

Sabina KORDANA
Daniel SŁYŚ
Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju
Politechnika Rzeszowska

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA CIEPŁA ODPAADOWEGO W SYSTEMACH KANALIZACYJNYCH

Wzrastające ceny paliw konwencjonalnych oraz zanieczyszczenie środowiska, spowodowane przez nadmierną emisję do atmosfery gazów cieplarnianych, powodują potrzebę poszukiwania alternatywnych źródeł ciepła. W artykule przeanalizowano możliwość wykorzystania energii niesionej przez ścieki, głównie do podgrzewania wody użytkowej oraz ogrzewania budynków. Przedstawiono także przykład wykorzystania technologii odzysku ciepła odpadowego z kanalizacji w stolicy Francji.

1. Wprowadzenie

Rozwój gospodarczy uwarunkowany jest dostępnością energii w odpowiedniej ilości i po rozsądnych cenach. Wysokie koszty surowców energetycznych, uzależnienie od importu gazu ziemnego i ropy naftowej, a także zanieczyszczenie środowiska naturalnego, powodują wzrost zainteresowania wykorzystaniem ciepła odpadowego. Odzysk energii odpadowej ze ścieków nie rozwiąże problemu w skali globalnej, niemniej jednak może przyczynić się do zmniejszenia zależności od paliw kopalnych, jak również jednoczesnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych.

Ścieki stanowią obecnie największe źródło strat ciepła w budynkach. Szacuje się, że w nowych obiektach około 15% dostarczonej energii cieplnej pozostaje niewykorzystane i utracone za pośrednictwem systemu kanalizacyjnego. W przypadku domów energooszczędnych wartość ta może wynieść nawet 30% [17]. Energia zawarta w ściekach jest bezproduktywnie odprowadzana do otoczenia pomimo wysokiej jakości. Średnia roczna temperatura ścieków w kanalizacji bytowej wynosi około 15°C i waha się pomiędzy 20°C latem, a 10-12°C zimą. Przy zastosowaniu odpowiednich urządzeń, takich jak wymienniki ciepła, które mogą być zainstalowane zarówno w budynkach, jak i na sieciach kanalizacyjnych, oraz pompy ciepła, znaczna część niesionej przez medium energii może zostać wykorzystana do podgrzewania wody użytkowej oraz ogrzewania

budynków [11]. W okresie letnim ścieki mogą stanowić także źródło chłodu dla klimatyzacji, co pozwala osiągać wymierne korzyści ekonomiczne ze stosowania opisanej w artykule technologii w ciągu całego roku.

Ilość odprowadzanych ścieków uzależniona jest od zużycia wody w budynkach, dlatego ważny jest właściwy wybór lokalizacji systemu do odzysku energii odpadowej. Najbardziej korzystne pod względem ekonomicznym jest sytuowanie instalacji tego typu w miejscach, w których ścieki dostępne są w sposób ciągły i w dużych ilościach. W praktyce, systemy wykorzystujące ścieki jako niskotemperaturowe źródło ciepła stosuje się w następujących punktach systemu kanalizacyjnego:

- w budynkach,
- w kolektorach transportujących surowe ścieki,
- na oczyszczalniach ścieków,
- w kanałach odprowadzających oczyszczone ścieki do odbiornika.

2. Ścieki jako źródło energii

Podstawowym kryterium służącym do oceny potencjału energetycznego ścieków jest ich temperatura. W porównaniu z tradycyjnymi źródłami energii dla pomp ciepła (woda powierzchniowa i gruntowa, powietrze atmosferyczne, grunt, promieniowanie słoneczne), ścieki charakteryzują się stosunkowo wysoką temperaturą w ciągu całego sezonu grzewczego, dzięki czemu dostarczają ciepło idealne do wykorzystania przez pompy ciepła, a w okresie letnim, gdy ich temperatura wynosi około 20°C, również chłód do klimatyzacji pomieszczeń. Oprócz zmian w cyklu rocznym medium wykazuje zmienność temperatury w ciągu doby. Nocą, gdy ilość odprowadzanych ścieków bytowo-gospodarczych jest mniejsza, ich temperatura obniża się zazwyczaj o 2-3°C w porównaniu z dniem. W przypadku ścieków ogólnospławnych znaczną rolę odgrywa także występowanie opadów, gdyż w czasie deszczu temperatura zmieszanych ścieków sanitarnych i opadowych może spaść nawet o kilka stopni [17].

