

Sabina KORDANA
Daniel SŁYŚ
Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju
Politechnika Rzeszowska

OCENA EFEKTYWNOŚCI ZASTOSOWANIA SYSTEMU ODZYSKU CIEPŁA ZE ŚCIEKÓW W BUDYNKU JEDNORODZINNYM

Prognozowany wzrost cen energii elektrycznej oraz gazu ziemnego skłania do poszukiwania rozwiązań, których wykorzystanie umożliwi zredukowanie opłat ponoszonych na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Jednym z takich rozwiązań jest zainstalowanie wymiennika ciepła przeznaczonego do odzysku ciepła ze ścieków odprowadzanych z prysznica. Efektywność finansową zastosowania takiego urządzenia w jednorodzinny budynek mieszkalny przeanalizowano w niniejszym artykule.

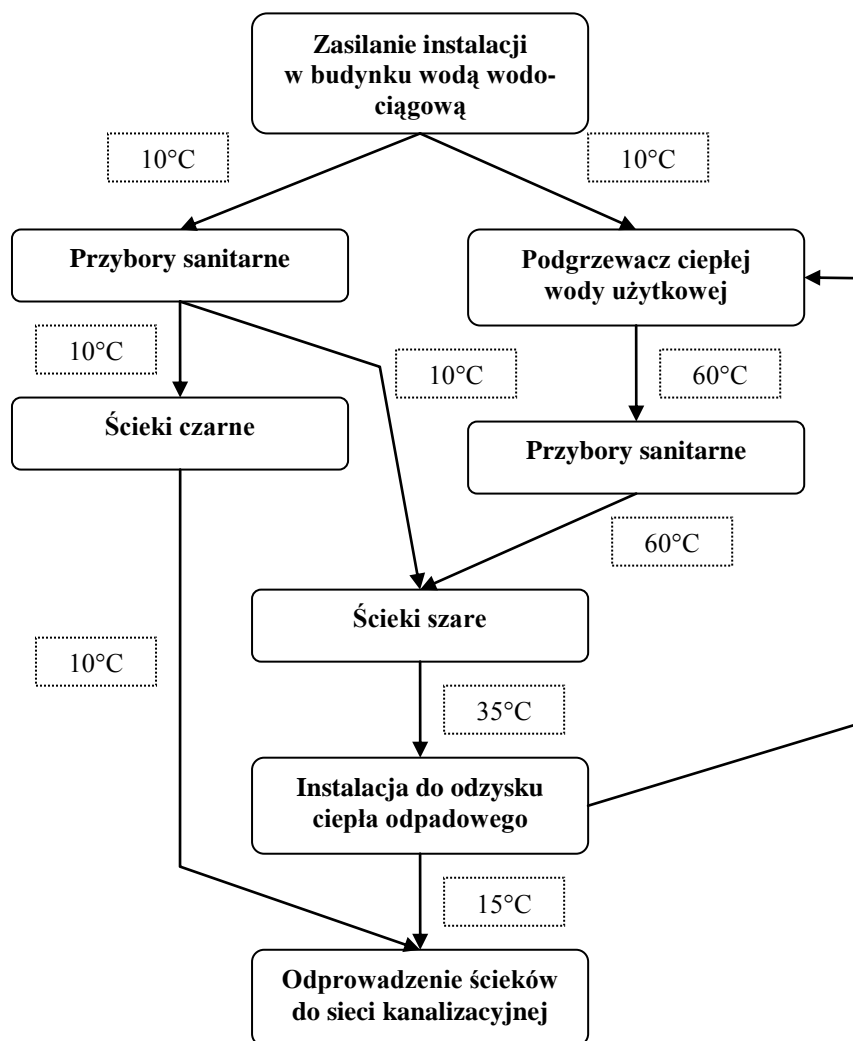
1. Wprowadzenie

Zużycie wody w przeciętnym gospodarstwie domowym kształtuje się na poziomie $100\text{--}150 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$, z czego około $25\text{--}40 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$ zużywane jest podczas kąpieli [3]. Podczas tej operacji wykorzystywana jest woda zmieszana, której temperatura wynosi około 38°C [7]. Osiągnięcie wymaganej temperatury wody uwarunkowane jest dostarczeniem znacznej ilości energii, co wiąże się z dużymi kosztami, zwłaszcza w obliczu prognozowanych zmian cen energii elektrycznej [12] oraz gazu ziemnego [10].

