

Sabina KORDANA¹, Kamil POCHWAT¹ i Daniel SŁYŚ¹

OCENA RACJONALNOŚCI ZASTOSOWANIA SYSTEMU ODZYSKU CIEPŁA ZE ŚCIEKÓW SZARYCH Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY SWOT

RATIONALITY ASSESSMENT OF DRAIN WATER HEAT RECOVERY SYSTEM APPLICATION USING SWOT ANALYSIS

Abstrakt: Efektem rozwoju świadomości ekologicznej społeczeństwa jest wzrost zainteresowania wykorzystaniem niekonwencjonalnych źródeł energii. Szczególna uwaga poświęcana jest jednak energii odnawialnej, podczas gdy znaczenie energii odpadowej jest marginalizowane, co powoduje, że znaczna jej część jest bezproduktywnie odprowadzana do otoczenia. Obecny rozwój techniki pozwala wprawdzie na odzyskiwanie tej formy energii, jednakże brak szerokiej wiedzy na temat racjonalności zastosowania systemów odzysku ciepła odpadowego, szczególnie na etapie indywidualnej konsumpcji energii, wyraźnie ogranicza możliwość ich implementacji. Jednym z nośników energii odpadowej, który może pełnić rolę alternatywnego źródła energii do podgrzewania wody w budynkach mieszkalnych i usługowych, są ścieki szare. Zawarte w nich ciepło może zostać przekazane do dopływającej wody wodociągowej za pomocą wymienników ciepła o specjalnej konstrukcji. Dostępność stosownych rozwiązań na polskim rynku jest jednak ograniczona, co powoduje potrzebę propagowania takiej formy zrównoważonego gospodarowania energią wśród mieszkańców w celu zwiększenia popytu na te urządzenia. Celem artykułu jest zdefiniowanie oraz przeanalizowanie mocnych i słabych stron systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznicza, jak również potencjalnych szans i zagrożeń wynikających z ich stosowania. Jako narzędzie wykorzystano analizę SWOT, która umożliwia precyzyjne uporządkowanie informacji oraz pozwala przedstawić cechy badanego przedsięwzięcia w klarowny dla odbiorcy sposób. Aplikacja otrzymanych wyników badań w proces edukacji prośrodowiskowej przyczyni się do wzrostu stopnia akceptacji dla takich rozwiązań, a w rezultacie także do zwiększenia liczby systemów odzysku ciepła stosowanych przez mieszkańców.

Słowa kluczowe: analiza SWOT/TOWS, odzysk ciepła odpadowego, ścieki szare, wymiennik ciepła DWHR

Wprowadzenie

Obserwowany w ostatnich latach wzrost zainteresowania wykorzystaniem niekonwencjonalnych źródeł energii jest naturalnym następstwem zarówno zwiększonego zapotrzebowania na energię, jak i rozwoju świadomości ekologicznej społeczeństwa w aspekcie ochrony zasobów środowiska.

Szereg państw wciąż boryka się jednak z problemem niedostatecznej znajomości zagadnień dotyczących zrównoważonego gospodarowania energią, czego konsekwencją jest nadmierna eksploatacja surowców kopalnych. Przykładem takiego kraju jest Polska, gdzie sektor energetyczny opiera się w ponad 80% na konwencjonalnych nośnikach energii, głównie węgla kamiennym i brunatnym [1]. Następstwem krótkowzrocznego podejścia do kwestii pozyskiwania i wykorzystania zasobów węgla są pogarszające się warunki jego wydobywania oraz nadmierna emisja do atmosfery produktów spalania paliw, szczególnie ditlenku węgla pochodzenia antropogenicznego [2]. Jednym z obszarów,

¹ Zakład Infrastruktury i Ekorozwoju, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 74 32 409, 17 86 51 784, email: sk@prz.edu.pl, kp@prz.edu.pl, daniels@prz.edu.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'16, Zakopane, 5-8.10.2016

którego funkcjonowanie uzależnione jest od dostępności surowców kopalnych, jest budownictwo. Szacuje się, że sumaryczne zużycie energii w budynkach mieszkalnych i usługowych stanowi ponad 20% zapotrzebowania światowego [3]. W przypadku Polski udział budynków w całkowitym bilansie zużycia energii znacznie przekracza średnią światową, gdyż same gospodarstwa domowe odpowiedzialne są tu za konsumpcję około 33% energii finalnej [4]. Istotną kwestią jest zatem umożliwienie wdrażania proekologicznych systemów energetycznych przeznaczonych do zastosowania w budynkach oraz sprzyjanie ich dalszemu rozwojowi.