Drugim parametrem charakteryzującym ścieki pod względem możliwości energetycznego wykorzystania jest ich ilość. W kolektorach ogólnospławnych chwilowe przepływy ścieków deszczowych są kilkadziesiąt razy większe niż ścieków sanitarnych, dlatego największe znaczenie przy wymiarowaniu instalacji do odzysku ciepła odpadowego z tego medium ma dokładne określenie wielkości przepływu. Jako podstawę do projektowania zazwyczaj przyjmuje się średnią dzienną ilość ścieków z okresu pogody bezdeszczowej z uwzględnieniem zmienności dobowej [17].

Oprócz temperatury i wielkości przepływu wpływ na możliwość wykorzystania ciepła odpadowego ze ścieków mają także inne czynniki, takie jak [9]:

- odległość między instalacją odzysku ciepła a odbiorcami,
- rodzaj odbiorców i charakter ich zapotrzebowania na ciepło,
- jakość ścieków,

- wymiary kanału i materiał, z którego jest on wykonany,
- stan techniczny sieci kanalizacyjnej.

3. Wykorzystanie pomp ciepła

Pierwsze instalacje wykorzystujące ścieki jako niskotemperaturowe źródło energii dla pomp ciepła powstały ponad 30 lat temu, jednak ze względu na znaczne koszty inwestycyjne oraz niewielką efektywność ówczesnych urządzeń nie znalazły one szerszego zastosowania [29]. Obecnie, z uwagi na wysokie ceny paliw konwencjonalnych, zanieczyszczenie środowiska naturalnego oraz szybki rozwój opisywanej technologii, idea odzysku ciepła ze ścieków jest znów aktualna, a stosowane rozwiązania przynoszą wymierne korzyści ekonomiczne [9].

Energię ze ścieków można pozyskiwać w sposób pośredni i bezpośredni [12]. W metodzie bezpośredniej przekazanie ciepła ze źródła dolnego do obiegu pompy ma miejsce w parowniku, gdzie czynnik roboczy, pod wpływem dostarczonej energii, odparowuje i wpływa do sprężarki. Tam, na skutek sprężania gazu, następuje wzrost jego temperatury. Wymiana ciepła z górnym źródłem, którym jest instalacja grzewcza, ma miejsce w skraplaczu, a spadek temperatury czynnika powoduje jego ponowne skroplenie. Przepływa on następnie przez zawór rozprężny i powraca do parownika, zamykając obieg. W drugiej metodzie energia z dolnego źródła pobierana jest za pomocą dodatkowego wymiennika przez czynnik pośredniczący. Czynnik ten cyrkuluje między wymiennikiem a parownikiem pompy, gdzie oddaje ciepło.

Metoda bezpośrednia pozwala osiągnąć lepsze współczynniki efektywności, a dzięki wyeliminowaniu z instalacji dodatkowych elementów, takich jak wymienniki i pompy obiegowe, także większe bezpieczeństwo użytkowania i niższe koszty inwestycyjne niż w przypadku pośredniego pobierania ciepła ze ścieków, jednak nie zawsze może być ona zastosowana.

Ścieki odpływające z oczyszczalni są pozbawione prawie wszystkich cząstek stałych, co umożliwia wprowadzenie ich bezpośrednio do parownika [18]. W przypadku ścieków nieoczyszczonych wskazane jest, aby ciepło przekazywane było za pomocą obiegu pośredniczącego, bowiem zanieczyszczenia zawarte w ściekach mogą spowodować korozję parownika pompy, jak również przyczynić się do zatrzymania przepływu przez urządzenie [4].

4. Odzysk ciepła w budynkach

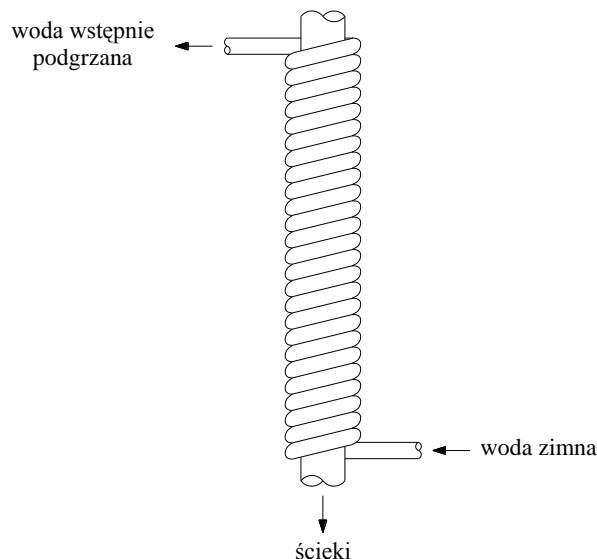
Znaczna część niesionej przez ścieki energii może zostać zagospodarowana w miejscu ich powstania, przeważnie do wstępnego podgrzewania wody użytkowej, dzięki zamontowaniu małego wymiennika DWHR (*Drain Water Heat Recovery*) w pobliżu ujścia ścieków szarych do kanalizacji. Najczęściej stosowanymi do tego celu urządzeniami są przeciwprądowe wymienniki pionowe, zbudowane przeważnie z pionowego przewodu o średnicy 2", 3" lub 4", przez

