

# Analiza zysku finansowego przy zastosowaniu instalacji odzysku ciepła ze ścieków spod prysznic dla budynku jednorodzinnego

## Analysis of financial profit of using a shower waste water heat recovery system for a single-family building

Robert Kowalik<sup>\*)</sup>

**Słowa kluczowe:** odzysk ciepła, ścieki szare, wymienniki ciepłne, odzysk ciepła ze ścieków

### Streszczenie

Woda grzewcza do zaopatrzenia w ciepłą wodę stanowi około 20% całkowitego zużycia energii w standardowym domu, a większość obciążenia przypada na wodę grzewczą do kąpieli lub prysznica. Koszt ciepłej wody z reguły zajmuje drugie miejsce pod względem kosztów mieszkania i usług komunalnych w budynkach mieszkalnych, ustępując jedynie kosztom ogrzewania. Badania wykazały, że do zabiegów higienicznych człowiek potrzebuje 1/10 wody użytej pod prysznicem. Tak więc około 90% ciepłej wody dostarczanej do baterii prysznicowej jest odprowadzane do kanalizacji. Ponowne wykorzystanie energii ze ścieków pozwoli zaoszczędzić energię cieplną i zmniejszy całkowity koszt ciepłej wody. Artykuł poświęcony jest badaniu wykorzystania odzysku ciepła ze ścieków szarych do zwiększenia efektywności energetycznej budynków.

**Keywords:** heat recovery, gray wastewater, heat exchangers, heat recovery from wastewater

### Abstract

Heating water for hot water supply accounts for about 20% of a standard home's total energy consumption, with most of the load going to heating water for bathing or showering. The cost of hot water generally ranks second in terms of housing and utilities in residential buildings, second only to the cost of heating. Studies have shown that a person needs 1/10 of the water used in a shower for hygiene procedures. Thus, about 90% of the hot water supplied to the shower tap is discharged into the sewage system. Reusing energy from wastewater will save heat energy and reduce the total cost of hot water. The article is devoted to studying the use of heat recovery from domestic wastewater to increase the energy efficiency of buildings.

Analiza całkowitego zużycia energii w budynkach wykazała, że procent zużycia energii na ogrzewanie ciepłej wody wynosi około 20% [6]. Dzięki ciągłym wysiłkom, na rzecz zmniejszenia zużycia energii na ogrzewanie budynków, procent energii zużywanej na podgrzewanie wody przez systemy zaopatrzenia w ciepłą wodę będzie się zwiększał z każdym rokiem [2]. Ogromna ilość energii cieplnej zawarta w ściekach zwykle nie jest wykorzystywana, a po prostu odprowadzana do kanalizacji. Aby osiągnąć europejskie cele w zakresie ochrony klimatu, wykorzystanie ciepła ze ścieków zapewni ogromny i w dużej mierze niewykorzystany potencjał rozwoju oszczędnego zaopatrzenia budynków w ciepło [15].

Pomysł na odzysk ciepła ze ścieków za pomocą pomp ciepła nie jest oczywiście nowy. Od lat 80. systemy scentralizowane w Niemczech, Szwajcarii, Szwecji czy Norwegii wykorzystują ciepło ścieków gromadzonych w kolektorach ściekowych lub w oczyszczalniach. Temperatura ścieków w punktach poboru wynosi od około 10 do 15°C przez cały rok, a latem sięga nawet 20°C, co wystarcza

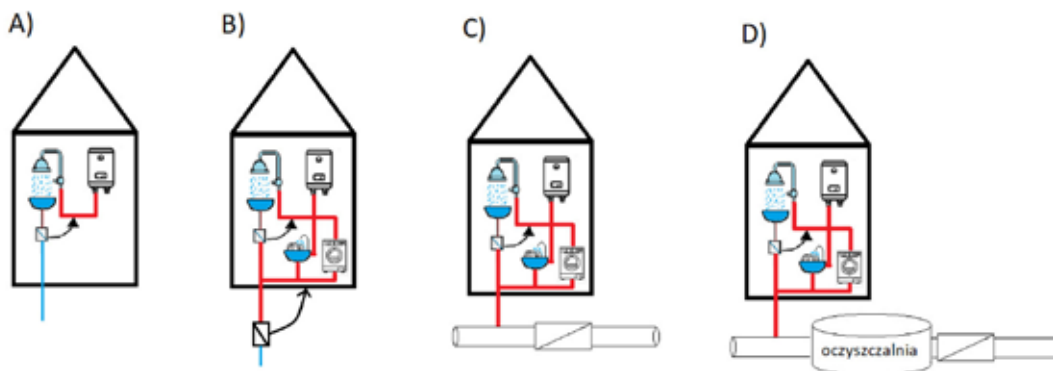
na gwarantowaną i nieprzerwaną pracę pomp ciepła. W miesiącach zimowych, kiedy występuje duże zapotrzebowanie na energię cieplną, temperatura ścieków w miejscach scentralizowanej instalacji pomp ciepła wynosi tylko około 10°C, co obniża sprawność pompy ciepła [2,8].