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego [5], przygotowanie ciepłej wody użytkowej stanowi w Polsce drugą co do wielkości pozycję w opłatach ponoszonych na energię w statystycznym gospodarstwie domowym. Natomiast w przypadku domów pasywnych, zapotrzebowanie na energię do podgrzewania ciepłej wody użytkowej może wynieść nawet 50 % zapotrzebowania całkowitego [11]. Duża ilość tej energii niesiona jest przez kierowane do kanalizacji ścieki i bezpowrotnie marnowana, co powoduje, że medium to stanowi obecnie jedno z największych źródeł strat ciepła w budynkach.

Energia zawarta w ściekach nie musi być jednak bezproduktywnie odprowadzana do otoczenia [8]. Obecny rozwój techniki pozwala na prowadzenie procesu odzyskiwania zdeponowanego w ściekach ciepła odpadowego na wszystkich etapach ich powstawania, transportu i utylizacji, w tym także na

etapie powstawania ścieków bytowo-gospodarczych w budynkach mieszkalnych. Możliwości wykorzystania energii cieplnej niesionej przez ścieki w instalacjach wewnętrznych budynku przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Możliwości wykorzystania energii niesionej przez ścieki w instalacjach wewnętrznych budynków mieszkalnych

2. Wymienniki ciepła stosowane w instalacjach kanalizacyjnych

Znalezienie małoawaryjnych i opłacalnych w stosowaniu rozwiązań służących do odbioru energii cieplnej ze ścieków było i jest wyzwaniem stojącym

przed naukowcami i producentami urządzeń. O dużym zainteresowaniu badaniami w tym zakresie świadczy znaczna liczba opatentowanych rozwiązań kanalizacyjnych wymienników ciepła [9]. Badania w tym zakresie są prowadzone w wielu krajach m.in. Stanach Zjednoczonych [15], Kanadzie [18, 19], Irlandii [6]. Głównym celem tych badań jest poprawa parametrów użytkowych i efektywności technicznej urządzeń. Jednocześnie na rynku dostępnych jest już obecnie wiele modeli wymienników *Drain Water Heat Recovery* (DWHR), których wykorzystanie w instalacjach kanalizacyjnych umożliwia odzyskiwanie ciepłej energii odpadowej ze ścieków.

Najczęściej stosowanymi urządzeniami DWHR są przeciwprądowe wymienniki działające w układzie pionowym. Urządzenia te mogą być zbudowane z wężownicy nawiniętej na przewód kanalizacyjny, bądź też mogą pracować jako wymienniki typu „rura w rurze”. Zasadę działania takiego urządzenia przedstawiono na rysunku 2.

Przeciwprądowe wymienniki pionowe charakteryzują się największą efektywnością energetyczną spośród dostępnych rozwiązań, co powoduje, że pozostałe urządzenia wykorzystywane są jedynie wówczas, gdy montaż wymiennika pionowego nie jest możliwy. Z danych producentów urządzeń (m.in. Bries/Dutch Solar Systems b.v., Hei-tech b.v.) wynika, iż dla najczęściej spotykanej sytuacji, w której strumienie objętości przepływających ścieków i wody są sobie równe, efektywność wymienników pionowych osiąga wartości od 40 % do ponad 60 %, w zależności od takich czynników, jak model zastosowanego wymiennika ciepła, natężenie przepływu obu mediów, długość trwania kąpieli czy temperatura podgrzewanej wody oraz odpływających z przyboru sanitarnego ścieków.