który przepływają ciepłe ścieki, oraz owiniętej wokół niego miedzianej spirali o mniejszej średnicy ($3/8''$, $1/2''$, $3/4''$), wewnątrz której płynie woda. Rury tworzące spiralę są spłaszczone w miejscu, gdzie dotykają pionu, co zwiększa powierzchnię wymiany ciepła, a powstawanie cienkiej warstwy biofilmu w przewodzie kanalizacyjnym intensyfikuje efektywność transferu ciepła ze ścieków do podgrzewanej wody [27]. Na rysunku 1 przedstawiono schemat działania opisanego urządzenia.

Alternatywne rozwiązanie zakłada wykorzystanie wymiennika typu „rura w rurze”, w którym ogrzewana woda przepływa w przestrzeni między przewodem kanalizacyjnym a rurą zewnętrzną o nieznacznie większej średnicy [2].

Oprócz przeciwpływowych wymienników pionowych, dostępne są również rozwiązania pozwalające na poziomy montaż wymiennika, a także umieszczenie spirali w izolowanym zbiorniku, w którym czasowo magazynowane są ciepłe ścieki [25]. Prowadzone są także badania nad zastosowaniem innych typów wymienników do odzysku ciepła odpadowego ze ścieków. Dla przykładu, w pracy [7] przedstawiono wyniki doświadczenia przeprowadzonego na modelowym wymienniku w postaci rury cieplnej.

Zastosowanie systemu do odzysku ciepła ze ścieków wymaga zmodyfikowania tradycyjnych rozwiązań instalacji wodno-kanalizacyjnych. Modyfikacja ta polega na wprowadzeniu oddzielnej instalacji dla zimnych, silnie zanieczyszczonych ścieków czarnych, pochodzących głównie ze splukiwania toalet, i osobnej dla ścieków szarych, odprowadzanych z takich urządzeń sanitarnych jak prysznice czy umywalki. Ścieki szare charakteryzują się mniejszym ładunkiem zanieczyszczeń i stosunkowo wysoką temperaturą, równą około 30°C , dzięki czemu mogą być wykorzystane jako źródło energii do podgrzewania wody [5].



Rys. 1. Schemat działania wymiennika DWHR

Druga metoda zakłada zainstalowanie wymiennika ciepła bezpośrednio przy urządzeniu. Najczęściej jest to prysznic [13, 22], ale dostępne są też inne rozwiązania, takie jak to przedstawione w pracy [8], polegające na wykorzystaniu energii cieplnej ścieków pochodzących ze zmywarki do naczyń do podgrzewania zimnej wody dopływającej do urządzenia.

W przypadku obiektów, w których zużywane są duże ilości wody o wysokiej temperaturze, istnieje możliwość efektywnego wykorzystania ścieków jako dolnego źródła dla pomp ciepła. W pracy [1] wykazano, że zagospodarowanie energii cieplnej zgromadzonej w ściekach odpływających z hotelowej sauny może zapewnić, za wyjątkiem weekendów w okresie zimowym, pokrycie całkowitego zapotrzebowania na ciepło do przygotowania wody użytkowej. Analizowana sprężarkowa pompa ciepła osiągała współczynnik efektywności energetycznej COP, wyznaczony jako stosunek mocy grzewczej urządzenia do mocy elektrycznej niezbędnej do napędu sprężarki, równy około 4,8.

Możliwość wykorzystania pompy ciepła została przeanalizowana także w pracy [10]. Badania prototypowej instalacji wykazały, że zastosowanie ścieków o temperaturze 20°C, 30°C i 40°C jako dolnego źródła energii pozwala na podgrzanie wody do temperatury odpowiednio 49,4°C, 51,2°C i 55,6°C. Wartości współczynnika COP kształtowały się w zakresie od 1,77 do 3,77 w zależności od warunków pracy instalacji.