W systemie kanalizacyjnym istnieją cztery główne możliwe lokalizacje odzyskiwania energii ze ścieków [1]:

- na poziomie urządzeń sanitarnych (A),
- na poziomie budynków (B),
- w obrębie sieci kanalizacyjnej (C),
- z oczyszczalni ścieków (D).

Na poziomie przyborów sanitarnych ciepło jest odzyskiwane ze ścieków bezpośrednio po ich wytworzeniu, w trakcie określonych czynności związanych z jednym czynnikiem (np. kąpiel pod prysznicem, gotowanie, jedzenie). Ciepło jest odzyskiwane za pomocą wymiennika ciepła, bezpośrednio za danym przyborem sanitarnym. Odzyskane ciepło można wykorzystać do wstępnego podgrzania

<sup>\*)</sup> Robert KOWALIK, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej, Katedra Inżynierii Sanitarnej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: rkowalik@tu.kielce.pl, tel. 41 34 24 535

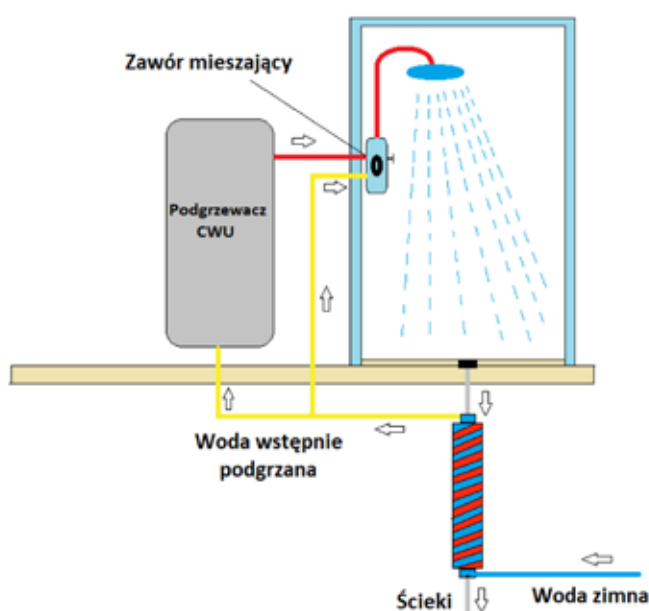


Rys.1. Możliwe opcje odzysku ciepła ze ścieków (opracowanie własne)

Fig.1. Possible options for heat recovery from wastewater (own study)

wody zasilającej, w domowych lub komercyjnych instalacjach prysznicowych.

Odzysk ciepła z wody pod prysznicem jest najczęstszym zastosowaniem spotykanym w praktyce. Zaletą tego zastosowania jest ciągły, jednoczesny przeciwprądowy przepływ ścieków i dopływ zimnej wody do prysznica. Odzysk ciepła w tym przypadku może być realizowany z wysoką efektywnością, a ponadto nie ma opóźnienia czasowego między dostępnością ciepła odpadowego, a zapotrzebowaniem na ciepło do kąpieli pod prysznicem, co eliminuje potrzebę magazynowania ciepła i wynikające z tego straty [11,12]. Ogólny schemat odzyskiwania ciepła z wody pod prysznicem przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat odzysku ciepła spod prysznica (opracowanie własne)

Fig. 2. Schematic of heat recovery from under the shower (own study)

## 2. Materiały i metody

Natężenie przepływu ścieków szarych odpływających spod prysznica oraz dopływ wody zimnej są jednakowe, dzięki czemu przyrost temperatury w dostarczanej wodzie zimnej jest równy spadkowi temperatury ścieków [10].