Oprócz przeciwprądowych wymienników pionowych, znane są również rozwiązania pozwalające na poziomy montaż wymiennika ciepła, czego przykład przedstawiono w pracy [17]. Układ przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych w takim wymienniku ma charakter przeciwprądowy.

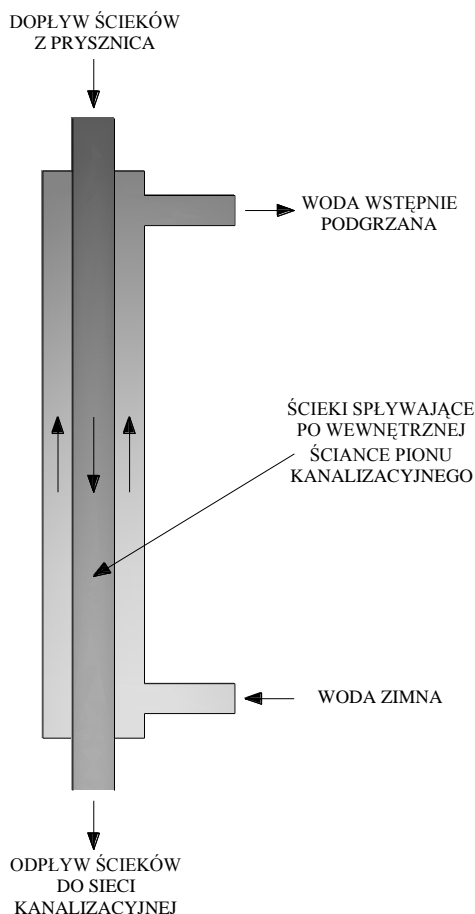
Na rynku dostępne są również rozwiązania, w których wymiennik ciepła instalowany jest bezpośrednio w odwodnieniu liniowym prysznica. Wówczas odprowadzane z niego ciepłe ścieki wpływają do niewielkiej komory o wysokości kilkunastu centymetrów, gdzie znajduje się wężownica, przez którą przepływa ogrzewana woda wodociągowa.

Innym rozwiązaniem wymiennika ciepła, które może być stosowane do odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznica, jest urządzenie wbudowane w brodzik prysznica. Ten płaski wymiennik umieszczony jest pod perforowaną płytą stanowiącą dno brodzika.

W przypadku, gdy jako źródło ciepła wykorzystywane są ścieki z urządzeń sanitarnych lub usługowych dokonujących ich okresowych zrzutów zastosowanie mogą znaleźć systemy odzysku ciepła z retencją.

W zależności od potrzeb stosowane są rozwiązania wymienników działających w następujących reżimach działania:

- okresowa retencja ciepłych ścieków w zbiorniku z ciągłym przepływem wody wodociągowej przez spiralę,
- okresowa retencja wody wodociągowej w zbiorniku z ciągłym przepływem ścieków przez wymiennik [1].



Rys. 2. Schemat działania wymiennika ciepła typu „rura w rurze”

3. Określenie zapotrzebowania na energię

Przygotowanie ciepłej wody użytkowej wymaga dostarczenia energii, której ilość uzależniona jest przede wszystkim od objętości podgrzewanej wody oraz temperatury tego medium przed podgrzaniem. Zapotrzebowanie na energię do przygotowania określonej ilości ciepłej wody wyznaczyć można na podstawie wzoru (1):

$$Q_w = \frac{V_w \cdot \rho_w \cdot c_{pw} \cdot (T_{wc} - T_{wz})}{3600} \quad (1)$$

gdzie:

- Q_w – zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej, kWh,
- V_w – objętość podgrzewanej wody użytkowej, m³,
- ρ_w – gęstość podgrzewanej wody, kg/m³,
- c_{pw} – ciepło właściwe podgrzewanej wody, kJ/(kg·K),
- T_{wc} – temperatura ciepłej wody użytkowej, °C,
- T_{wz} – temperatura wody zimnej, °C.