W literaturze znaleźć można rozbieżne informacje na temat opłacalności stosowania wewnętrznych systemów do odzysku energii odpadowej ze ścieków. Niektóre źródła [15] podają, iż optymalne warunki eksploatacji opisanych instalacji występują przy minimalnym przepływie równym $8 \div 10 \text{ m}^3/\text{d}$, co odpowiada codziennej ilości ścieków odprowadzanych przez 60 osób lub z 25 do 30 mieszkań, dlatego stosowane są one głównie w obiektach, w których zużywane są duże ilości wody o wysokiej temperaturze, takich jak budynki przemysłowe, baseny, szpitale czy hotele. Według innych danych [27], wykorzystanie wymiennika DWHR jest ekonomicznie uzasadnione również w domach jednorodzinnych, szczególnie gdy źródło ciepła stanowią ścieki odpływające z prysznica. Niezgodność powyższych informacji implikuje konieczność prowadzenia dalszych badań nad wykorzystaniem ciepła odpadowego na tym etapie systemu kanalizacyjnego. Nie ulega jednak wątpliwości, iż w wielu przypadkach racjonalnie dobrany system odzysku energii ze ścieków może znacznie zredukować straty ciepła w budynkach, co przyczyni się do zmniejszenia zapotrzebowania na energię przez te obiekty, a w konsekwencji także obniżenia kosztów eksploatacyjnych.

5. Odzysk energii cieplnej ze ścieków surowych i w trakcie oczyszczania

Odzysk ciepła z nieoczyszczonych ścieków komunalnych i przemysłowych jest procesem korzystnym pod względem energetycznym [14, 23, 28], ale w Polsce wciąż budzącym sporo kontrowersji ze względu na to, iż temperatura

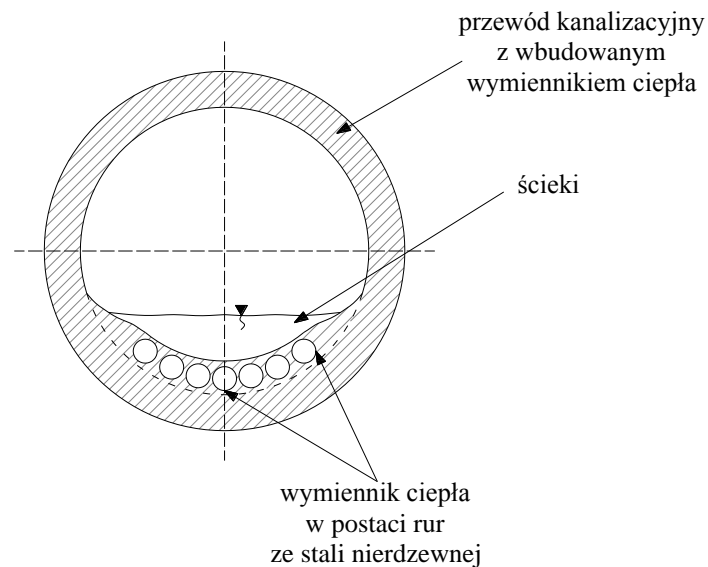
ścieków jest jednym z istotnych czynników wpływających na skuteczność oczyszczania biologicznego. Jej obniżenie do wartości niższej niż 12°C powoduje, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [6], że oczyszczalnia nie musi rozliczać się z ładunku azotu odprowadzanego do odbiornika z oczyszczonymi ściekami, gdyż wraz ze spadkiem temperatury medium efektywność usuwania związków biogennych na drodze biochemicznej wyraźnie maleje. W odniesieniu do oczyszczalni w Zurychu wykazano, że trwałe obniżenie temperatury ścieków tylko o 1°C może spowodować znaczny spadek tempa wzrostu mikroorganizmów osadu czynnego, a w konsekwencji zwiększenie wymaganej pojemności komory nityfikacyjnej o 10% [21]. Z tego powodu każda inwestycja w instalację do odbioru ciepła odpadowego z nieoczyszczonych ścieków wymaga indywidualnego podejścia i szczegółowej analizy.

Podstawowa metoda odzysku energii z sieci kanalizacyjnej opiera się na wykorzystaniu dużych wymienników zainstalowanych w kanałach oraz pomp ciepła [9].