Kreowanie zrównoważonego podejścia do problemu wyboru systemu zaopatrzenia budynku w energię, podobnie jak ma to miejsce w przypadku innych dziedzin życia [5, 6], wymaga kompleksowej wiedzy w zakresie możliwości wykorzystania potencjalnych źródeł ciepła. Z tego względu uwaga skupiana jest na źródłach energii odnawialnej. Znaczenie energii odpadowej jest natomiast marginalizowane, co powoduje, że większa jej część jest bezproduktywnie odprowadzana do otoczenia i bezpowrotnie tracona.

Jednym ze źródeł energii odpadowej, które z powodzeniem może zostać wykorzystane w budynkach, są ścieki szare. Obecny rozwój techniki pozwala na odzyskiwanie zdeponowanego w nich ciepła zarówno na etapie transportu i utylizacji, jak i bezpośrednio u źródła ich powstawania [7-9]. Brak szerokiej znajomości zagadnień dotyczących możliwości pozyskiwania niesionego przez ścieki ciepła skutkuje jednak znikomym zainteresowaniem ze strony potencjalnych odbiorców tego ciepła oraz niewielką podażą stosownych urządzeń na polskim rynku, co dodatkowo utrudnia ekspansję systemów odzysku ciepła ze ścieków.

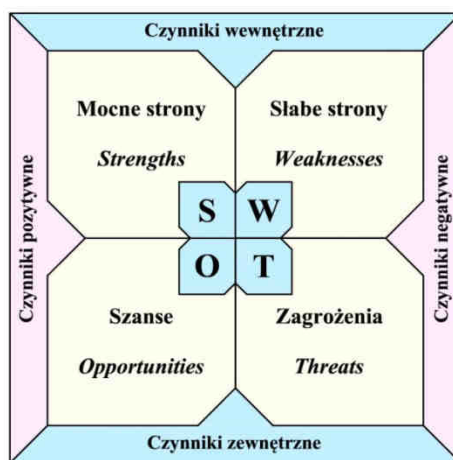
W celu zwiększenia stopnia akceptacji dla instalacji odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznica, jak również stopnia ich implementacji w budynkach mieszkalnych, w artykule przedstawiono mocne i słabe strony takiego rozwiązania. Opisano także potencjalne szanse i zagrożenia wynikające z eksploatacji systemów odzysku ciepła ze ścieków w budynkach mieszkalnych oraz określono strategię ich rozwoju. Jako narzędzie wykorzystano analizę SWOT, która stosowana jest w celu precyzyjnego uporządkowania informacji oraz przedstawienia ich w czytelny dla odbiorcy sposób.

Metodyka badań

Analiza SWOT (*Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats*) zaliczana jest do metod planowania strategicznego. Najczęściej znajduje zastosowanie w przypadku konieczności wyznaczenia strategii rozwoju organizacji i przedsiębiorstw, jednakże niekiedy wykorzystywana jest także w celu oceny osób czy projektów inwestycyjnych [10].

Założeniem metody jest usystematyzowanie informacji dotyczących obiektu badań w czterech charakterystycznych grupach, które przedstawiono na rysunku 1, oraz zidentyfikowanie powiązań występujących między elementami przyporządkowanymi do poszczególnych grup. Mocne i słabe strony ocenianego projektu zaliczane są do czynników wewnętrznych, natomiast szanse i zagrożenia - do czynników zewnętrznych. Mocne strony (zalety) pozwalają wykorzystywać pojawiające się szanse oraz pokonywać ewentualne zagrożenia. Z kolei słabe strony (wady) potęgują zagrożenia i uniemożliwiają czerpanie korzyści ze sprzyjających rozwojowi szans [11, 12].

Rozwinięciem i uzupełnieniem analizy SWOT jest analiza TOWS. W przeciwieństwie do podstawowej metody, która zakłada badanie interakcji w kierunku od wewnątrz do zewnątrz, analiza TOWS pozwala ocenić, czy zidentyfikowane szanse są w stanie wzmocnić zalety i ograniczyć wady oraz czy potencjalne zagrożenia będą potęgować wady i osłabiać zalety [11].