Rzeczywiste zużycie energii wykorzystywanej do podgrzewania wody wynosi zatem, zgodnie z formułą (2):

$$Q_{wr} = \frac{Q_w}{\eta} \quad (2)$$

gdzie:

- Q_{wr} – rzeczywiste zużycie energii wykorzystywanej do podgrzewania wody, kWh,
- Q_w – zapotrzebowanie na energię do przygotowanie ciepłej wody użytkowej, kWh,
- η – sprawność podgrzewacza ciepłej wody użytkowej, -.

Objętość ciepłej wody użytkowej, którą należy doprowadzić do prysznica w celu otrzymania określonej temperatury wody zmieszanej, oblicza się, bazując na równaniu bilansu cieplnego, zgodnie z którym ilość energii cieplnej oddanej przez wodę ciepłą jest równa ilości ciepła przyjętego przez wodę zimną. Zależność tą opisano równaniem (3):

$$V_{wz} \cdot \rho_{wz} \cdot c_{pwz} \cdot (T_k - T_{wz}) = V_{wc} \cdot \rho_{wc} \cdot c_{pwc} \cdot (T_{wc} - T_k) \quad (3)$$

gdzie:

- V_{wz} – objętość wody zimnej, m³,
- V_{wc} – objętość ciepłej wody użytkowej, m³,
- ρ_{wz} – gęstość wody o temperaturze niższej, kg/m³,
- ρ_{wc} – gęstość wody o temperaturze wyższej, kg/m³,
- c_{pwz} – ciepło właściwe wody o temperaturze niższej, kJ/(kg·K),
- c_{pwc} – ciepło właściwe wody o temperaturze wyższej, kJ/(kg·K),
- T_{wz} – temperatura wody zimnej, °C,
- T_{wc} – temperatura ciepłej wody użytkowej, °C,
- T_k – temperatura wody zmieszanej, °C.

Ilość wody, którą należy podgrzać do temperatury 60°C, jak również różnicę temperatur między wodą ciepłą a wodą doprowadzaną do podgrzewacza ciepłej wody użytkowej i baterii czerpalnej prysznic, można zmniejszyć dzięki zamontowaniu wymiennika ciepła DWHR na odpływie ciepłych ścieków z tego przyboru sanitarnego. Temperaturę, do której zostanie wstępnie podgrzana dopływająca do prysznic woda wodociągowa, określa się na podstawie efektywności wymiennika ciepła, korzystając z wzoru (4) [7]:

$$\varepsilon = \frac{T_{wp} - T_{wz}}{T_{sc} - T_{wz}} \quad (4)$$

gdzie:

- ε – efektywność wymiennika ciepła DWHR, -
- T_{wp} – temperatura wody wstępnie podgrzanej, °C,
- T_{wz} – temperatura wody zimnej, °C
- T_{sc} – temperatura ścieków dopływających do wymiennika, °C.

Zatem temperatura wody wstępnie podgrzanej, dla znanej efektywności wymiennika ciepła DWHR, wynosi:

$$T_{wp} = \varepsilon \cdot (T_{sc} - T_{wz}) + T_{wz} \quad (5)$$

W opisanym powyżej przypadku, zamiast parametrów wody zimnej we wzorach (1) i (3) wykorzystuje się parametry wody wstępnie podgrzanej.

4. Ocena efektywności finansowej inwestycji

W celu oceny efektywności finansowej zastosowania danego projektu inwestycyjnego, należy przeprowadzić analizę finansową przedsięwzięcia, która może być wykonana przy pomocy metod statycznych bądź dynamicznych. Metody statyczne, nazywane także prostymi, nie uwzględniają jednak takich czynników jak inflacja czy ryzyko [2], co powoduje, iż stosowane są one głównie na etapie projektów wstępnych bądź w przypadku, gdy dana inwestycja analizowana jest w krótkim okresie czasu, na przykład kilku miesięcy [4]. Do metod tych zalicza się przede wszystkim proste stopy zwrotu, prosty okres zwrotu oraz księgową stopę zwrotu [13].

