9% niższa od sprawności ostatniego w zestawieniu wymiennika pionowego. Dla wskazanych jednostek nie wykonano prób z przepływami 0,20/0,20 l/s, więc osiągnięte w tych warunkach sprawności mogą być znacznie niższe.

## 6.Straty ciśnienia przy przepływie wody przez wymiennik Innova BEE 600

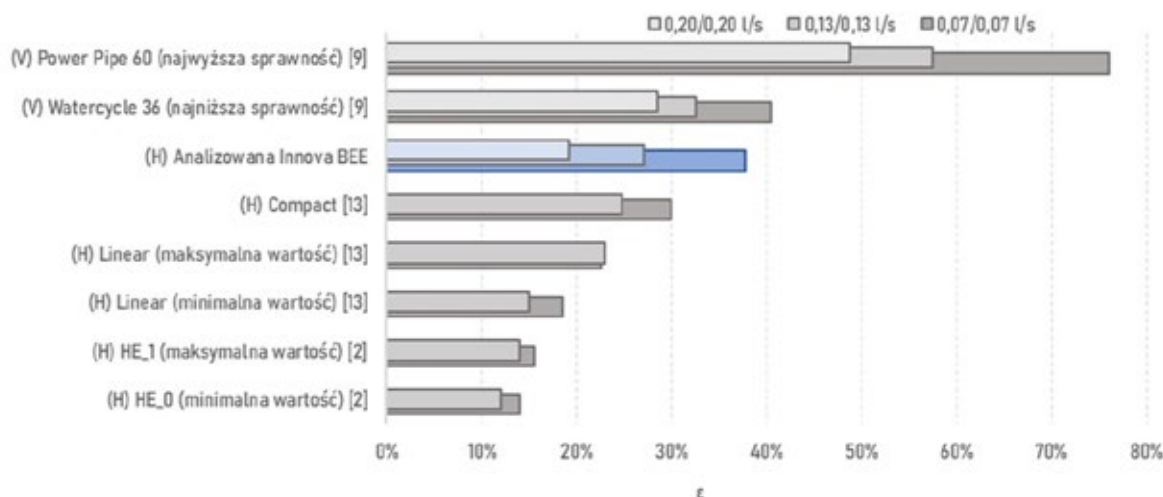
Zastosowanie wymiennika Innova BEE 600 wywołuje miejscowy spadek ciśnienia w instalacji wodociągowej. Na rys. 11 przedstawiono zmierzone straty ciśnienia po stronie wodnej wymiennika, w zależności od strumienia przepływu zimnej wody przez wymiennik oraz opracowaną na tej podstawie ciągłą charakterystykę hydrauliczną wymiennika. Wysokość strat ciśnienia wskazuje na konieczność uwzględnienia zastosowania wymiennika w obliczeniach hydraulicznych projektu instalacji wodociągowej, szczególnie w instalacjach o niskim ciśnieniu gwarantowanym w wodociągu lub obiektach, gdzie wymagany jest dobór małego układu podnoszącego ciśnienie.

Zamiennie do nomogramu w obliczeniach inżynierskich dla wymiennika Innova BEE 600 można przyjmować wyznaczony na podstawie testów współczynnik  $k_v = 1,08 \text{ m}^3/\text{h}$ .



Rys. 11. Straty ciśnienia powodowane przez wymiennik Innova BEE

Fig. 11. Pressure losses caused by the Innova BEE drain water heat recovery unit



Rys. 10. Porównanie średniej sprawności różnych technologii odzysku ciepła z wody szarej (gdzie (V) oznacza wymiennik pionowy, a (H) poziomy)

Fig. 10. Average thermal effectiveness of different drain water heat recovery unit (where (V) means vertical and (H) horizontal position)

## 7. Podsumowanie i wnioski

Wymiennik BEE 600 to pasywny system odzysku ciepła ze ścieków szarych – nie wymaga zasilania, nie ma części ruchomych i jest bezobsługowy. Stanowi tym samym atrakcyjne technologicznie i energetycznie rozwiązanie, obniżające zapotrzebowanie na ciepło do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Możliwość montażu w dwóch konfiguracjach przyłączeniowych oraz niezależność od rodzaju źródła ciepłej wody umożliwia szerokie zastosowanie Innova BEE 600 jak i innych konstrukcji tego typu.