Rys. 1. Schemat analizy SWOT (na podstawie [12])

Fig. 1. SWOT analysis diagram (based on [12])

Ocena systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznicia

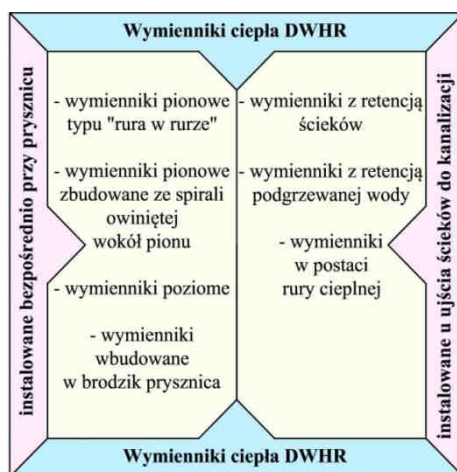
Idea odzysku ciepła ze ścieków szarych

Odprowadzane z poszczególnych urządzeń sanitarnych ścieki szare charakteryzują się stosunkowo wysoką temperaturą, która w przypadku kąpeli pod prysznicem oscyluje w granicach 35–40°C. Pozwala to na odzysk zdeponowanego w nich ciepła zarówno za pomocą wymienników ciepła *Drain Water Heat Recovery* (DWHR) [13], jak i przy współudziale pompy ciepła [14].

Wybór pierwszego z przedstawionych sposobów odzysku ciepła jest szczególnie zalecany wówczas, gdy źródło energii stanowią mają ścieki pochodzące z prysznicia. Wspomniane urządzenie sanitarne cechuje bowiem równoczesność poboru wody i odprowadzania powstających w trakcie kąpeli ścieków. Pozwala to odzyskiwać zawarte w ściekach szarych ciepło w celu wstępnego podgrzewania wody wykorzystywanej podczas tej samej kąpeli, z której pochodzą ścieki, bez konieczności dostarczania dodatkowej energii napędzającej urządzenie DWHR. W efekcie zredukowaniu ulega ilość energii zużywanej na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej, jak również koszty ponoszone za zaopatrzenie budynku w tę energię [15].

Różnorodność konstrukcji urządzeń dedykowanych do odzysku energii zawartej w ściekach pozwala na ich zastosowanie praktycznie w każdej sytuacji. Brak przedsięwzięć promujących tę formę oszczędzania energii powoduje jednak, że wymienniki ciepła DWHR, których klasyfikację przedstawiono na rysunku 2, nie cieszą się zainteresowaniem

potencjalnych użytkowników oraz inwestorów. Ponadto w wielu przypadkach podaż tych urządzeń na rynku jest niewystarczająca, co dodatkowo utrudnia ekspansję systemów odzysku ciepła ze ścieków.



Rys. 2. Klasyfikacja urządzeń DWHR (na podstawie [8])

Fig. 2. Classification of DWHR units (based on [8])

Analiza SWOT systemów DWHR

W celu zwiększenia świadomości ekologicznej społeczeństwa odnośnie do możliwości zastosowania systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznicza przeprowadzono analizę SWOT takiego rozwiązania. W tabeli 1 zestawiono po pięć najważniejszych czynników opisujących mocne i słabe strony rozpatrywanych systemów, jak również potencjalne szanse i zagrożenia związane z ich implementacją. Na podstawie opinii zespołu ekspertów, w skład którego wchodziło przedstawicieli pracowników naukowych oraz wykonawców i eksploatorów instalacji sanitarnych w budynkach, wymienionym czynnikom przypisano wagi. Wagi te uwzględniono w dalszej części analizy, a jej wyniki opisano w kolejnym podrozdziale.

Do mocnych stron systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych zaliczono możliwość wyraźnego zredukowania zużycia kopalnych surowców energetycznych w porównaniu do sytuacji, gdy eksploatowane są instalacje konwencjonalne. Zastosowanie urządzeń DWHR pozwala bowiem odzyskać od około 30 do ponad 60% niesionej przez ścieki energii [16]. Najwyższe korzyści zauważalne są w przypadku wymienników pionowych, które charakteryzuje największa powierzchnia wymiany ciepła pomiędzy odprowadzanymi z prysznicza ściekami a podgrzewaną wodą. Wynika to z faktu, iż wprowadzone do pionowego przewodu ścieki nie wypełniają jego całego przekroju, lecz spływają po ściankach. Zweryfikowano to, wykonując symulacje przepływu cieczy w wymienniku ciepła DWHR za pomocą oprogramowania do modelowania dynamiki płynów Autodesk Simulation CFD 2015. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 3, na którym przestrzeń zajmowana przez przepływające ścieki została oznaczona kolorem czerwonym.