Metody dynamiczne (złożone) różnią się tym od metod prostych, że uwzględniana jest w nich zmiana wartości pieniądza w czasie. Pomimo tego, iż nie są one pozbawione wad [2], o wiele dokładniej odzwierciedlają efektywność zastosowania konkretnego projektu inwestycyjnego, a porównanie wartości, które pojawiają się w różnych okresach czasu, możliwe jest tu dzięki zastosowaniu współczynnika dyskontującego. Współczynnik ten wyznaczyć można z formuły (6) [2]:

$$d_t = \frac{1}{(1+r)^t} \quad (6)$$

gdzie:

- d_t – współczynnik dyskontujący,
- r – stopa dyskontowa,
- t – kolejne lata eksploatacji systemu.

Najczęściej wykorzystywanymi w praktyce metodami złożonymi są:

- zaktualizowana wartość netto – *NPV* (ang. *Net Present Value*),
- wewnętrzna stopa zwrotu – *IRR* (ang. *Internal Rate of Return*)

Metoda wartości zaktualizowanej netto stosowana jest w celu porównania zdyskontowanych nakładów inwestycyjnych na dane przedsięwzięcie z prognozowanymi wpływami z jego realizacji, które również zostały zdyskontowane. Kalkulacje wartości *NPV* należy przeprowadzić w oparciu o wzór (7) [14]:

$$NPV = CF_0 \cdot d_0 + CF_1 \cdot d_1 + CF_2 \cdot d_2 + \dots + CF_n \cdot d_n = \sum_{t=0}^n CF_t \cdot d_t \quad (7)$$

gdzie:

- NPV – wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia,
- CF_t – przepływ pieniężny wyznaczony dla danego roku t ,
- d_t – współczynnik dyskontujący wyznaczony dla danego roku t ,
- n – liczba lat eksploatacji systemu.

Zastosowanie metody *NPV* jest podstawą do przyjęcia bądź odrzucenia danego projektu inwestycyjnego. Wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia może przyjmować następujące wartości [16]:

- $NPV > 0$, co oznacza, iż stopa zwrotu przewyższa swą wartością koszt pozyskania kapitału i projekt jest opłacalny,
- $NPV = 0$, co oznacza, iż stopa zwrotu równoważy koszt pozyskania kapitału,
- $NPV < 0$, co oznacza, iż koszt pozyskania kapitału jest wyższy od stopy zwrotu i projekt należy odrzucić, gdyż jest on nieopłacalny.

Z wzorów (6) i (7) wynika, iż wraz ze wzrostem wysokości stopy dyskontowej maleje wartość bieżąca netto przedsięwzięcia. Wielkość stopy dyskontowej, dla której $NPV = 0$, nazywana jest wewnętrzną stopą zwrotu i oznaczana *IRR*, a jej przybliżoną wartość obliczyć można na podstawie zależności (8) [2]:

$$IRR = r_1 + \frac{NPV_1 \cdot (r_2 - r_1)}{NPV_1 + |NPV_2|} \quad (8)$$

gdzie:

- IRR – wewnętrzna stopa zwrotu,
- NPV_1 – wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia, wyznaczona na podstawie r_1 ,
- NPV_2 – wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia, wyznaczona na podstawie r_2 ,
- r_1 – stopa dyskontowa, dla której $NPV > 0$,
- r_2 – stopa dyskontowa, dla której $NPV < 0$.

W sytuacji, gdy wewnętrzna stopa zwrotu przewyższa swą wartością wysokość przyjętej do obliczeń stopy dyskontowej, analizowane przedsięwzięcie jest opłacalne, natomiast jeśli IRR jest mniejsze od r projekt należy odrzucić. Przypadek, w którym obie wartości są sobie równe, oznacza, iż inwestycja balansuje na granicy opłacalności [14].