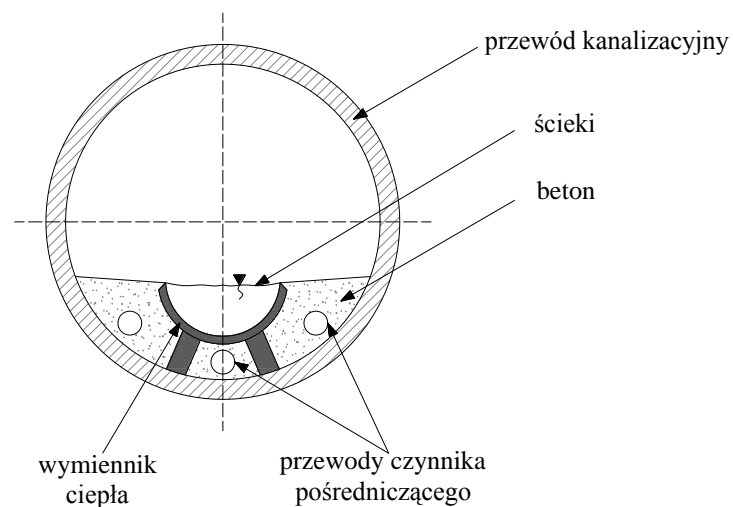
Stosowane do tego celu wymienniki muszą być wykonane z materiałów niewrażliwych na agresywne działanie ścieków, dlatego są to zwykle rury polietylenowe lub ze stali nierdzewnej, często dodatkowo obudowane [11]. W literaturze technicznej dostępny jest następujący podział urządzeń wykorzystywanych do odbioru energii cieplnej ze ścieków [11]:

- wymienniki wbudowane w konstrukcję przewodów (rys. 2) – stosowane w przypadku wymiany zużytych rur na nowe, jak również przy budowie nowej kanalizacji, których wydajność wynosi 1 do 2 kW/m;
- wymienniki przeznaczone do stosowania w istniejących kolektorach (rys. 3) – wpływające bądź niewpływające na własności konstrukcyjne kanałów, których wydajność zawiera się w przedziale od 0,13 kW/m w przypadku wykorzystania technologii renowacji kanału za pomocą żywicy termoutwardzalnych do około 4 kW/m w przypadku zastosowania systemu Rabtherm.

Druga metoda odzysku energii ze ścieków nieoczyszczonych zakłada wykorzystanie zewnętrznych wymienników ciepła. Surowe ścieki kierowane są przez otwór w kanale do zlokalizowanej obok niego studzienki, gdzie są podczyszczane. Następnie za pomocą pompy zatapialnej podawane są do nadziemnego wymiennika, skąd po ochłodzeniu powracają do kolektora [24]. Istnieje też możliwość wprowadzenia podczyszczonych ścieków bezpośrednio do parownika [17]. Rozwiązanie to charakteryzuje się większą elastycznością, gdyż jego stosowanie niezależne jest od spadku i geometrii przewodów, a instalowanie wymiennika poza kanałem powoduje, iż działanie systemu nie wpływa na warunki hydrauliczne panujące w kolektorze. Wadą tej metody jest natomiast większe zapotrzebowanie na energię elektryczną [17]. Na rysunku 4 przedstawiono schemat instalacji z wymiennikiem zewnętrznym.



Rys. 2. Przewód kanalizacyjny z wbudowanym wymiennikiem ciepła w postaci rur ze stali nierdzewnej (na podstawie [3])



Rys. 3. Wymiennik ciepła zainstalowany w istniejącym przewodzie (na podstawie [16])

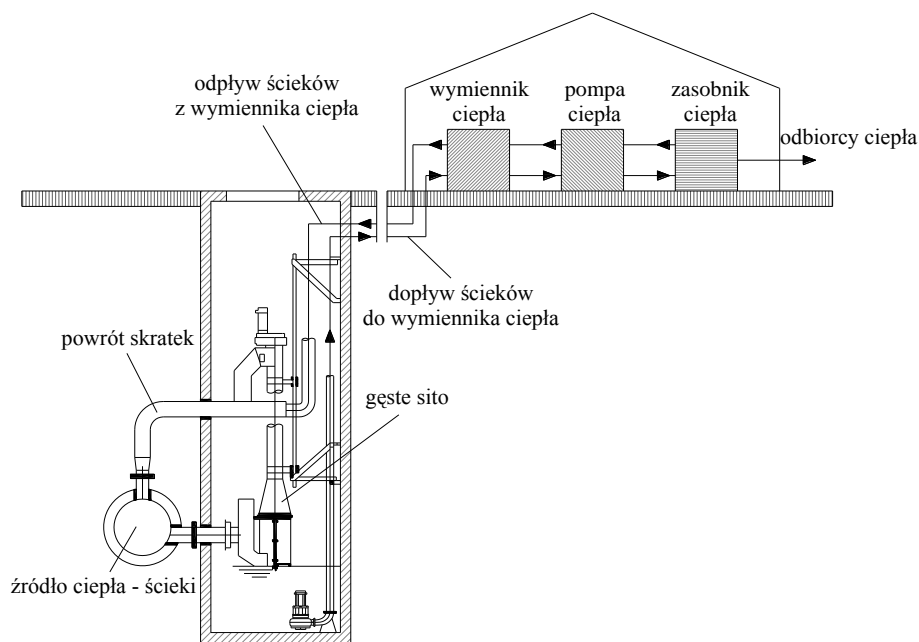
Ciepło ze ścieków można odzyskiwać także w trakcie ich oczyszczania. Przykładowo, na terenie oczyszczalni w Kłodzku i Iławie (Dziarny) funkcjonują instalacje wykorzystujące jako niskotemperaturowe źródło energii dla pomp ciepła ścieki przepływające przez osadnik wtórny, w którym umieszczony jest wymiennik ciepła. Pozyskiwanie energii w tym punkcie układu technologicznego oczyszczalni nie wpływa na funkcjonowanie obiektu, a temperatura ścieków