Rosnące wymagania odnośnie energooszczędności i efektywności energetycznej budynków, intensyfikują rozwój i upowszechnianie systemów odzysku ciepła odpadowego. Wykorzystanie odzyskanego ciepła odpadowego redukuje zapotrzebowanie ciepła w budynku, poprawia jego charakterystykę energetyczną, obniża koszty eksploatacji i ogranicza emisję gazów cieplarnianych związaną z produkcją ciepła do przygotowania c.w.u. Służy to spełnieniu celów zrównoważonego rozwoju, gospodarki o obiegu zamkniętym oraz celów polityki klimatycznej. Dla szerokiego stosowania najkorzystniejsze wydają się rozwiązania oparte o systemy rozproszone, gdzie gotowe, łatwe w montażu urządzenia o kompaktowej konstrukcji, włączane są w instalację wodociągową i kanalizacyjną w bezpośredniej bliskości źródła ścieków szarych i poboru ciepłej wody użytkowej. Są one niezawodne, nie wymagają energii pomocniczej do napędu, nie zakłócają działania instalacji wodociągowej i kanalizacyjnej oraz odzyskują część energii zakumulowanej w ściekach bezpośrednio przy ich źródle, minimalizując straty ciepła na przesyłanie ścieków.

Wykazano dużą wrażliwość sprawności temperaturowej wymienników płytowych na wzrost przepływu – zbyt duży przepływ wody wyraźnie obniża sprawność. Dla inżynierów jest to wyraźna przesłanka do stosowania w takich wypadkach, np. zespołu kilku połączonych wymienników w celu zapewnienia wysokiej sprawności odzysku ciepła. Drugi z czynników silnie kształtujących sprawność wymiennika, czyli temperatura ścieków jest niezależny od projektantów i zakładając jego wartość w projekcie czy analizie należy wykazać się inżynierską roztropnością dostosowując go np. do przewidywanego sposobu eksploatacji. Oczywiście rolą projektanta jest również wybór konfiguracji podłączenia wymiennika stosownie do warunków lokalnych oraz właściwe uwzględnienie tego w doborze urządzeń oraz określaniu wyników energetycznych ich pracy. Gotowym wsparciem w tym obszarze są zamieszczone w pracy charakterystyki wymiennika. Wzbogacają one wiedzę inżynierską o wpływie warunków pracy na sprawność wymien-

nika i wskazują czynniki ją kształtujące. Tym samym wspierają proces decyzyjny w czasie doboru i wymiarowania urządzeń, podnoszą również jakość projektów technicznych, zapewniając tym samym lepszy wynik energetyczny w czasie eksploatacji.

Zastosowanie wymienników płytowych do odzysku ciepła ze ścieków szarych jako pasywnego elementu podnoszącego efektywność energetyczną układu przygotowania ciepłej wody użytkowej jest opłacalne energetycznie, ekonomicznie i środowiskowo. ■