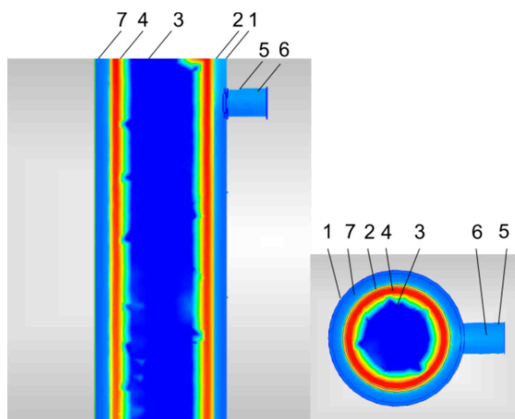
Analiza SWOT systemów przeznaczonych do odzysku ciepła ze ścieków szarych

Tabela 1

Table 1

SWOT analysis of Drain Water Heat Recovery systems

Mocne strony	Waga	Słabe strony	Waga
1. Niskie zużycie energii na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej	0,30	1. Brak doświadczenia w eksploatacji systemów DWHR	0,15
2. Niezależność źródła ciepła od warunków atmosferycznych	0,25	2. Brak wytycznych dotyczących stosowania systemów odzysku ciepła ze ścieków	0,20
3. Duża różnorodność opracowanych konstrukcji wymienników ciepła DWHR	0,10	3. Stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne	0,25
4. Bezpieczna i komfortowa eksploatacja systemu	0,25	4. Uzależnienie efektywności systemu od natężenia przepływu oraz temperatury wody i ścieków	0,25
5. Możliwość łącznego wykorzystania energii odpadowej i odnawialnej	0,10	5. Opóźnienie odzysku ciepła w stosunku do czasu rozpoczęcia kąpieli	0,15
Szanse	Waga	Zagrożenia	Waga
1. Poprawa stanu środowiska naturalnego	0,30	1. Nieprzewidywany okres zwrotu inwestycji	0,30
2. Poprawa budżetu gospodarstw domowych	0,25	2. Brak akceptacji ze strony potencjalnych użytkowników	0,30
3. Poprawa świadomości ekologicznej społeczeństwa	0,15	3. Niewielka dostępność systemów DWHR na polskim rynku	0,25
4. Wprowadzenie regulacji prawnych nakazujących wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii	0,10	4. Ryzyko nadmiernego zanieczyszczenia powierzchni wymiennika ciepła DWHR	0,05
5. Rozwój technologii odzysku ciepła ze ścieków	0,20	5. Zły dobór techniki odzysku ciepła	0,10



Rys. 3. Wizualizacja przepływu wody i ścieków przez wymiennik ciepła DWHR uzyskana za pomocą oprogramowania do modelowania CFD: 1 - przewód zewnętrzny z PE, 2 - przewód wewnętrzny z miedzi, 3 - wnętrze pionu kanalizacyjnego, 4 - ścieki, 5 - przewód odpływowy wody, 6 - woda, 7 - płaszcz wodny w urządzeniu DWHR

Fig. 3. The visualization of water and drain water flow inside the DWHR unit obtained using CFD software: 1 - outside PE pipe, 2 - inside copper pipe, 3 - the interior of waste pipe, 4 - drain water, 5 - water outflow, 6 - water, 7 - water jacket

Warto również podkreślić, że w przeciwieństwie do źródeł energii odnawialnej dostępność źródła ciepła, jakim są ścieki szare, jest całkowicie niezależna od panujących warunków atmosferycznych. Preferencje odnośnie do temperatury wykorzystywanej wody zmieszanej nie ulegają bowiem wyraźnym zmianom w ciągu całego roku. Dzięki temu wahania temperatury odprowadzanych do kanalizacji ścieków szarych są nieznaczne, co gwarantuje stabilną pracę systemu.

Do montażu systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych zachęca także różnorodność opracowanych konstrukcji wymienników ciepła DWHR. Różnorodność ta pozwala na wybór optymalnego w danej sytuacji rozwiązania systemu przy uwzględnieniu wielkości instalacji, efektywności urządzeń i ich ceny, jak również dostępności miejsca pod zabudowę systemu. Indywidualne podejście do kwestii wyboru konkretnego typu wymiennika ciepła oraz konfiguracji instalacji ułatwia także rozpatrzenie wszystkich istotnych parametrów projektowych i eksploatacyjnych, które decydują o osiągniętych w trakcie użytkowania systemu oszczędnościach finansowych.