odpływających z oczyszczalni jest bliższa temperaturze wody w ciekach. Odebrane ciepło wykorzystywane jest do suszenia osadów [19].

6. Zagospodarowanie ciepła niesionego przez ścieki oczyszczone

Ścieki oczyszczone stanowią lepsze źródło ciepła niż te dopływające do oczyszczalni, gdyż istnieje możliwość sztucznego obniżenia ich temperatury nawet o kilka stopni [17]. Dodatkowo, brak zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do odbiornika umożliwia wprowadzenie ich bezpośrednio do parownika pompy ciepła, co znacznie obniża koszty inwestycyjne, jak również podnosi niezawodność działania instalacji. Jedynym mankamentem takiego rozwiązania jest konieczność wykonania ujęcia ścieków oraz doprowadzenia ich do parownika [18].

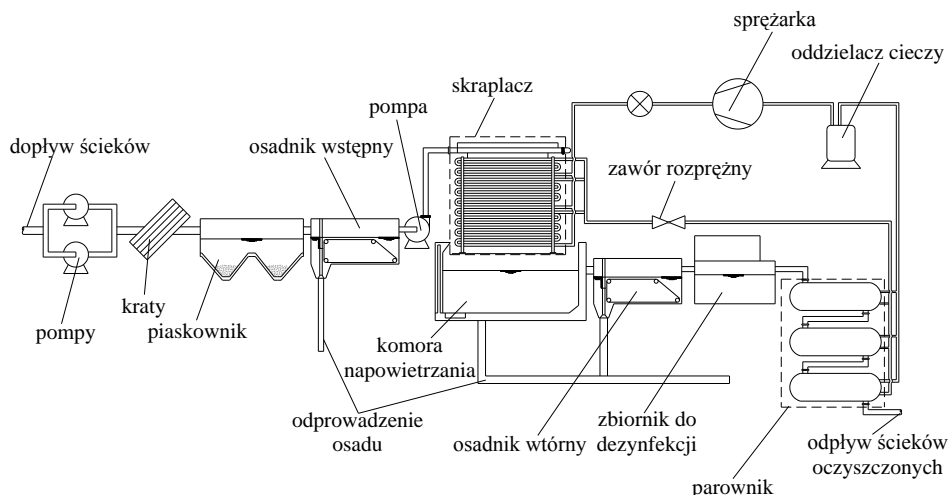
Jednakże ogromny potencjał energetyczny oczyszczonego medium nie zawsze może być wykorzystany, ponieważ oczyszczalnie ścieków często zlokalizowane są w miejscach, w których brak jest potencjalnych odbiorców odzyskanego ciepła. W takiej sytuacji najlepszym rozwiązaniem jest zagospodarowanie niesionej przez ścieki energii w obrębie oczyszczalni, przykładowo do podgrzewania komór fermentacyjnych lub suszenia osadów ściekowych.



Rys. 4. Schemat instalacji do odzysku ciepła odpadowego z kanalizacji z wymiennikiem umieszczonym poza kolektorem kanalizacyjnym (na podstawie [24])

Inne rozwiązanie przedstawiono w pracy [20]. Polega ono na zastosowaniu pompy ciepła, której dolnym źródłem energii są ścieki oczyszczone, do podgrzewania ścieków dopływających do obiektu w celu poprawy skuteczności oczyszczania biologicznego. Badania efektywności instalacji przedstawionej na rysunku 5 przeprowadzono na przykładzie oczyszczalni w Harbin (Chiny). Wykazano, że przy zwiększaniu temperatury ścieków surowych od wartości 15°C do 29,569°C, współczynnik efektywności energetycznej analizowanej pompy ciepła może osiągnąć wartość 4,117.

Odbiór niskotemperaturowego ciepła ze ścieków oczyszczonych możliwy jest również przy zastosowaniu metody pośredniej. W takiej sytuacji dodatkowy wymiennik ciepła instaluje się w przewodzie odprowadzającym ścieki do odbiornika.