Na podstawie raportu przygotowanego jako relacja z prac sponsorowanych przez agencję rządu Stanów Zjednoczonych [3], opracowany został model zużycia ciepłej wody przez użytkowników końcowych (tab. 1). Nbr oznacza liczbę sypialni w mieszkaniu. Rys. 3 przedstawia godzinowe zużycie ciepłej wody dla każdego odbiornika końcowego, jako ułamek całkowitego zużycia końcowego [9].

Tabela 1. Zużycie ciepłej wody użytkowej według końcowego przeznaczenia [9].  
Table 1. Hot water consumption by end use [9].

Końcowe przeznaczenie	Temperatura wody końcowej	Zużycie wody
	[°C]	[dm <sup>3</sup> /d]
Myjka do ubrań	49.0	28,4 + 9,46N <sub>br</sub>
Zmywarka	49.0	9,46 + 3,15N <sub>br</sub>
Prysznic	40.6	53 + 17.67N <sub>br</sub>
Kąpiel	40.6	13,25 + 4,43N <sub>br</sub>
Zlewozmywaki	40.6	47,32 + 15,75N <sub>br</sub>

Gdzie: N<sub>br</sub> = liczba sypialni.

W przypadku wybranego modelu, czyli liczby sypialni N<sub>br</sub> = 2, całkowite zużycie ciepłej wody na podstawie równań podanych w tab. 1 wynosi:

$$Q_w = (28,4 + 9,46 \cdot 2) + (9,46 + 3,15 \cdot 2) + (53 + 17,67 \cdot 2) + (13,25 + 4,43 \cdot 2) + (47,32 + 15,75 \cdot 2) = 252,35 \text{ [dm}^3\text{/d]} \quad (1)$$

## 3. Studium przypadku

W niniejszym rozdziale przedstawiono przykład obliczeń potencjalnych zysków finansowych przy zastosowaniu systemu odzysku ciepła ze ścieków szarych odprowadzanych z prysznica. Przeanalizowano koszt kąpieli pod prysznicem trwającej 3, 5 oraz 10 minut, bez odzysku ciepła, oraz z odzyskiem. Ilość energii zużywanej przez podgrzewacz CWU, można określić poniższym wzorem [13,14]:

$$W = c \cdot \Delta T \cdot q \cdot \sigma \cdot t \cdot 10^{-3} \text{ [kWh]} \quad (2)$$

gdzie:

W – Ilość energii zużywana przez podgrzewacz CWU podczas kąpieli [kWh],

t – czas trwania kąpieli pod prysznicem [s],

q – natężenie przepływu wody podgrzewanej w podgrzewaczu – 0,15 [dm<sup>3</sup>/s],

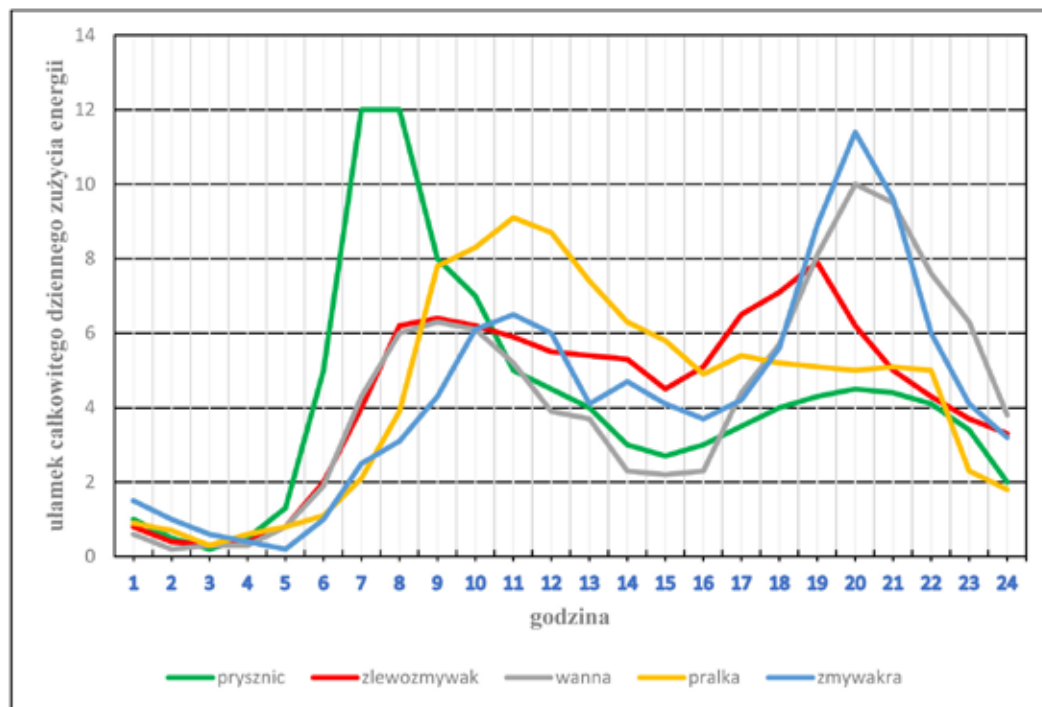
σ – gęstość wody podgrzewanej w podgrzewaczu [kg/dm<sup>3</sup>],