5. Przypadek studyjny

Analizę opłacalności zastosowania systemu odzysku ciepła ze ścieków przeprowadzono dla jednorodzinny budynku mieszkalnego. Założono, iż każdy z 4 mieszkańców korzysta z prysznica jeden raz dziennie i każdorazowo zużywa 35 dm^3 wody zmieszanej o temperaturze 38°C . Wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykorzystywanej podczas kąpieli pod prysznicem zestawiono w tabeli 1. W kalkulacjach przyjęto, iż woda o temperaturze 10°C podgrzewana jest do 60°C , a sprawność elektrycznego podgrzewacza ciepłej wody użytkowej wynosi 95 %.

Z przedstawionych obliczeń wynika, iż analizowana 4-osobowa rodzina zużywa na podgrzewanie wody użytkowej dopływającej do prysznica niespełna 1,75 MWh energii rocznie, co przy obecnych cenach energii elektrycznej w taryfie G11 daje wydatek rzędu 900÷1100 złotych w zależności od operatora systemu dystrybucyjnego oraz sprzedawcy energii elektrycznej.

Zredukowanie kosztów ponoszonych na ten cel możliwe jest dzięki wykorzystaniu wymiennika ciepła DWHR. Zmianę zużycia energii w badanym budynku przeanalizowano dla sytuacji, w której na odpływie ścieków szarych z prysznica zamontowany zostanie wymiennik przeciwprądowy działający w układzie pionowym. Założono, iż woda wstępnie podgrzana dopływać będzie zarówno do elektrycznego podgrzewacza ciepłej wody użytkowej, jak i do baterii czerpalnej prysznica, tak więc strumienie objętości ścieków i wody będą sobie równe. Opierając się na danych producentów urządzeń (Bries/Dutch Solar Systems b.v., Hei-tech b.v.), przyjęto do obliczeń, iż efektywność przeciwprądowego wymiennika działającego w układzie pionowym wynosi w takim przypadku 50 %.

Temperaturę ścieków szarych odprowadzanych z prysznica założono na poziomie 35°C , a na podstawie zależności (5) wyznaczono temperaturę wody wstępnie podgrzanej, która wyniesie $22,5^\circ\text{C}$.

Tabela 1. Obliczenia zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykorzystywanej podczas kąpieli pod prysznicem w istniejącym budynku jednorodzinnym

Objętość wody zimnej zużywanej przez 1 osobę podczas kąpieli pod prysznicem	dm ³	15,3
Objętość wody ciepłej zużywanej przez 1 osobę podczas kąpieli pod prysznicem	dm ³	19,7
Zapotrzebowanie na energię do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 1 osoby	kWh	1,14
Rzeczywiste zużycie energii do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 1 osoby	kWh	1,19
Rzeczywiste dobowe zużycie energii do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 4-osobowej rodziny	kWh	4,78
Rzeczywiste roczne zużycie energii do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 4-osobowej rodziny	kWh	1744,70

W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody zużywanej w czasie kąpieli pod prysznicem w sytuacji, gdy poniżej prysznica zainstalowany zostanie pionowy wymiennik ciepła DWHR.

Tabela 2. Obliczenia zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykorzystywanej podczas kąpieli pod prysznicem w budynku jednorodzinnym z zainstalowanym wymiennikiem ciepła DWHR

Objętość wody wstępnie podgrzanej zużywanej przez 1 osobę podczas kąpieli pod prysznicem	dm ³	20,5
Objętość wody ciepłej zużywanej przez 1 osobę podczas kąpieli pod prysznicem	dm ³	14,5
Zapotrzebowanie na energię do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 1 osoby	kWh	0,63
Rzeczywiste zużycie energii do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 1 osoby	kWh	0,66
Rzeczywiste dobowe zużycie energii do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 4-osobowej rodziny	kWh	2,63
Rzeczywiste roczne zużycie energii do podgrzewania wody dopływającej do prysznica dla 4-osobowej rodziny	kWh	959,95