Zaletą odpowiednio zaprojektowanego i wykonanego systemu odzysku ciepła ze ścieków jest także jego bezpieczna i wygodna eksploatacja, gdyż urządzenia DWHR działają bezobsługowo, a ich budowa uniemożliwia kontakt ścieków i podgrzewanej wody. Dodatkowo zmniejszenie różnicy temperatur wody na wlocie i wylocie z podgrzewacza przepływowego, z którym współpracuje wymiennik ciepła, pozwala zwiększyć efektywność podgrzewania wody.

Ostatnią mocną stroną rozpatrywanych systemów, którą uwzględniono w analizie, jest możliwość zintegrowania instalacji odzysku ciepła ze ścieków z instalacją wykorzystującą odnawialne źródła energii. Przykładowo w pracy [17] opisano współpracę wymiennika ciepła DWHR z kolektorami słonecznymi.

Do słabych stron systemów DWHR zaliczyć należy natomiast brak doświadczenia w ich eksploatacji. Co prawda idea wykorzystania zdeponowanego w ściekach ciepła staje się coraz powszechniejsza wśród eksploatorów systemów kanalizacyjnych, jednakże wśród indywidualnych użytkowników energii taki sposób jej pozyskiwania wciąż budzi liczne kontrowersje. Konsekwencją krytycznego podejścia do kwestii wykorzystania ścieków szarych w celu wstępnego podgrzewania wody jest brak zainteresowania systemami DWHR, który powoduje, że dominującym sposobem przygotowania ciepłej wody w obiektach mieszkalnych pozostaje wykorzystanie paliw konwencjonalnych. Sytuacji nie poprawia też brak jakichkolwiek unormowań i regulacji prawnych dotyczących stosowania systemów odzysku ciepła ze ścieków.

Opór ze strony potencjalnych użytkowników potęgują również relatywnie wysokie nakłady inwestycyjne, które należy ponieść na zakup i montaż stosownego urządzenia. W zależności od jego konstrukcji i efektywności, koszt zakupu wymiennika ciepła przeznaczonego do zastosowań w budynkach jednorodzinnych może się wahać w szerokim zakresie od niespełna 2000 zł do ponad 3000 zł. W wielu przypadkach do ceny urządzenia, oprócz kosztów montażu, doliczyć należy także koszt jego transportu z innego kraju.

Istotny jest również fakt, że efektywność działania systemu DWHR, a w rezultacie także osiągnięte oszczędności finansowe, uzależnione są od parametrów działania instalacji, takich jak natężenie wypływu wody zmieszanej z baterii czerpalnej prysznicza czy czas korzystania z wody o określonej temperaturze. Nie bez znaczenia pozostaje też konfiguracja systemu odzysku ciepła, która decyduje o udziale wody przepływającej przez

wymiennik ciepła w jej całkowitym zużyciu [8]. W związku z tym jednoznaczne określenie opłacalności zastosowania takiego systemu nie jest możliwe, co powoduje potrzebę każdorazowego przeprowadzania szczegółowej analizy techniczno-finansowej potencjalnych rozwiązań.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na to, iż długość kąpieli pod prysznicem nie jest tożsama z czasem trwania odzysku ciepła ze ścieków. Przeprowadzone badania wstępne wskazują bowiem, że temperatura wody na odpływie z wymiennika ciepła osiąga pożądany poziom dopiero po upływie kilkudziesięciu sekund, co często nie jest brane pod uwagę w analizie opłacalności zastosowania tych urządzeń.

Oprócz czynników wewnętrznych w pracy przeanalizowano także czynniki zewnętrzne dotyczące stosowania instalacji odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznicza. Do szans systemów DWHR zaliczono możliwość poprawy stanu środowiska naturalnego związaną z ograniczeniem zapotrzebowania na paliwa konwencjonalne. W efekcie zredukowania zużycia surowców kopalnych zmniejszeniu ulega także emisja do atmosfery produktów ich spalania. Wykorzystanie urządzeń *Drain Water Heat Recovery* z pewnością nie rozwiąże problemu niszczącego oddziaływania sektora energetyki na środowisko naturalne w skali globalnej, jednakże może być małą cegiełką w budowaniu zrównoważonej polityki energetycznej.