## LITERATURA

- [1] Bartkowiak S., r. Fisk, A. Funk; J. Hair, S.J. Skerlos.2010, "Residential drain water heat recovery systems: modeling, analysis, and implementation", *Journal of Green Building*, , 5, 85–94, <https://doi.org/10.3992/jgb.5.3.85>.
- [2] Farhat O, J. Faraj, F. Hachem, C. Castelain, M. Khaled, 2022."A recent review on waste heat recovery methodologies and applications: Comprehensive review, critical analysis and potential 2010 recommendations", *Cleaner Engineering and Technology*,100387, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100387>.
- [3] Ghorbani, H. Taherian, H. Mirgolbabaei, M.Gorji, An Experimental Study of Thermal Performance of Shell-and-Coil Heat Exchangers. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2010, 37, 775-781, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.02.001>
- [4] INNOVA S.r.l., accessed 10 May 2023, [www.innovaenergie.com](http://www.innovaenergie.com), <https://innova-polska.pl>.
- [5] Kordana S. "An assessment of the potential for shower water heat recovery," E3S Web Conf. 2018, 45, 00034, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184500034>.
- [6] Kordana-Obuch S, M. Starzec.2022, "Horizontal Shower Heat Exchanger as an Effective Domestic Hot Water Heating Alternative," *Energies*, , 15, 4829. <https://doi.org/10.3390/en15134829>.
- [7] Manouchehri r., M. r. Collins.2018 "An experimental analysis of the impact of unequal flow on falling film drain water heat recovery system performance," *Energy and Buildings*, 165, 150-159, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.018>.
- [8] Nagpal H., J. Spriet, M. Murali, A. McNabola, 2021."Heat recovery from wastewater—a review of available resource" *Water*,13 (9), <https://doi.org/10.3390/w13091274>.
- [9] Nyholm J.2019 "Horizontal wastewater heat recovery heat exchanger, a model, Dissertation", School of Industrial Engineering and Management, Energy Technology.
- [10] Pochwat K, S. Kordana-Obuch, M. Starzec, B. Piotrowska, Financial Analysis of the Use of Two Horizontal Drain Water Heat Recovery Units, *Energies* 2020, 13, 4113, <https://doi.org/10.3390/en13164113>
- [11] Vavricka r., J. Bohác, T. Matuška, 2022 "Experimental development of the plate shower heat exchanger to reduce the domestic hot water energy demand," *Energy and Buildings*.254, 111536, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111536>.
- [12] Wong L.T., K.W. Mui, Y. Guan, 2009."Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong, *Applied Energy*" 87 (2), 703–709, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.08.008>.
- [13] Zaloum C., M. Lafrance, J. Gusdorf, 2007.Drain water heat recovery: characterisation and modelling, Final Report. Sustainable Buildings & Communities, Natural Resources Canada.

## Warunki prenumeraty „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” na 2023 r.

**Zamówienia na prenumeratę czasopism wydawanych przez Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o.o. można składać w dowolnym terminie. Mogą one obejmować dowolny okres, tzn. dotyczyć dowolnej liczby kolejnych zeszytów każdego czasopisma.**

**Zamawiający** – po dokonaniu wpłaty – może otrzymywać zaprenumerowany przez siebie tytuł począwszy od następnego. Zamówienia na zeszyty sprzed daty otrzymania wpłaty będą realizowane w miarę możliwości z posiadanych zapasów magazynowych.

Prenumerata roczna czasopism Wydawnictwa jest możliwa w **trzech** wariantach:

- **PAPIEROWA** – czasopismo tylko w wersji papierowej (z opłatą za dostarczenie przesyłki)
- **CYFROWA** – czasopismo tylko w wersji cyfrowej dostępne na Portalu Informacji Technicznej [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl) Prenumerator otrzymuje link do aktywacji konta zaprenumerowanego tytułu
- **PLUS** – czasopismo w wersji papierowej (bez opłaty za dostarczenie) oraz cyfrowej, a także dostęp do archiwum zaprenumerowanego tytułu na Portalu Informacji Technicznej [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl).

Cena 1 egzemplarza w roku 2023 wynosi **34,00 zł** (w tym 8% VAT). Cena prenumeraty rocznej w wersji papierowej z wysyłką **420,00 zł brutto**. Cena prenumeraty rocznej cyfrowej **360,00 zł brutto**. Cena prenumeraty rocznej PLUS **552,00 zł brutto (papier+cyfra+archiwum)**.

**Prenumeratę można zamówić:**

**mailem: [prenumerata@sigma-not.pl](mailto:prenumerata@sigma-not.pl),**

**przez Internet: [www.sigma-not.pl](http://www.sigma-not.pl),**

**listownie: Zakład Poligrafii i Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT, ul. Ks. J. Popieluszki 19/21, 01-595 Warszawa**

**telefonicznie: 22 840 30 86 lub 22 840 35 89**