c – ciepło właściwe wody podgrzewanej w podgrzewaczu [Wh/kg·K],

T<sub>ew</sub> – temperatura ciepłej wody użytkowej [°C],

T<sub>zw</sub> – temperatura zimnej wody [°C].

Założono temperaturę ciepłej wody użytkowej wynoszącą 40,6°C, natomiast zimnej 10°C. Temperatura ścieków oscyluje w granicach 35-40°C, do obliczeń przyjęto wartość 35°C. Właściwości wody, zależące od temperatury takie jak ciepło właściwe



Rys. 3. Typowy profil zużycia ciepłej wody użytkowej [9,10]  
Fig. 3. Typical hot water consumption profile [9,10].

Tabela 2. Zestawienie wyników obliczeń zwrotu kosztów w przypadku wykorzystania instalacji odzysku ciepła ze ścieków, dla różnych wariantów czasu trwania kąpieli, oraz liczby osób korzystających z prysznica.

Table 2. Summary of the results of cost recovery calculations in the case of the use of wastewater heat recovery systems, for different variants of the duration of the shower, and the number of people using the shower.

Czas trwania kąpieli		3 minuty			5 minut			10 minut		
Liczba osób korzystających z prysznica		2 os.	3 os.	4 os.	2 os.	3 os.	4 os.	2 os.	3 os.	4 os.
Bez odzysku ciepła	kWh	1,92	2,88	3,84	3,20	4,80	6,40	6,39	9,59	12,79
	Koszt [PLN]	1,20	1,81	2,41	2,01	3,01	4,01	4,01	6,01	8,02
Koszt roczny [zł]		433	650	867	722	1083	1445	1442	2165	2887
Z instalacją odzysku ciepła	kWh	0,37	0,56	0,74	0,62	0,93	1,24	1,24	1,86	2,48
	Koszt [PLN]	0,23	0,35	0,46	0,39	0,58	0,78	0,78	1,17	1,55
Koszt roczny [PLN]		84	128	168	143	212	285	285	427	565
Zysk roczny przy wykorzystaniu odzysku ciepła [zł]		349	522	699	579	871	1160	1157	1738	2322
Okres w latach potrzebny do zwrotu inwestycji [lata]		14,3	9,5	7,2	8,6	5,7	4,3	4,3	2,9	2,15