Zmniejszeniu zapotrzebowania na energię wykorzystywaną na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej towarzyszy również wyraźne obniżenie kosztów ponoszonych za zaopatrzenie budynku w energię. Osiągane oszczędności są tym większe, im wyższa jest cena energii, dlatego zastosowanie systemu DWHR pozwoli chronić budżet domowy w przypadku jej znacznego wzrostu.

Kolejną szansą, która może zapewnić dynamiczny rozwój systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych, jest wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa. Systematyczna edukacja i propagowanie zrównoważonych technologii wśród mieszkańców może bowiem doprowadzić do zwiększenia stopnia akceptacji dla rozwiązań niekonwencjonalnych.

Do powszechnego stosowania urządzeń DWHR mogłoby zachęcić także wprowadzenie nowych wytycznych dotyczących ograniczenia zużycia paliw kopalnych. Obecne regulacje nakładają bowiem do wykorzystania jedynie energii odnawialnej, podczas gdy znaczenie energii odpadowej zawartej w ściekach jest bagatelizowane.

Godne podkreślenia jest również to, że technologia odzysku ciepła ze ścieków jest ciągle rozwijana, co stwarza dogodne warunki do opracowywania nowych konstrukcji wymienników ciepła DWHR oraz doskonalenia już istniejących. To z kolei pozwala mieć nadzieję, że ceny urządzeń dedykowanych do odzysku niesionego przez ścieki szare ciepła ulegną wyraźnemu obniżeniu, dzięki czemu będą one w zasięgu większej liczby mieszkańców. Następnym etapem rozwoju rozpatrywanej technologii pozyskiwania ciepła odpadowego może być także wzrost efektywności dostępnych wymienników ciepła, który zaowocuje zwiększeniem ilości odzyskiwanej ze ścieków energii.

Do czynników zagrażających implementacji systemów DWHR zaliczono z kolei brak możliwości jednoznacznego określenia okresu zwrotu inwestycji, gdyż jest on uzależniony od szeregu czynników, takich jak charakterystyka korzystania z instalacji prysznicowej czy rodzaj wykorzystywanego paliwa. Przykładowo nieprzewidziana zmiana użytkowanego podgrzewacza ciepłej wody z elektrycznego na gazowy będzie skutkować znacznym obniżeniem osiągniętych korzyści finansowych w stosunku do wartości oczekiwanych.

Kolejnym zagrożeniem dla analizowanych systemów jest brak akceptacji ze strony ich potencjalnych użytkowników, który jest naturalną konsekwencją niedostatecznej wiedzy na temat racjonalności zastosowania urządzeń DWHR oraz znikomego doświadczenia w ich eksploatacji. Dodatkowo wśród negatywnych czynników zewnętrznych wymienić należy niewielką podaż stosowanych urządzeń na polskim rynku. Ograniczona liczba dostępnych modeli wymienników ciepła powoduje bowiem potrzebę poszukiwania odpowiednich urządzeń poza granicami naszego kraju, co nie zachęca do ich zakupu.

Projektując systemy odzysku ciepła ze ścieków szarych, należy wziąć pod uwagę również możliwość nadmiernego zanieczyszczenia powierzchni wymiennika ciepła. Tworzenie cienkiej warstwy biofilmu na powierzchni przewodu kanalizacyjnego prowadzi co prawda do intensyfikacji procesu transferu niesionego przez to medium ciepła do podgrzewanej wody, jednakże zbyt duże zanieczyszczenie urządzenia może spowodować obniżenie jego efektywności.

Problemy na etapie eksploatacji systemu DWHR może spowodować także niewłaściwie dobrana technologia odzysku ciepła. Wynika to z faktu, iż niedostosowanie wielkości i rodzaju systemu do charakterystyki użytkownika instalacji prysznicowej w budynku jest jedną z głównych przyczyn jego nieefektywnej pracy.

Wybór strategii rozwoju systemów DWHR

W dalszej kolejności przeanalizowano występowanie interakcji między elementami przypisanymi do grup czynników wewnętrznych i zewnętrznych. W celu zapewnienia kompleksowości i wiarygodności przeprowadzonych badań występowanie relacji oceniono zarówno metodą SWOT, jak i TOWS. Bazując na wytycznych opisanych w pracy [18], opracowano osiem tablic pomocniczych, z pomocą których wyznaczono łączną liczbę interakcji oraz iloczynny interakcji i wag przypisanych poszczególnym czynnikom. Otrzymane wyniki analizy zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie wyników analizy