Z przedstawionych obliczeń wynika, iż dzięki zainstalowaniu takiego urządzenia czteroosobowa rodzina może zredukować zużycie energii elektrycznej wykorzystywanej do podgrzewania wody użytkowej dopływającej do prysznica o 784,75 kWh rocznie, czyli o prawie 45 %. Już przy obecnej cenie energii elektrycznej w taryfie G11, która dla Rzeszowa wynosi 0,59 zł/kWh brutto, daje to oszczędność ponad 400 złotych na rok, a koszty zakupu energii elektrycznej mają wzrosnąć. Szczególnie odczuwalne podwyżki cen eksperci przewidują w 2013 i 2020 roku, gdyż właśnie wtedy najbardziej zwiększą się koszty wytwarzania tego nośnika energii, co będzie następstwem konieczności zakupu przez elektrownie i elektrociepłownie pozwoleń na emisję gazów cieplarnianych [12].

Koszt zakupu takiego urządzenia waha się w szerokich granicach w zależności od modelu i producenta od około 1500 złotych do ponad 3000 złotych, natomiast koszt jego instalacji uwarunkowany jest przede wszystkim zastosowanym wariantem montażu oraz tym, czy inwestycja dotyczy obiektu nowobudowanego czy też istniejącego budynku. W celu oceny efektywności ekonomicznej analizowanej inwestycji przyjęto do obliczeń, iż cena wymiennika ciepła DWHR jest równa 2500 złotych, natomiast łączny koszt montażu urządzenia oraz wymiany orurowania wynosi 1000 złotych.

Czas eksploatacji opisywanego systemu założono równy 20 lat. Zmiany cen energii elektrycznej w tym okresie przyjęto na podstawie prognoz przedstawionych w Załączniku 2. do *Polityki energetycznej Polski do 2030 roku* [12], natomiast obliczenia wartości zaktualizowanej netto przedsięwzięcia przeprowadzono przy założeniu wartości stopy dyskontowej na poziomie 8 %.

Wartość zaktualizowana netto analizowanego przedsięwzięcia *NPV*, wyznaczona na podstawie wzoru (7) przy założonej wartości stopy dyskontowej $r = 8\%$, jest równa 1729,29 zł, natomiast obliczona z formuły (8) wewnętrzna stopa zwrotu *IRR* wynosi 13,71 %. Otrzymane wyniki obliczeń wskazują, iż prognozowane zdyskontowane wpływy z realizacji projektu przewyższają swą wartością nakłady inwestycyjne, co oznacza, iż przedsięwzięcie jest opłacalne. Również otrzymana wartość *IRR* świadczy o tym, iż inwestycja powinna zostać zrealizowana, gdyż przewyższa ona przyjętą do obliczeń stopę dyskontową o ponad 5,5 punktu procentowego.

Z przeprowadzonych kalkulacji wynika także, że prosty okres zwrotu wynosi w analizowanym przypadku 7,1 lat, natomiast zdyskontowany okres zwrotu jest równy 10,4 lat.

6. Podsumowanie

Wykorzystanie wymiennika ciepła *Drain Water Heat Recovery* jest jedną z nowatorskich metod stosowanych w celu ograniczenia kosztów ponoszonych na przygotowanie ciepłej wody użytkowej dopływającej do prysznica. W Polsce, urządzenia te nie są dostępne w regularnej sprzedaży, jednakże przedstawione w niniejszym artykule wyniki obliczeń efektywności finansowej zasto-

sowania wymiennika DWHR w jednorodziennym budynku mieszkalnym potwierdzają, iż ich wykorzystanie pozwala znacznie zredukować ilość zużywanej energii, co powoduje, że warto zainteresować się zastosowaniem takiego rozwiązania również w naszym kraju.