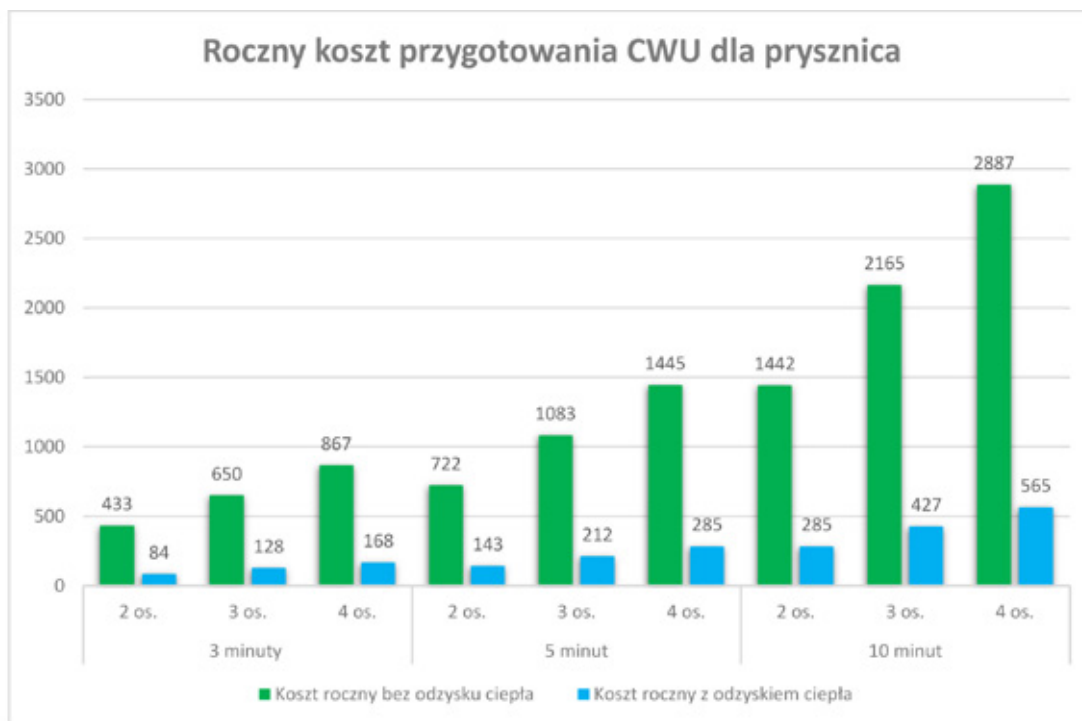
oraz gęstość, zostały przyjęte na podstawie tablic właściwości fizycznych wody [4]. Koszt energii elektrycznej ustalono dla średniego łącznego kosztu 1 kWh w Polsce w 2023 r. dla grupy taryfowej G11 wynoszący 0,627 PLN/kWh [7]. Obliczenia wykonano dla wariantów z dwoma, trzema oraz czterema osobami przyjmując, że każda z osób korzysta z prysznica raz dziennie. W tab. 2 przedstawiono ilości energii elektrycznej potrzebnej dla pracy podgrzewacza w dwóch wariantach, dla różnych czasów trwania kąpieli.

Wysokość nakładów inwestycyjnych założono jako cenę zakupu wymiennika ciepła oraz koszt jego instalacji. Koszt takiego wymiennika waha się w granicach od 2000 do 4000 PLN [5], w zależności od modelu oraz producenta. Cena montażu uzależniona jest przede wszystkim od tego, czy instalacja wykonywana będzie w budynku nowym czy starym. Do obliczeń przyjęto łączny koszt inwestycji na rok 2023 wynoszący 5000 PLN. Na

rys. 4 przedstawiono wykres rocznych kosztów przygotowania ciepłej wody użytkowej dla prysznica, z odzyskiem oraz bez odzysku ciepła dla różnych wariantów obliczeń.

Przewidywane zyski roczne, wynikające z instalacji systemu odzysku ciepła ze ścieków, wynoszą od około 349 PLN, w przypadku najkrótszego czasu trwania kąpieli, przy dwóch użytkownikach, aż do 2322 PLN rocznie, dla 10-minutowych kąpieli przy czterech użytkownikach.

Przedstawione wyniki kalkulacji dowodzą, że istotny wpływ na efektywność finansową przedsięwzięcia mają czas trwania kąpieli oraz liczba użytkowników. Przyjmuje się, że przeciętny czas trwania kąpieli prysznicowej wynosi 5 minut, dla takiego przypadku okres zwrotu inwestycji oscyluje od około 8,5 lat (2 osoby), do około 4,5 roku (4 osoby). Natomiast dla pryszniców długich okres zwrotu nie powinien przekroczyć 4,5 roku.