Table 2

The summary of analysis results

Kombinacja czynników	Wyniki analizy SWOT		Wyniki analizy TOWS		Wyniki analizy SWOT/TOWS	
	Suma interakcji	Suma iloczynów	Suma interakcji	Suma iloczynów	Suma interakcji	Suma iloczynów
Mocne strony/Szanse	38/2	7,45	26/2	4,75	64/2	12,20
Mocne strony/Zagrożenia	24/2	4,65	28/2	5,85	52/2	10,50
Słabe strony/Szanse	30/2	6,30	22/2	4,20	52/2	10,50
Słabe strony/Zagrożenia	30/2	6,35	32/2	6,55	62/2	12,90

Wyniki przeprowadzonej analizy SWOT („od wewnątrz do zewnątrz”) wskazują na istotną przewagę interakcji występujących między wewnętrznymi i zewnętrznymi czynnikami pozytywnymi. Sugeruje to, iż systemy DWHR posiadają znaczący potencjał rozwoju i należy dążyć do jak największego wykorzystania sprzyjających im szans za pomocą posiadanych przez te systemy mocnych stron. Rezultaty otrzymane w przypadku analizy TOWS („od zewnątrz do wewnątrz”) wskazują jednak, że potencjalne zagrożenia

dla systemów odzysku ciepła ze ścieków potęgują w znacznym stopniu wady tych systemów. Z tego względu należy dążyć do ograniczenia pejoratywnego wpływu słabych stron i zagrożeń, których oddziaływanie może uniemożliwić ekspansję systemów DWHR.

Również wyniki całościowej analizy SWOT/TOWS nie rozstrzygają jednoznacznie, jaką strategię rozwoju powinno się zastosować w przypadku systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych. Największą sumaryczną liczbę interakcji uzyskano co prawda dla kombinacji mocnych stron i szans, jednakże jest ona tylko nieznacznie wyższa od wartości wyznaczonej dla zestawienia czynników negatywnych, które dodatkowo charakteryzuje najwyższy iloczyn wag i interakcji.

Wyznaczone w kolejnych zestawieniach iloczyny wag i interakcji, które określono dla poszczególnych elementów zbiorów, pozwoliły także wskazać czynniki, które cechuje największy wpływ na rozpatrywane systemy. W przypadku negatywnych czynników zewnętrznych najwyższe wyniki w każdym z czterech zestawień, w którym występowały, uzyskano dla zagrożenia związanego z brakiem akceptacji ze strony potencjalnych użytkowników. Potwierdza to potrzebę propagowania zrównoważonego gospodarowania zdeponowaną w ściekach energią, gdyż wyeliminowanie negatywnego nastawienia mieszkańców jest kluczem do wzrostu stopnia wykorzystania systemów DWHR.

Podsumowanie i wnioski

Otrzymane wyniki analizy wskazują na znaczne możliwości ekspansji systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych, które wynikają głównie ze sprzyjających im szans. Z tego względu istotne jest dążenie do jak najlepszego ich wykorzystania z pomocą posiadanych przez systemy DWHR zalet, takich jak niskie zużycie energii na potrzeby przygotowania ciepłej wody użytkowej czy niezależność źródła ciepła od warunków atmosferycznych.

Przeprowadzone badania świadczą jednak także o dużej podatności rozpatrywanych systemów na obecne w środowisku zewnętrznym zagrożenia, pośród których dominującą rolę odgrywa brak akceptacji ze strony potencjalnych użytkowników. Nie bez znaczenia pozostają też słabe strony urządzeń DWHR, do których zaliczono m.in. brak doświadczenia w eksploatacji systemów odzysku ciepła oraz wytycznych dotyczących ich eksploatacji. W związku z tym istotną kwestią pozostaje potrzeba propagowania zastosowania zrównoważonych rozwiązań gospodarki energetycznej oraz edukowanie społeczeństwa, gdyż tylko takie podejście pozwoli zapewnić zdywersyfikowany rozwój rozpatrywanych systemów oraz wzrost stopnia ich implementacji w budynkach mieszkalnych.

Niejednoznaczność uzyskanych wyników badań wskazuje na potrzebę prowadzenia dalszych analiz, których założeniem jest ocena systemów odzysku ciepła ze ścieków szarych. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt, że otrzymane wyniki badań odnoszą się wyłącznie do systemów DWHR i racjonalności ich zastosowania w budynkach mieszkalnych. W przypadku innych systemów dedykowanych do odzysku niesionego przez ścieki ciepła, jak również budynków o odmiennym przeznaczeniu, przykładowo obiektów przemysłowych, opisane w artykule wyniki badań nie będą miały zastosowania. W takiej sytuacji jako narzędzie umożliwiające ocenę danego rozwiązania systemu wykorzystana może zostać analiza SWOT.