Wykorzystanie wymiennika ciepła, którego efektywność wynosi 50 %, umożliwia podgrzanie dopływającej do prysznica wody do temperatury 22,5°C. Pozwala to zaoszczędzić ponad 0,5 kWh energii podczas każdej kąpieli pod prysznicem. Przy założonych kosztach zakupu oraz montażu urządzenia, jak również prognozowanych zmianach cen energii elektrycznej, zdyskontowane wpływy pochodzące z eksploatacji systemu przewyższą swą wartością nakłady inwestycyjne już w jedenastym roku eksploatacji systemu, natomiast wartość zaktualizowana netto przedsięwzięcia *NPV* wynosi 1729,29 zł, co potwierdza, iż analizowana inwestycja jest opłacalna.

Literatura

- [1] Cooperman A., Dieckmann J., Brodrick J.: Drain Water Heat Recovery, ASHRAE Journal, no 11, 2011, s. 58-62.
- [2] Czarska J., Metody oceny efektywności projektów inwestycyjnych, www.zie.pg.gda.pl/~jcz/anal_efekt_inwest.pdf, 2002.
- [3] Chudzicki J.: Sosnowski S., Instalacje wodociągowe: projektowanie, wykonanie, eksploatacja, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki”, Warszawa 2005.
- [4] Gawron H., Ocena efektywności inwestycji, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 1997.
- [5] Główny Urząd Statystyczny: Efektywność wykorzystania energii w latach 1999-2009, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2011.
- [6] Hewitt N.J., Henderson P.: Drainwater heat recovery system – an energy conservation project, Northern Ireland Center for Energy research and Technology, 2001.
- [7] Kimmels A.: Shower Heat Recovery: Overview of Commercially Available DWHR Systems, Meander Heat Recovery, 2011.
- [8] Kordana S., Słysz D.: Ścieki jako niskotemperaturowe źródło energii dla pomp ciepła, III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna INFRAEKO 2012, Rzeszów-Kraków 2012, s. 157-167.
- [9] Kwitowska-Formanowska A.: Odzysk ciepła z kanalizacji (1), Polski Instalator, nr 11, 2005, s.42-43.
- [10] Mazurkiewicz J.: Bezpieczeństwo energetyczne Polski, Polityka Energetyczna, t. 11, z. 1, 2008, s. 313-322.
- [11] Meggers F., Leibundgut H.: The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with heat pump, Energy and Buildings, vol. 43, 2011, s. 879-886.
- [12] Ministerstwo Gospodarki: Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Warszawa 2009.

- [13] Rogowski W.: Rachunek efektywności inwestycji, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2008.
- [14] Rutkowski A.: Zarządzanie finansami, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2007.
- [15] Tomlinson J.: Heat Recovery from Wastewater Using a Gravity-Film Heat Exchanger, Federal Energy Management Program, U.S. Department of Energy, 2005.
- [16] Urbanowicz B., Koliński A.: Analiza i ocena inwestycji efektywnym narzędziem controllingu finansowego, Finansowy Kwartalnik Internetowy „e-Finanse”, nr 1, 2010, s. 1-14.
- [17] Wong L.T., Mui K.W., Guan Y.: Shower water heat recovery in high-residential buildings of Hong Kong, Applied Energy, vol. 87, 2011, s. 703-709.
- [18] Zaloum C., Gusdorf J., Parekh A.: Performance Evaluation of Drain Water Heat Recovery Technology at the Canadian Centre for Housing Technology – Final Report, Sustainable Buildings and Communities: Natural Resources Canada, Ottawa 2007.
- [19] Zaloum C., Lafrance M., Gusdorf J.: Drain Water Heat Recovery Characterization and Modeling – Final Draft, Sustainable Buildings and Communities: Natural Resources Canada, Ottawa 2007.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF THE WASTEWATER HEAT RECOVERY SYSTEM IN A SINGLE-FAMILY DWELLING HOUSE

S u m m a r y

In a light of the expected increase in electricity and natural gas prices, the ways of reducing water heating costs are sought. One of the ways is to install a shower water heat exchanger. This paper analyses the effectiveness of the application of a DWHR unit in a single-family dwelling house.