Rys. 4. Roczny koszt przygotowania ciepłej wody użytkowej dla prysznica z odzyskiem oraz bez odzysku [wartości podane w PLN]

Fig. 4. Annual cost of hot water preparation for shower with and without recovery [values given in PLN]

#### 4. Wnioski

Analiza efektywności finansowej zastosowania systemu odzysku ciepła z wody odpływowej z prysznica pozwoliła na wyciągnięcie poniższych wniosków.

Istnieje zależność pomiędzy dziennym czasem trwania prysznica oraz liczbą użytkowników a możliwymi oszczędnościami finansowymi. Efektywność finansowa rośnie wraz ze wzrostem długości trwania prysznica i zużycia wody. W związku z tym korzystne z systemu odzysku ciepła jest najbardziej opłacalne dla rodzin wielodzietnych, obiektów sportowych, usługowych i przemysłowych, gdzie często korzysta się z pryszniców.

W przypadku rodzin liczących co najmniej 4 osoby, przy czym każda z osób korzysta z prysznica minimum raz dziennie przez 5 minut, czas zwrotu inwestycji powinien nie przekroczyć okresu 5 lat. Zysk roczny dla rodzin 4-osobowych oscylował w granicach od 699 do 2322 PLN, w zależności od długości trwania kąpieli.

Zmniejszenie poboru CWU oznacza, że do ogrzania wody potrzebne będzie mniej energii, co daje wymierne oszczędności. Ponadto poprzez zmniejszenie zużycia energii, systemy odzysku ciepła mogą pomóc w zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych i przyczynić się do bardziej zrównoważonej przyszłości.

System odzyskiwania ciepła ze ścieków prysznicowych może być skutecznym sposobem na poprawę efektywności i zrównoważonego rozwoju systemu ciepłej wody w domu jednorodzinnym. ■

#### LITERATURA

- [1] De Paepe Michel, Theuns Erwin, Lenaers Seren, Van Loon, John. 2003. "Heat recovery system for dishwashers." *Applied Thermal Engineering*, 23 (1) : 743-756.
- [2] Ghisi Enedir, Ferreira Daniel. 2007. "Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil". *Building and Environment*, 42 (1) : 2512-2522.
- [3] Hendron Robert. 2009. "Building America Research Benchmark Definition: Updated". *Building Technologies Program*.
- [4] <http://fizyka.umk.pl/~lab2/tables/H2O.html> dostęp 27.01.2023
- [5] <https://innovapolska.pl/bee-system-odzysku-ciepła-z-wody-szarej/> dostęp 27.01.2023
- [6] <https://www.energy.gov/energysaver/water-heating> dostęp 27.01.2023
- [7] <https://www.tauron-dystrybucja.pl/kalkulator-zuzycia-pradu> dostęp 27.01.2023
- [8] Mazhar Abdur, Shuli Liu, Ashish Shukla. 2018. "A Key Review of Non-Industrial Greywater Heat Harnessing" *Energies* 11 (2).
- [9] Ni Lee, La Slau, Li Haorong, Zhang Tiancheng, Stansbury John, Shi Jonathan, Neal Jill. 2012. "Feasibility study of a localized residential grey water energy-recovery system". *Appl. Therm. Eng.* 39 : 53–62.
- [10] Nagpal Himanshu, Jan Spriet, Madhu Krishna Murali, Aonghus McNabola. 2021. "Heat Recovery from Wastewater—A Review of Available Resource" *Water* 13, no. 9: 1274.
- [11] Nagpal Himanshu, Murali Madhu, Spriet Jan, McNabola Aonghus. 2021. "Heat Recovery from Wastewater—A Review of Available Resource". *Water*. 13 1274.
- [12] Salih Thomas. 2017. "Sewage water heat recovery: A study as an application of energy saving in IRAQ". *J. Eng. Sustain. Dev.* 21 : 114–123.
- [13] Słyś Daniel, Kordana Sabina. 2013. „Odzysk ciepła odpadowego w instalacjach i systemach kanalizacyjnych”. *Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”*, Krosno.
- [14] Słyś Daniel, Kordana Sabina. 2017. "Financial analysis of the implementation of a Drain Water Heat Recovery unit in residential housing". *Energy Build.* 71.
- [15] Stec Agnieszka, Kordana Sabina. 2015. "Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems". *Resources, Conservation and Recycling*, 105 : 84-94.