Rys. 5. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków wykorzystującej pompę ciepła do odzysku energii ze ścieków oczyszczonych (na podstawie [20])

7. Przykład instalacji

W XII dzielnicy Paryża istnieje instalacja wykorzystująca ciepło odpadowe ze ścieków płynących głównym kolektorem kanalizacyjnym do ogrzewania szkoły dla 400 uczniów [26]. Zastosowany system odzysku ciepła jest bezpieczny, przyjazny dla środowiska i nie wymaga dostarczania dodatkowych paliw. Inwestycję zrealizowano w okresie od października 2010 do stycznia 2011, a jej koszt wyniósł 400 tysięcy euro. Okres zwrotu inwestycji szacowany jest na około 10 lat.

System oparty jest na technologii *Degrés Bleus*. Płynące w kolektorze ścieki o temperaturze 12-20°C, w zależności od pory dnia i roku, oddają ciepło za pośrednictwem zanurzonego w nich wymiennika o długości 60 m do czynnika pośredniczącego, którym jest wodny roztwór glikolu. Czynnik ten transpor-

tuje energię z dolnego źródła do pompy ciepła zlokalizowanej w kotłowni u odbiorcy. Pompa, przy pomocy energii elektrycznej, podnosi temperaturę medium roboczego do 60°C, a wytworzone ciepło przekazywane jest następnie do instalacji grzewczej szkoły. W wyjątkowo chłodne dni wykorzystywane jest także dodatkowe źródło ciepła, którym jest kocioł gazowy.

Instalacja powstała w ramach projektu, którego założeniem jest osiągnięcie 30% udziału źródeł odnawialnych w całkowitym zużyciu energii w Paryżu do 2020 roku. Zastosowanie opisanego systemu ma na celu dostarczenie w rocznym cyklu pracy ponad 70% ciepła potrzebnego do ogrzewania budynku. Wykorzystanie nowej technologii pozwoli również ograniczyć emisję CO₂ o 76,3 tony i zaoszczędzić 30 tysięcy euro rocznie.

8. Podsumowanie

Ograniczenie zużycia energii zajmuje istotne miejsce w działaniach mających na celu realizację założeń zrównoważonego rozwoju. Wdrażanie innowacyjnych rozwiązań i technologii, takich jak wykorzystanie ciepła odpadowego ze ścieków, pozwala osiągnąć wymierne korzyści ekonomiczne, zmniejszając jednocześnie negatywne oddziaływanie budynków na środowisko naturalne.

W Polsce, opisana w artykule technologia nie znalazła jak do tej pory szerszego zastosowania, jednak liczne korzyści płynące z odzysku ciepła ze ścieków przekonują, iż warto zainteresować się zagospodarowaniem tej formy energii również tutaj.

Dobrym rozwiązaniem jest sytuowanie opisanych w artykule instalacji w bezpośrednim sąsiedztwie budynków użyteczności publicznej, szpitali czy osiedli mieszkaniowych, gdzie ścieki dostępne są w sposób ciągły i w dużych ilościach, a niesione przez medium ciepło może stanowić istotne uzupełnienie bilansu energetycznego, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na paliwa konwencjonalne.

Szczególnie korzystna sytuacja występuje w przypadku, gdy obiekty będące potencjalnymi odbiorcami ciepła zlokalizowane są w pobliżu oczyszczalni ścieków, a energia pozyskiwana jest z oczyszczonego medium. Istnieje wówczas możliwość odbioru większej ilości ciepła ze ścieków, a ich temperatura po ochłodzeniu jest bliższa temperaturze występującej w naturalnych ciekach wodnych, co pozytywnie wpływa na faunę odbiornika ścieków.

Literatura

- [1] Baek N.C., Shin U.C., Yoon J.H.: A study on the design and analysis of a heat pump heating system using wastewater as a heat source, *Solar Energy*, vol. 78, 2005, s. 427-440.
- [2] Bokalders V., Block M.: *The whole building handbook: how to design healthy, efficient and sustainable buildings*, Earthscan, London 2010.