Literatura

- [1] Lelek L, Kulczycka J, Lewandowska A, Zarebska J. *Int J Life Cycle Ass.* 2016;21:1-14. DOI: 10.1007/s11367-015-0979-3.
- [2] Kolasa-Wiecek A. *J Environ Sci.* 2015;30:47-54. DOI: 10.1016/j.jes.2014.09.037.
- [3] EIA. *International Energy Outlook 2016 with Projections to 2040.* U.S. Energy Information Administration; 2016. [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf).
- [4] Central Statistical Office. *Energy Efficiency in Poland in years 2003-2013.* Warsaw; 2015. <http://stat.gov.pl/en/topics/environment-energy/energy/energy-efficiency-in-poland-in-years-2003-2013,5,11.html>.
- [5] Dziopak J, Starzec M. *JCEEA.* 2014;61(3/I):83-93. DOI: 10.7862/rb.2014.48.
- [6] Zeleňáková M, Čarnogurská M, Šlezinger M, Słyś D, Purcz P. *Hydrol Earth Syst Sci.* 2013;17:201-209. DOI: 10.5194/hess-17-201-2013.
- [7] Ramadan M, Lemenand T, Khaled M. *Energy Buildings.* 2016;128:575-582. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.07.017.
- [8] Słyś D, Kordana S. *Energy Buildings.* 2014;71:1-11. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.11.088.
- [9] Stransky D, Kabelkova I, Bares V, Stastna G, Suchorab Z. *Ecol Chem Eng S.* 2016;23:87-98. DOI: 10.1515/eces-2016-0006.
- [10] Helms MM, Nixon J. *J Strategy Manage.* 2010;3:215-251. DOI: 10.1108/17554251011064837.
- [11] Analiza SWOT. <http://analiza-swot.pl/>.
- [12] Team FME. *SWOT Analysis. Strategy Skills;* 2013. <http://www.free-management-ebooks.com>.
- [13] Zhang P, Ye J, Zeng G. *Water Environ Res.* 2015;87:1901-1913. DOI: 10.2175/106143015X14338845156588.
- [14] Wallin J, Claesson J. *Energy Buildings.* 2014;80:7-16. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.05.003.
- [15] Kordana S, Słyś D, Dziopak J. *J Clean Prod.* 2014;82:58-69. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.078.
- [16] Kimmels A. *Shower Heat Recovery: Overview of Commercially Available DWHR Systems.* Meander Heat Recovery; 2011. http://www.meanderhr.com/report/meanderhr_com_shower_dwahr_overview.pdf.
- [17] Tanha K, Fung AS, Kumar R. *Appl Therm Eng.* 2015;90:444-459. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.07.038.
- [18] Obłój K. *Strategia organizacji.* Warszawa: PWE; 2007.

RATIONALITY ASSESSMENT OF DRAIN WATER HEAT RECOVERY SYSTEM APPLICATION USING SWOT ANALYSIS

Department of Infrastructure and Sustainable Development
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszow University of Technology

Abstract: The development of environmental awareness leads to an increased interest in using unconventional energy sources. Special attention is, however, devoted to renewable energy, while the importance of waste energy is marginalized. Consequently, a substantial part of this energy is lost to the environment. Although the current development of technology allows recovery of waste heat, the possibility of the application of heat recovery systems is clearly limited due to the lack of extensive knowledge of such systems. Sources of waste heat include, among others, warm drain water discharged from the shower. The thermal energy contained in the drain water can be transferred to the incoming cold tap water by using special heat exchangers. The availability of Drain Water Heat Recovery (DWHR) units in Poland is, however, limited. Therefore, in order to increase the demand for DWHR systems, it is important to promote such a way of saving energy. The paper defines and analyzes the strengths and weaknesses of DWHR systems, as well as the potential opportunities and threats arising from their use in residential buildings. For this purpose, SWOT analysis has been used, which allows organizing information and presenting it in a clear and logical way. Application of the research results in areas connected with education will contribute to the increase of acceptance of such systems. In result, the number of operating DWHR systems will also increase.

Keywords: SWOT/TOWS analysis, waste heat recovery, greywater, DWHR unit