- [3] Buri R., Kobel B.: Wärmenutzung aus Abwasser. Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen, Bern/Zürich 2004.
- [4] Chen H., Li D., Dai X.: Economic Analysis of a Waste Water Resource Heat Pump Air-Conditioning System in North China, Proceedings of the 6th International Conference for Enhanced Buildings Operations, Shenzhen 2006.
- [5] Chudzicki J.: Techniczne możliwości oszczędzania wody i energii w budynkach użyteczności publicznej – wnioski ze STEP-u, Energia i budynek, nr 2/2011, s. 22-25
- [6] Dz. U. z 2006 Nr 137, poz. 984 z późn. zm.: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- [7] Danielewicz J., Kwitowska-Formanowska A.: Odzysk ciepła z kanalizacji – wyniki badań przeprowadzonych na modelowym wymienniku, Polski Instalator, nr 6/2007, s. 60-62.
- [8] De Paepe M., Theuns E., Lenaers S., Van Loon J.: Heat recovery system for dishwashers, Applied Thermal Engineering, vol. 23, 2003, s. 743-756.
- [9] Joniec W.: Odzysk ciepła z kanalizacji, Rynek Instalacyjny, nr 5/2007, s. 72-75.
- [10] Kahraman A., Çelebi A.: Investigation of the Performance of a Heat Pump Using Waste Water as a Heat Source, Energies, no 2, 2009, s. 267-713.
- [11] Kuliczkowski P.: Rodzaje wymienników ciepła stosowanych w kolektorach kanalizacyjnych umożliwiającących odzysk ciepła ze ścieków, Instal, nr 12/2009, s. 46-49.
- [12] Li X.Y., Li H.T.: Study on reutilization of heat energy from municipal wastewater of China, Proceeding of the 9th International Conference on Environmental Science, Rhodes Island 2005.
- [13] Nabais V., Gaspar P.D., Matias J.: Renewable energy systems: Industrial and home best practice case study, Proceedings of the 10th International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Granada 2010.
- [14] Pedersen S.E., Stene J.: 18 MW heat pump system in Norway utilizes untreated sewage as heat source, IEA Heat Pump Centre Newsletter, no. 4/2006, s. 37-38.
- [15] Rogalla F.: Taking the heat out, Water & Wastewater Treatment, vol. 54, 2011, s. 37-38.
- [16] Rometsch L.: Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen. Entwicklung eines Anforderungskatalogs für Kläranlagen- und Kanalnetzbetreiber gestützt auf Praxistests mit Wärmetauschern, Gelsenkirchen 2004.
- [17] Schmid F.: Sewage water: interesting heat source for heat pumps and chillers, Proceedings of the 9th International Energy Agency Heat Pump Conference, Zürich 2008.
- [18] Skrzypczak M.: Zastosowanie pomp ciepła w oczyszczalni ścieków, Wodociągi - Kanalizacja, nr 6/2005, s. 14-15.
- [19] Sobczyk R.: Układy hybrydowe w oczyszczalni ścieków, Czysta Energia, nr 11/2009.

- [20] Song Y., Yao Y., Ma Z., Na W.: Study of Performance of Heat Pump Usage in Sewage Treatment and Fouling Impact on System, Proceedings of the Sixth International Conference for Enhanced Building Operations, Shenzhen 2006.
- [21] Wanner O., Panagiotidis V., Clavadetscher P., Siegrist H.: Effect of heat recovery from raw wastewater on nitrification and nitrogen removal in activated sludge plants, *Water Research*, vol. 39, 2005, s. 4725-4734.
- [22] Wong L.T., Mui K.W., Guan Y.: Shower water heat recovery in high-rise residential buildings of Hong Kong, *Applied Energy*, vol. 87, 2010, s. 703-709.
- [23] Wu X.H., Wang F., Sun D.X., Yang W.H.: Rheology and flow characteristic of urban untreated sewage for cooling and heating source, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 35, 2011, s. 612-617.
- [24] www.huber.de
- [25] www.meanderhr.com
- [26] www.paris.fr
- [27] Zaloum C., Gusdorf J., Parekh A.: Performance Evaluation of Drain Water Heat Recovery Technology at the Canadian Centre for Housing Technology – Final Report, Ottawa 2007.
- [28] Zhao X.L., Fu L., Zhang S.G., Jiang Y., Lai Z.L.: Study of the performance of an urban original heat pump system, *Energy Conversion and Management*, vol. 51, 2010, s. 765-770 .
- [29] Zogg M.: History of Heats Pumps – Swiss Contributions and International Milestones, Proceedings of the 9th International Energy Agency Heat Pump Conference, Zürich 2008.

THE POSSIBILITY OF USING WASTE HEAT FROM SEWAGE

Summary

As a result of the increasing costs of energy from conventional sources and the environmental pollution caused by release into the atmosphere of greenhouse gases from the burning of fossil fuels, the demand for alternative heat sources is growing. This paper analyses the possibility of using wastewater as an energy source for space and water heating. Furthermore, the instance of the application of sewage heat recovery technology in Paris is presented.